



**rohstoffwende  
deutschland 2049**



**Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology

## Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft

Eigenprojekt des Öko-Instituts

Darmstadt, Mai 2017

### **Autorinnen und Autoren**

Dr. Matthias Buchert  
Dr. Winfried Bulach  
Stefanie Degreif  
Andreas Hermann  
Katja Hünecke  
Moritz Mottschall  
Tobias Schleicher  
Dr. Hartmut Stahl  
Dr. Veronika Ustohalova

### **Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71  
79017 Freiburg

#### **Hausadresse**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

### **Büro Berlin**

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

### **Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Telefon +49 6151 8191-0

[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>12</b>
<b>Strategische Zusammenfassung</b>	<b>15</b>
<b>Danksagung</b>	<b>31</b>
<b>1. Warum brauchen wir eine Rohstoffwende?</b>	<b>33</b>
<b>2. Das Projekt Rohstoffwende Deutschland 2049</b>	<b>37</b>
2.1. Rohstoffe im Fokus der Rohstoffwende 2049	37
2.2. Methodische Schritte für die Rohstoffwende 2049	39
2.3. Der Rohstoffwürfel	42
<b>3. Herausforderungen in den drei Nachhaltigkeitssäulen</b>	<b>45</b>
<b>3.1. Ökonomische Herausforderungen</b>	<b>45</b>
3.1.1. Kritische Rohstoffe und Grenzwerte zur Festlegung der Kritikalität	46
3.1.2. Kritik an der Bewertung nach Studie der Europäischen Kommission	48
<b>3.2. Soziale Herausforderungen</b>	<b>49</b>
3.2.1. Ausgangspunkt: Ein Methodenvorschlag zur Bestimmung der sozialen HotSpots/Risiken	49
3.2.2. Rohstoffbeispiele Eisen und Kobalt in Bezug auf die sozialen Kategorien	51
<b>3.3. Ökologische Herausforderungen</b>	<b>52</b>
<b>4. Business-As-Usual-Szenario versus Rohstoffwende-Szenario</b>	<b>56</b>
<b>4.1. Bedürfnisfelder in den Szenarien</b>	<b>58</b>
4.1.1. Mobilität	58
4.1.2. Wohnen	64
4.1.3. Arbeiten	69
4.1.4. Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)	77
4.1.4.1. Definitionen und Abgrenzung	77
4.1.4.2. Materialzusammensetzung am Beispiel eines Tablet-PCs	77
4.1.4.3. Szenario-Annahmen und Megatrends	79
<b>4.2. Ausgewählte rohstoffspezifische Szenarioergebnisse</b>	<b>80</b>
4.2.1. Neodym	80
4.2.2. Zinn	84
4.2.3. Kies	86
4.2.4. Natursteine	90

4.2.5.	Stahl	93
<b>5.</b>	<b>Rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende</b>	<b>98</b>
<b>5.1.</b>	<b>Clusterung der Rohstoffe in Massen- und Nicht-Massenrohstoffe</b>	<b>98</b>
5.1.1.	Massenrohstoffe	99
5.1.2.	Nicht-Massenrohstoffe	108
<b>5.2.</b>	<b>Zusammenfassung rohstoffspezifische Ziele</b>	<b>118</b>
<b>6.</b>	<b>Ausgewählte skizzierte Maßnahmen und Instrumente für eine Rohstoffwende</b>	<b>121</b>
<b>6.1.</b>	<b>Allgemein</b>	<b>121</b>
<b>6.2.</b>	<b>Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld Mobilität</b>	<b>122</b>
6.2.1.	Maut	122
6.2.1.1.	Netzweite fahrleistungsbezogene Maut für Kraftfahrzeuge	122
6.2.1.2.	Mautspreizung	125
6.2.2.	CO <sub>2</sub> -Flottengrenzwerte	129
6.2.3.	Sonstige Instrumente zum Bedürfnisfeld Mobilität (Bundesmobilitätsplan)	130
6.2.4.	Asphaltrecycling	131
6.2.5.	Zertifiziertes Primär-Neodym	132
<b>6.3.</b>	<b>Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld Arbeiten &amp; Wohnen</b>	<b>138</b>
6.3.1.	Gebäude-Check	138
6.3.2.	Betonrecycling	140
6.3.3.	Reform Grunderwerbssteuer zur Flächenverbrauchssteuer	141
6.3.4.	Festsetzung einer Mindestgeschossflächenanzahl im Bebauungsplan	142
6.3.5.	Primärbaustoffsteuer	142
6.3.6.	Verbesserungen im Raumplanungsrecht	143
<b>6.4.</b>	<b>Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld IKT</b>	<b>144</b>
6.4.1.	Unternehmerische menschenrechtliche Sorgfaltspflichten („Due Diligence“)	145
6.4.2.	Zertifizierungsansätze und Lieferkettenmanagement	148
6.4.2.1.	Grundlegende Prinzipien der Zertifizierung in Lieferketten	148
6.4.2.2.	Beispiel 1: „Fairmined“-Initiative für Gold	151
6.4.2.3.	Beispiel 2: Zertifizierung von Konfliktmineralien (3TG) aus der DR Kongo und angrenzenden Ländern	152
6.4.2.4.	Beispiel 3: Zertifizierung von Schmelzen	153
6.4.2.5.	Beispiel 4: Initiative Soltions for Hope (SfH) für Tantal	153
6.4.2.6.	Beispiel 5: The Conflict Free Tin Initiative (CFTI) für Zinn	154
6.4.2.7.	Fazit	154
6.4.3.	Lebens-/Nutzungsdauerverlängerung der IKT-Produkte	154

<b>7.</b>	<b>Die Agenda zur Rohstoffwende bis 2049</b>	<b>156</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>160</b>
<b>8.</b>	<b>Anhänge</b>	<b>165</b>
<b>8.1.</b>	<b>Rohstoffe im Fokus des Projektes</b>	<b>165</b>
<b>8.2.</b>	<b>Factsheet Kies</b>	<b>166</b>
8.2.1.	Wesentliche Anwendungen	167
8.2.2.	Wesentliche Herkunftsländer	167
8.2.3.	Probleme / HotSpots	167
8.2.4.	Rohstoffspezifische Ziele	169
8.2.5.	Quellen	169
<b>8.3.</b>	<b>Factsheet Zement</b>	<b>170</b>
8.3.1.	Wesentliche Anwendungen	170
8.3.2.	Wesentliche Herkunftsländer	170
8.3.3.	Probleme / HotSpots	171
8.3.4.	Rohstoffspezifische Ziele	171
8.3.5.	Quellen	172
<b>8.4.</b>	<b>Factsheet Eisen</b>	<b>172</b>
8.4.1.	Wesentliche Anwendungen	172
8.4.2.	Wesentliche Herkunftsländer	173
8.4.3.	Probleme / HotSpots	175
8.4.4.	Rohstoffspezifische Ziele	175
8.4.5.	Quellen	176
<b>8.5.</b>	<b>Factsheet Kalisalz</b>	<b>176</b>
8.5.1.	Wesentliche Anwendungen	177
8.5.2.	Wesentliche Herkunftsländer	177
8.5.3.	Probleme / HotSpots	178
8.5.4.	Rohstoffspezifische Ziele	179
8.5.5.	Quellen	180
<b>8.6.</b>	<b>Factsheet Chrom</b>	<b>181</b>
8.6.1.	Wesentliche Anwendungen	182
8.6.2.	Wesentliche Herkunftsländer	182
8.6.3.	Probleme / HotSpots	184
8.6.4.	Rohstoffspezifische Ziele	184
8.6.5.	Quellen	184
<b>8.7.</b>	<b>Factsheet Neodym</b>	<b>184</b>
8.7.1.	Wesentliche Anwendungen	185

8.7.2.	Wesentliche Herkunftsländer	186
8.7.3.	Probleme / HotSpots	187
8.7.4.	Rohstoffspezifische Ziele	188
8.7.5.	Quellen	190
<b>8.8.</b>	<b>Factsheet Platin</b>	<b>190</b>
8.8.1.	Wesentliche Anwendungen	191
8.8.2.	Wesentliche Herkunftsländer	191
8.8.3.	Probleme / HotSpots	192
8.8.4.	Rohstoffspezifische Ziele	193
8.8.5.	Quellen	194
<b>8.9.</b>	<b>Factsheet Zinn</b>	<b>194</b>
8.9.1.	Wesentliche Anwendungen	194
8.9.2.	Wesentliche Herkunftsländer	195
8.9.3.	Probleme / HotSpots	195
8.9.4.	Rohstoffspezifische Ziele	196
8.9.5.	Quellen	197
<b>8.10.</b>	<b>Factsheet Lithium</b>	<b>198</b>
8.10.1.	Wesentliche Anwendungen	198
8.10.2.	Wesentliche Herkunftsländer	199
8.10.3.	Probleme / HotSpots	200
8.10.4.	Rohstoffspezifische Ziele	200
8.10.5.	Quellen	201
<b>8.11.</b>	<b>Factsheet Cadmium</b>	<b>201</b>
8.11.1.	Wesentliche Anwendungen	202
8.11.2.	Wesentliche Herkunftsländer	202
8.11.3.	Probleme / HotSpots	204
8.11.4.	Rohstoffspezifische Ziele	204
8.11.5.	Quellen	205
<b>8.12.</b>	<b>Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“</b>	<b>205</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Vielfältige Herausforderungen für die Rohstoffwende	34
Abbildung 1-2:	Ausgewählte bestehende Initiativen und Beispielprojekte	35
Abbildung 2-1:	Rohstoff-Fokus der Rohstoffwende Deutschland 2049	38
Abbildung 2-2:	Übersicht Rohstoffe im Fokus des Projektes	38
Abbildung 2-3:	Projektschwerpunkte und Szenarienentwicklung	42
Abbildung 2-4:	Das Logo der Rohstoffwende Deutschland 2049	42
Abbildung 2-5:	Angebots- und Nachfrageseite	43
Abbildung 2-6:	Der dreidimensionale Rohstoffwürfel	44
Abbildung 3-1:	Kritische Rohstoffe in der ökonomischen Nachhaltigkeitssäule nach EC 2014	48
Abbildung 3-2:	Definition der sozialen Nachhaltigkeitssäule	50
Abbildung 3-3:	Soziale Risikoanalyse der Rohstoffe Eisen und Kobalt	52
Abbildung 4-1:	Der Szenario-Ansatz: Business-As-Usual- und Rohstoffwende-Szenario	56
Abbildung 4-2:	Angebot und Nachfrage im Kontext der Rohstoffketten und Bedürfnisfelder	57
Abbildung 4-3:	Szenarioergebnisse der Personenverkehrsleistung (in Mrd. Pkm)	60
Abbildung 4-4:	Szenarioergebnisse der Güterverkehrsleistung (in Mrd. tkm)	61
Abbildung 4-5:	Szenarioergebnisse des Pkw-Fahrzeugbestandes	62
Abbildung 4-6:	Szenarioergebnisse des Lkw- & Bus-Fahrzeugbestands	62
Abbildung 4-7:	Szenarioergebnisse der Netzlänge des Straßennetzes (in km)	63
Abbildung 4-8:	Szenarioergebnisse des Materialbedarfs für das Straßennetz	64
Abbildung 4-9:	Bevölkerungsentwicklung in Deutschland	65
Abbildung 4-10:	Entwicklung der Wohnfläche 2013 – 2049	67
Abbildung 4-11:	Entwicklung der Wohnfläche pro Kopf 2013 - 2049	68
Abbildung 4-12:	Entwicklung der Rohstoffnutzung im Bedürfnisfeld Wohnen	69
Abbildung 4-13:	Entwicklung Nutzfläche in m <sup>2</sup> je Einwohner im BAU- und RW-Szenario	72
Abbildung 4-14:	Szenario-Ergebnisse BAU-Szenario: Entwicklung von Zubau und Abriss sowie Sanierung	73
Abbildung 4-15:	Szenario-Ergebnisse RW-Szenario: Entwicklung von Zubau und Abriss sowie Sanierung	74
Abbildung 4-16:	Szenario-Ergebnisse BAU vs. RW: Gesamtmassenbedarf	75
Abbildung 4-17:	Szenario-Ergebnisse BAU vs. RW: Sekundärrohstoffeinsatz	76
Abbildung 4-18:	Szenario-Ergebnisse BAU vs. RW: Eingesetzte Menge an Primärrohstoffen	77
Abbildung 4-19:	HotSpots Neodym	82
Abbildung 4-20:	Primärer Neodymbedarf in den Bedürfnisfeldern IKT und Mobilität in Deutschland (in t/a)	83
Abbildung 4-21:	Anteile primärer Neodymbedarf im Rohstoffwende-Szenario in 2049	84
Abbildung 4-22:	HotSpots von Zinn im Rohstoffwürfel	85

Abbildung 4-23:	Primärer Zinnbedarf im Bedürfnisfeld IKT in Deutschland (in t/a)	86
Abbildung 4-24:	HotSpots Kies	87
Abbildung 4-25:	Primärer Kiesbedarf in den Sektoren Wohnen, Arbeiten, Mobilität in Deutschland (in Mio. t)	89
Abbildung 4-26:	Zusammensetzung des Kiesbedarfs in 2049 nach Bedürfnisfeldern	90
Abbildung 4-27:	HotSpots Natursteine	91
Abbildung 4-28:	Primärer Natursteinebedarf in den Sektoren Wohnen, Arbeiten, Mobilität in Deutschland (in Mio. t)	92
Abbildung 4-29:	Zusammensetzung des Natursteinebedarfs in 2049 nach Bedürfnisfeldern	93
Abbildung 4-30:	HotSpots Stahl	94
Abbildung 4-31:	Primärer Stahlbedarf in den Sektoren Wohnen, Arbeiten, Mobilität in Deutschland (in Mio. t)	96
Abbildung 4-32:	Zusammensetzung des primären Stahlbedarfs in 2049 nach Bedürfnisfeldern	97
Abbildung 5-1:	Cluster der Massenrohstoffe (MR)	99
Abbildung 5-2:	Cluster der Nicht-Massenrohstoffe (NMR)	109
Abbildung 5-3:	EoL-Recyclingraten für 60 Metalle	111
Abbildung 5-4:	Geschätzte EoL-Recyclingraten für Edelmetalle in den Haupt-Anwendungssektoren und Relevanz der Hauptanwendungssektoren pro Metall (UNEP, 2011)	112
Abbildung 5-5:	Salar de Uyuni in Bolivien	115
Abbildung 6-1:	Überblick über Instrumententypen zum Ressourcenschutz	121
Abbildung 6-2:	Aufkommensneutrale Mautspreizung von 1 ct/km: Mautsätze und Aufkommen für konventionelle Pkw (Annahme: Mautsatz 7 ct/km) und Pkw mit alternativen Antriebstechnologien (Annahme: Mautsatz 5 ct/km) in Abhängigkeit der Marktdurchdringung alternativer Antriebskonzepte	126
Abbildung 6-3:	Nicht aufkommensneutrale Mautspreizung von 1 ct/km: Mautsätze und Aufkommen für konventionelle Pkw (Annahme: Mautsatz 7 ct/km) und Pkw mit alternativen Antriebstechnologien (Annahme: Mautsatz 5 ct/km) in Abhängigkeit der Marktdurchdringung alternativer Antriebskonzepte	128
Abbildung 6-4:	Abgestuftes Verfahren beim Einsatz der Instrumente	133
Abbildung 6-5:	Mögliches Konzept der Zertifizierung	137
Abbildung 6-6:	Vereinfachte globale Wertschöpfungskette eines IKT-Produktes	145
Abbildung 6-7:	Protect, Respect, Remedy – Die drei Säulen von Ruggie	146
Abbildung 6-8:	Wertschöpfungskette von IKT-Produkten mit mineralischen Rohstoffen	148
Abbildung 6-9:	Schematische Darstellung der Lieferketten-Option Identity Preserved (IP)	149
Abbildung 6-10:	Schematische Darstellung der Lieferketten-Option Segregation (S)	149
Abbildung 6-11:	Schematische Darstellung der Lieferketten-Option Mass Balance (MB)	150
Abbildung 6-12:	Schematische Darstellung der Lieferketten-Option Book&Claim (B&C)	150

Abbildung 6-13:	Vergleich von Kosten/Aufwand und Transparenz der vier Lieferketten-Optionen	151
Abbildung 6-14:	Gründe für den Austausch von Fernsehgeräten und Notebooks – Defekte und Wunsch nach Innovationen	155
Abbildung 6-15:	Übersicht: Strategien gegen Obsoleszenz – Ursachen für die verkürzte Nutzung von Geräten und Möglichkeiten der Gegensteuerung	156
Abbildung 7-1:	Die Agenda für eine Rohstoffwende in Deutschland in 2049	157
Abbildung 8-1:	HotSpots: Kies	168
Abbildung 8-2:	Flächenverbrauch durch inländische Entnahme von Bausand und Baukies im Tagebau	169
Abbildung 8-3:	Elektrolytisch gewonnenes Eisen und Stahlschmiede	172
Abbildung 8-4:	Globale Primärproduktion von Eisenerz	175
Abbildung 8-5:	Panorama des Kaliwerkes mit der Abraumhalde in Philippsthal (Werra). Aufgenommen von Siechenberg	177
Abbildung 8-6:	Anwendungen Kalisalz 2015	177
Abbildung 8-7:	K <sub>2</sub> O-Produzenten in Deutschland 2014 (ca. 3.127.000 t K <sub>2</sub> O)	178
Abbildung 8-8:	Globale Kalisalzproduzenten 2014 (global 36.495.000 t K <sub>2</sub> O)	178
Abbildung 8-9:	Rohstoffwürfel Kali	179
Abbildung 8-10:	Raffiniertes Chrom und verchromte Felgen	181
Abbildung 8-11:	Einsatz von Chrom in Endprodukten in den USA in 2014	182
Abbildung 8-12:	Chromit-Bergwerksförderung in 2016	183
Abbildung 8-13:	Neodymsulfat (Nd <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> x 8 H <sub>2</sub> O)	185
Abbildung 8-14:	Anwendungsgebiete Neodym 2012	185
Abbildung 8-15:	Projected 2015 Industrial Uses of Neodymium-Iron-Boron Permanent Magnets	186
Abbildung 8-16:	Haupt-Primärförderländer von Neodym	186
Abbildung 8-17:	HotSpots von Neodym visualisiert anhand des Rohstoffwürfels	187
Abbildung 8-18:	Beispiel Seltene Erden-Gewinnung in Baotou (China): Hohe Dosisleistungen	188
Abbildung 8-19:	Ablaufschema für den Bezug von zertifiziertem nachhaltig gewonnenem Primär-Neodym	189
Abbildung 8-20:	Ziele und ausgewählte Maßnahmen für die Rohstoffwende für Neodym	190
Abbildung 8-21:	Anwendungen Platin weltweit, 2013	191
Abbildung 8-22:	Globale Primärgewinnung von Platin in 2015 (in Tonnen)	192
Abbildung 8-23:	HotSpots Platin	193
Abbildung 8-24:	Endverbrauch und Anwendungen von Zinn	194
Abbildung 8-25:	Anteilige Primärproduktion von Zinn nach Ländern im Jahr 2014	195
Abbildung 8-26:	Zinnerzabbau auf Bangka Island (Indonesien) an Land und Unterwasser	196
Abbildung 8-27:	Anwendungsfelder Lithium 2016	199
Abbildung 8-28:	Globale Minenproduktion Lithium 2016 (in%)	200
Abbildung 8-29:	Einsatzbereiche von Primär-Cadmium in 2005	202

Abbildung 8-30:	Weltweite Raffinerieproduktion, 2015	203
Abbildung 8-31:	Primäre Zinkförderung in 2015	203
Abbildung 8-32:	HotSpots Cadmium	204

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Nachhaltigkeitssäulen und ihre Kategorien	40
Tabelle 3-1:	Nachhaltigkeitssäulen und ihre Kategorien	45
Tabelle 3-2:	Vergleich der kritischen Rohstoffe nach EC (2010) und der Nachfolgestudie EC (2014)	46
Tabelle 3-3:	Beispiele für Studien zur Kritikalitätsmatrix	49
Tabelle 3-4:	Grenzwerte der sozialen Nachhaltigkeitskategorien	51
Tabelle 3-5:	Ökologische Indikatoren für Massenrohstoffe	54
Tabelle 3-6:	Ökologische Indikatoren für Nicht-Massenrohstoffe	55
Tabelle 4-1:	Einsatzraten von Sekundärmaterial für das BAU- und das RW-Szenario	71
Tabelle 4-2:	Typische Materialzusammensetzung eines Tablet-PCs	78
Tabelle 4-3:	Anteile an eingesetztem Sekundärmaterial in einer ambitionierten Recyclingwirtschaft	80
Tabelle 4-4:	HotSpots Neodym (Stand 2013)	81
Tabelle 6-1:	Fahrleistungsbezogene Wegekosten nach Fahrzeuggruppen aus der Wegekostenrechnung	123
Tabelle 6-2:	Fahrleistungsbezogene Umweltkostensätze nach Fahrzeugkategorie und Straßentyp	124
Tabelle 6-3:	Umweltkosten pro Fahrzeugkilometer für verschiedene Fahrzeugtypen in Deutschland (in €-Cent/Fzkm)	124
Tabelle 6-4:	Beispiel 1: Kostenvorteil von Pkw mit alternativen Antriebskonzepten gegenüber konventionellen Pkw in €/a	127
Tabelle 6-5:	Beispiele bestehender Sorgfaltspflichten	145
Tabelle 8-1:	Einsatzgebiete von Stahl in Deutschland	173
Tabelle 8-2:	Deutsche Importe und Exporte von Eisen	174
Tabelle 8-3:	Chrom: Deutsche Importe und Exporte 2011-2014	183
Tabelle 8-4:	HotSpots von Neodym	187

## Abkürzungsverzeichnis

3TG	Zinn, Wolfram, Tantal, Gold
BAU	Business-As-Usual
BEV	Batterieelektrische Fahrzeuge
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
bzw.	beziehungsweise
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
ct	Cent
EC	European Commission (Europäische Kommission)
EFH	Einfamilienhäuser
EoL	End-of-Life
ETV-StB-BW	Ergänzungen zu den Technischen Vertragsbedingungen im Straßenbau Baden-Württemberg
EU	European Union (Europäische Union)
FCEV	H <sub>2</sub> -Brennstoffzellenfahrzeuge
F&E	Forschung und Entwicklung
GF	Geschossfläche
GFZ	Geschossflächenzahl
g/pkm	Emissionen der Verkehrsträger in Gramm pro Personenkilometer
GRZ	Grundflächenzahl
GWP	Global Warming Potential
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
ITRI	International Tin Research Institute
iTSCi	International Tin Supply Chain Initiative
km	Kilometer
Ma%	Massenprozent
MFH	Mehrfamilienhäuser
MMR	Mining Minerals Resources

MR	Massenrohstoffe
mSv	Millisievert
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NMR	Nicht-Massenrohstoffe
NWG	Nichtwohngebäude
OBU	On-Board-Units
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
RC-Beton	Recyclingbeton
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of CHemicals. (Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe)
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
RW	Rohstoffwende
sLCA	Social Life Cycle Assessments
tkm	Tausend Kilometer
Tsd	Tausend
UNEP	United Nations Environment Programme
WG	Wohngebäude
WLTP	Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure
zGG	Zulässiges Gesamtgewicht



## Strategische Zusammenfassung

Kennen Sie die Bretagne-Krimis des Autors Jean-Luc Bannalec (Pseudonym von Jörg Bong)? In seinem Werk „Bretonischer Stolz“ treibt eine Sandraub Mafia ihr Unwesen, die es auf die wertvollen Sandvorkommen der dortigen Strände abgesehen hat. Dieser Teil der fiktiven Geschichte hat einen realen Hintergrund. Tatsächlich gibt es in der Bretagne Sandabbau an der Küste und erhebliche öffentliche Kontroversen darum. Und nicht nur in der Bretagne, sondern weltweit nehmen die Konflikte um „einfache“ Rohstoffe wie Sand zu. Der vielfach ausgezeichnete Film „Sand Wars“ (2013) des französischen Regisseurs Denis Delestrac inspirierte die UNEP zu ihrer Publikation „Sand, rarer than one thinks“ (2014).

Sand ist einer von vielen wichtigen abiotischen Rohstoffen, die sich - im Gegensatz zu biotischen Rohstoffen wie Holz - in für uns Menschen erlebbaren Zeiträumen nicht natürlich erneuern. Auf alle Fälle verbrauchen die Menschen global betrachtet abiotische Rohstoffe seit vielen Jahrzehnten erheblich schneller als sie über geologische Prozesse über Tausende oder gar Millionen Jahre wieder natürlich bereitgestellt werden können. Im strategischen Eigenprojekt „Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft“ (kurz „Rohstoffwende Deutschland 2049“) hat das Öko-Institut ab 2014 „vor der eigenen Türe gekehrt“. Das Projektteam hat sich auf die Nachfrage der Bevölkerung und Wirtschaft Deutschlands nach insgesamt 75 abiotischen Rohstoffen und die damit verbundenen Folgen im In- und Ausland fokussiert. Diese 75 Rohstoffe umfassen 59 Metalle, 7 Baumaterialien und 9 Industriematerialien: der Fokus reicht von Kobalt zu Kies, von Sand zu Seltenen Erden, von Stahl zu Steinsalz usw.

Das Projekt geht zwar von der aktuellen Situation bei den abiotischen Rohstoffen aus, der Schwerpunkt des Projekts bildet jedoch eine mittel- bis langfristige Betrachtung der möglichen Entwicklungen und ihrer Folgen.

- Wie wird sich bis zum Jahre 2049 - 100 Jahre nach Verabschiedung des Grundgesetzes – die Nachfrage nach diesen Rohstoffen entwickeln?
- Welche ökologischen, sozialen und ökonomischen Herausforderungen sind damit verbunden?
- Welche Ziele und Maßnahmen müssen kurz- und mittelfristig angegangen werden, um zunehmenden Problemen zu begegnen und auch langfristig positive Effekte zu zeigen?

## Die Projektbausteine für die Rohstoffwende 2049

Die ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen der Gewinnung, Verarbeitung und Nutzung von Rohstoffen sind vielschichtig und komplex. Bisherige einfache Indikatoren (z. B. Gesamtindikatoren für alle Rohstoffe zusammen in Tonnen) sind als Messgröße für den Erfolg einer Rohstoffstrategie oder -politik nicht ausreichend. Indikatoren wie die Rohstoffproduktivität<sup>1</sup> können zwar als eine Art unspezifischer „Pegelstandsmesser“ herangezogen werden, sie geben aber keine Auskunft zu weiteren Hintergründen oder Ursachen und sind nicht in Richtung

---

<sup>1</sup> Rohstoffproduktivität = Bruttoinlandsprodukt dividiert durch Einsatz von abiotischem Primärmaterial im Inland. Die Rohstoffproduktivität drückt aus, wie viel Bruttoinlandsprodukt (in Euro, preisbereinigt) je eingesetzter Tonne abiotischen Primärmaterials erwirtschaftet wird. Zum abiotischen Primärmaterial zählen die im Inland entnommenen Rohstoffe, ohne land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse, sowie alle importierten abiotischen Materialien (Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren). (Destatis, 2017)

Umsetzung einzelner Maßnahmen hin zu einer Rohstoffwende operationalisierbar. Dies impliziert auch, dass für Massenrohstoffe (z. B. Stahl, Kies) nicht die gleichen Indikatoren und Ziele abgeleitet werden können wie für Nicht-Massenrohstoffe (z. B. Technologiemetalle wie Lithium, Neodym).

Eine wichtige Aufgabe des Projekts „Rohstoffwende Deutschland 2049“ war es daher, rohstoffspezifische Ziele zu definieren, Entlastungspotenziale zu identifizieren und geeignete spezifische Instrumente und Maßnahmen zur Erschließung der Potenziale auszuarbeiten. Folgende sechs Schritte wurden hierzu unternommen:

1. Analyse der Charakteristika der untersuchten Rohstoffe anhand der drei Nachhaltigkeits-säulen
2. Identifizierung der HotSpots<sup>2</sup>
3. Einteilung der Rohstoffe in Rohstoffgruppen nach Charakteristika und HotSpots
4. Ermittlung von Entlastungspotenzialen durch Szenarien
5. Ableitung von rohstoffspezifischen Zielen
6. Entwicklung von geeigneten spezifischen Maßnahmen und Instrumenten

#### 1. Charakteristika der untersuchten Rohstoffe

Anhand der drei Nachhaltigkeitssäulen Ökonomie, Ökologie und Soziales wurden die Auswirkungen bzw. die Risikopotenziale der einzelnen Rohstoffe analysiert. Innerhalb der drei Nachhaltigkeitssäulen wurden wichtige Einzelkategorien zur Analyse ausgewählt, die in folgender Tabelle beispielhaft aufgeführt werden. Im Gesamtbericht werden die untersuchten Kategorien in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen ausführlich dargestellt. Eine Betrachtung weiterer ökologischer, sozialer und ökonomischer Kategorien könnte in zukünftigen Analysen miteinbezogen werden.

---

<sup>2</sup> Als HotSpots werden hier aus ökologischer, sozialer und ökonomischer Sicht besonders kritische Auswirkungen/ Risiken der Wertschöpfungskette bezeichnet.

## Nachhaltigkeitssäulen und ihre Kategorien

Nachhaltigkeitssäulen	Kategorien	Vorgehen
Ökonomische Säule	Versorgungsrisiken	Report on Critical Raw Materials for the EU
	Ökonomische Bedeutung für die europäische Volkswirtschaft	
Ökologische Säule	Treibhausgasemissionen	Ökobilanzdaten + fallspezifische Betrachtungen + HotSpot-Analyse
	Versauerungspotenzial	
	Wasserverbrauch	
	Flächeninanspruchnahme	
	Schadstoffemissionen	
	Weitere ökologische Kategorien	
Soziale Säule	Arbeitssicherheit & Kinderarbeit	Eigene Methodik Öko-Institut
	Korruption & Governance	
	Gewalttätige Konflikte	

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

### 2. Identifizierung der HotSpots

Sehr relevante negative ökologische, soziale oder ökonomische Auswirkungen/Risiken werden in der Analyse mit dem Begriff „HotSpots“ bezeichnet. Wurden für einen Rohstoff in einer Kategorie HotSpots identifiziert, wurden hierzu rohstoffspezifische Ziele erarbeitet. Mit diesen Zielen sollen die mit dem jeweiligen Rohstoff verbundenen, besonders kritischen Auswirkungen beseitigt bzw. verringert werden. Die untersuchten Rohstoffe weisen dabei nicht alle unterschiedlichen Charaktereigenschaften auf, sondern können nach ihrer Art gruppiert werden. Anhand von Beispielrohstoffen wurden anschließend rohstoffspezifische Ziele ausgearbeitet. Die Notwendigkeit eines rohstoffspezifischen Vorgehens kann anhand eines einfachen Vergleiches der Probleme bei Neodym sowie bei Eisen/Stahl verdeutlicht werden: Während bei der Eisen/Stahl-Prozesskette von der Rohstoffextraktion bis zur Stahlherstellung bereits Effizienzpotenziale im technischen Bereich vielfach ausgeschöpft sind, ist die Förderung und Aufbereitung von Neodym (Technologiemetall mit vergleichbarer geringer globaler Produktionsmenge) noch mit z. T. extremen und relativ leicht vermeidbaren Umweltauswirkungen verbunden. Insofern müssen bei Eisen/Stahl Ziele zur Begrenzung des absoluten Primärbedarfs angedacht werden. Umgekehrt sind bei Neodym Ziele zur verbesserten Primärgewinnung vergleichsweise wirkungsvoller und angemessener.

### 3. Eingruppierung der Rohstoffe

Ein wichtiger methodischer Schritt im Rahmen der „Rohstoffwende Deutschland 2049“ war die Gruppierung der insgesamt 75 untersuchten Rohstoffe anhand der oben beschriebenen Charakteristika. Das Öko-Institut hat dazu ein Klassifizierungskriterium erarbeitet, das definiert, ab wann ein Rohstoff als Massenrohstoff für die „Rohstoffwende Deutschland 2049“ einzustufen ist. Die sinnvolle Schwelle hierfür ist vom Projektteam mit 100.000 oder mehr Tonnen Jahresbedarf für Deutschland definiert worden. Massenbaustoffe wie Kies oder Massenmetalle wie Stahl liegen hier

deutlich darüber, viele Technologiemetalle wie Lithium oder Neodym eindeutig unter dieser Schwelle. Die Cluster für die verschiedenen Massenrohstoffe und Nicht-Massenrohstoffe werden im Gesamtbericht im Detail vorgestellt.

Warum ist die Unterscheidung zwischen Massen- und Nicht-Massenrohstoffen wichtig?

Bei Massenrohstoffen wie z. B. Zement oder Eisen/Stahl sind häufig (aber nicht immer) Umwelt-effizienzpotenziale wie z. B. Reduzierung von Treibhausgasemissionen in den konventionellen Prozessketten bereits realisiert. Die Nachfrage an Massenrohstoffen verursacht negative Umweltauswirkungen über ihre schiere Menge. Am Beispiel Kies liegt ein HotSpot bei der großen Flächeninanspruchnahme beim Abbau des Rohstoffs. Daher ist für Massenrohstoffe eine Dämpfung der absoluten Primärnachfrage unter gleichzeitiger Erhöhung des Sekundäranteils (durch verstärkte Recyclingaktivitäten) eine strategische Zielsetzung. Im Falle von Technologiemetallen, die von Deutschland z. T. nur in wenigen Tonnen pro Jahr benötigt werden, sind dagegen häufig noch Entlastungspotenziale bei spezifischen Umweltauswirkungen (z. B. durch Erhöhung der Recyclingrate) oder sozialen HotSpots vorhanden und ihre zielgerichtete Erschließung relevant.

Die Unterschiedlichkeit der beiden Gruppen hinsichtlich geeigneter Maßnahmen lässt sich an folgender Metapher aus der Medizin veranschaulichen: Während für Massenrohstoffe ein „Breitbandantibiotikum“, also die Dämpfung des absoluten Bedarfs als ein wesentlicher Vorstoß zielführend ist, eignen sich für Nicht-Massenrohstoffe wie Technologiemetalle vielmehr einzelne präzise „chirurgische Schnitte“. Weiterhin werden durch die Dämpfung des Primärbedarfs gleichzeitig verschiedene HotSpots bzw. Auswirkungen adressiert. Bei Eisen/Stahl zum Beispiel liegen die HotSpots u. a. bei den Treibhausgasen, der Versauerung und Flächeninanspruchnahme gleichermaßen.

#### 4. Ermittlung von Entlastungspotenzialen durch Szenarien

Zur Ermittlung von Entlastungspotenzialen hat das Öko-Institut für vier wesentliche Bedürfnisfelder (Wohnen, Arbeiten, Mobilität, IKT<sup>3</sup>) ein Rohstoffwende-Szenario erstellt und die Ergebnisse im Vergleich zu einem Business-As-Usual-Szenario (als Referenz) analysiert. Die Ergebnisse der Szenarien zeigen sowohl für Massenrohstoffe als auch für Nicht-Massenrohstoffe deutliche Entlastungspotenziale hinsichtlich negativer ökologischer und sozialer Auswirkungen (siehe unten zu zentralen Projektergebnissen sowie ausführlich im Gesamtbericht).

#### 5. Ableitung von rohstoffspezifischen Zielen

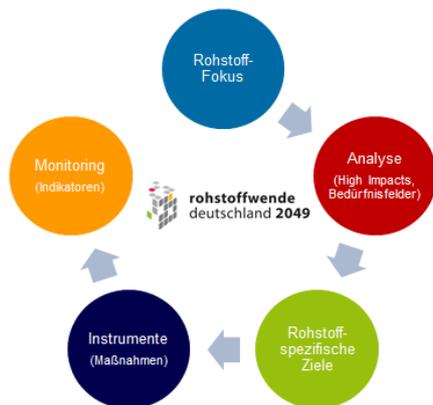
Aus den beschriebenen Eingruppierungen der Rohstoffe und den Ergebnissen der Szenarien lassen sich für die „Rohstoffwende Deutschland 2049“ rohstoffspezifische Ziele ableiten. Diese werden weiter unten sowie im Gesamtbericht im Detail vorgestellt.

#### 6. Entwicklung von geeigneten spezifischen Maßnahmen und Instrumenten

Geeignete Maßnahmen und Instrumente zur Erzielung von Entlastungspotenzialen sind wichtige Erfolgsfaktoren einer nachhaltigen Rohstoffpolitik. Das Rohstoffwendeprojekt Deutschland 2049 verlässt dabei die Ebene der eindimensionalen Betrachtung (Preisrisiken, Verknappung) und der Einzelaspekte und hat einen umfassenden Blick in die Zukunft aus Rohstoffsicht gelegt. Die Projektschwerpunkte für die Rohstoffwende Deutschland 2049 werden schematisch in der Abbildung unten aufgezeigt.

<sup>3</sup> Informations- und Kommunikationstechnologien

## Projektschwerpunkte



Quelle: Darstellung Öko-Institut



Quelle: Darstellung Öko-Institut

## Zentrale Projektergebnisse

### Szenarien

Im Projekt wurden für die Bedürfnisfelder Mobilität, Wohnen, Arbeiten und IKT ein Business-As-Usual-Szenario sowie ein Rohstoffwende-Szenario aufgestellt.

Im Business-As-Usual-Szenario werden neben der Festlegung wichtiger Kenndaten wie Demografie folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- „Ungestörte“ Trendfortschreibung bisheriger Entwicklungen
- Kein entscheidender Politikwechsel bzgl. Rohstoffen
- Keine massiven Änderungen der Konsumstile
- Keine zusätzlichen Effizienzgewinne; Trendentwicklungen werden fortgeschrieben.

Es handelt sich hierbei um eine Fortführung der bisherigen Entwicklungen ohne steuerndes Eingreifen.

Das Rohstoffwende-Szenario basiert hingegen auf folgenden Annahmen:

- Variation der Einflussgrößen durch Leitlinien, die den Trend beeinflussen
- Rohstoffnutzung unter (maximalen) Minderungen der Auswirkungen und Risiken
- Nachhaltige Rohstoffnutzung, bei der soziale und Umweltaspekte eine viel größere Rolle spielen als im BAU-Szenario.

Im Rohstoffwenden-Szenario wird aktiv steuernd Einfluss auf den Trend genommen. Neben ökonomischen Größen liegt der Fokus auf einer deutlichen Minderung der negativen sozialen und ökologischen Auswirkungen/Risiken in der Rohstoffgewinnung, -verarbeitung und -nutzung.

Im Rahmen des ersten Stakeholder-Workshops dieses Projektes wurden diese Annahmen für die Szenarien mit Experten und Stakeholdern diskutiert. Ein wichtiger Konsens war, dass unter

Aufnahme neuester Erkenntnisse für beide Szenarien die Bevölkerungszahl Deutschlands bis Mitte des 21. Jahrhunderts nur mäßig zurückgehen wird.

Die umfassenden Szenarioannahmen und Szenarioergebnisse sind ausführlich im Gesamtbericht beschrieben. Für die drei beispielhaft ausgewählten Rohstoffe Neodym, Kies sowie Stahl ergeben sich die folgende Szenarienergebnisse:

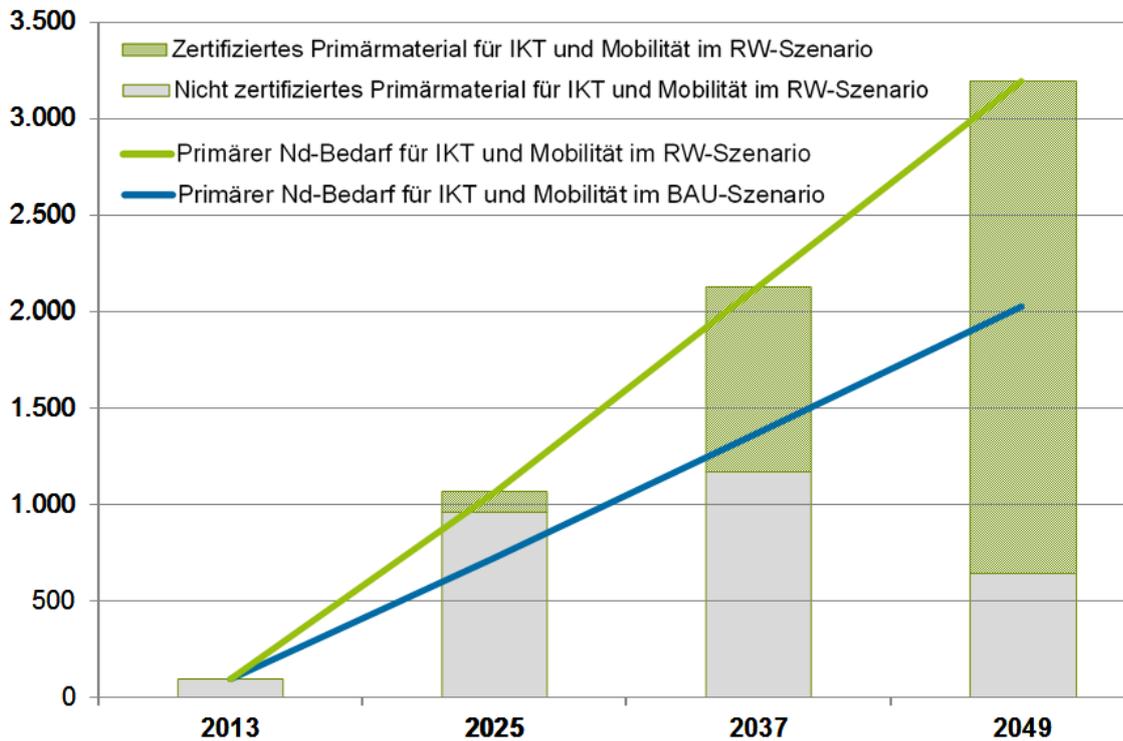
Es wurden zwei Szenarien für den Neodymbedarf in Deutschland bis zum Jahr 2049 erarbeitet, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind: Zum einen ein Business-As-Usual-Szenario (BAU; blaue Linie) und zum anderen ein Rohstoffwende-Szenario (RW; grüne Linie). Da der Einsatz von Neodym für Umwelttechnologien wie z. B. Elektrofahrzeuge von großer Bedeutung ist, zeigen beide Szenarien einen steigenden Bedarf – im Rohstoffwende-Szenario ist der Anstieg steiler. Die blaue Kurve zeigt den nationalen Neodymbedarf aus Primärrohstoffquellen im BAU-Szenario in den Bedürfnisfeldern IKT und Mobilität. Da im BAU-Szenario die Recyclingrate von <1 % fortgeschrieben wird, ist der gesamte Neodymbedarf aus Primärrohstoffen zu decken. Des Weiteren wird im BAU-Szenario angenommen, dass kein zertifiziertes Primärmaterial auf dem Markt zur Verfügung steht.

Im Rohstoffwende-Szenario steigt der primäre Neodymbedarf stärker an als im BAU-Szenario. Im Jahr 2049 werden im Rohstoffwende-Szenario der Bedürfnisfelder IKT und Mobilität ca. 1.200 t primäres Neodym mehr nachgefragt (+58 %) als im Business-As-Usual-Szenario. Dies beruht auf einem erhöhten Neodymbedarf durch eine weitgehende Elektrifizierung der Antriebe von Pkw etc. Für das RW-Szenario sind bereits 30 % Sekundärmaterial in 2049 berücksichtigt. Die gesteigerte Recyclingrate kann den erhöhten Bedarf durch die weitgehende Elektrifizierung im Straßenverkehr allerdings nicht kompensieren. Der entscheidende Ansatz zur Reduktion der negativen Auswirkungen im Rohstoffwende-Szenario liegt in nachhaltig produziertem zertifiziertem Primärmaterial.<sup>4</sup> In 2049 werden 80 % des benötigten Primärmaterials durch zertifiziertes Primärmaterial gedeckt (siehe grüne Säule). Dadurch sinkt im Rohstoffwende-Szenario bis 2049 der Einsatz nicht-zertifizierten Primärmaterials (graue Säule) deutlich im Vergleich zum BAU-Szenario.

---

<sup>4</sup> Die Kriterien für zertifiziertes Neodym sind ausführlich im Gesamtbericht beschrieben.

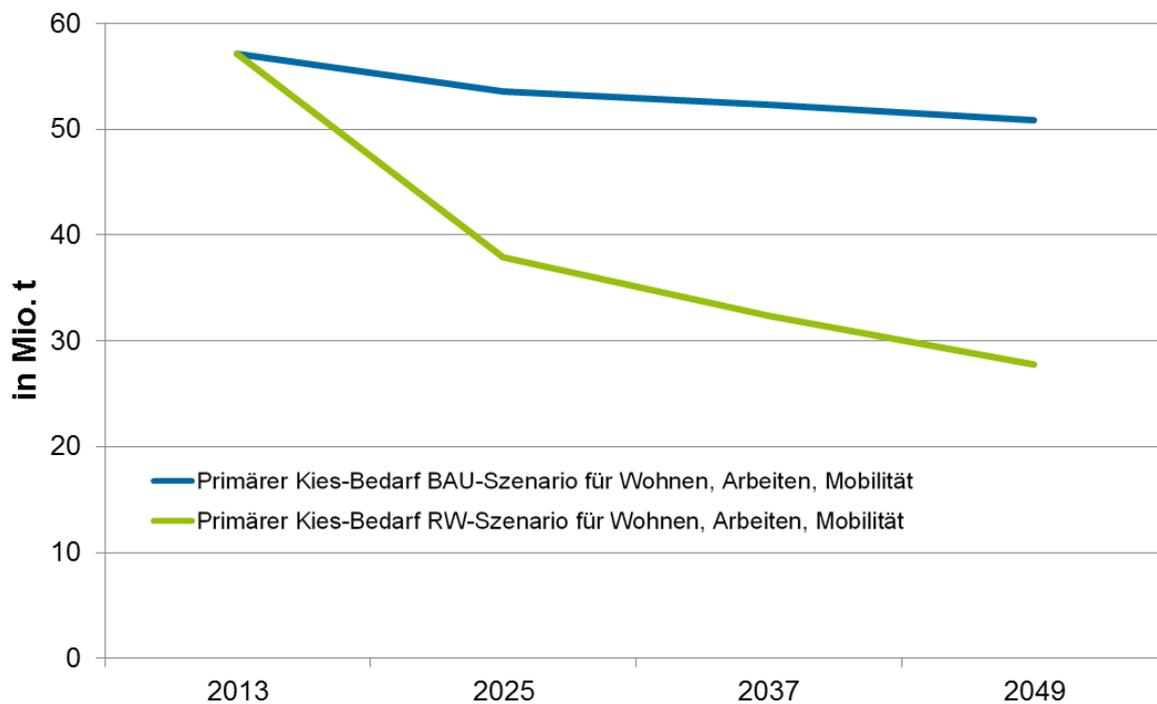
**Primärer Neodymbedarf in den Bedürfnisfeldern IKT und Mobilität in Deutschland (in t/a)**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Im Rohstoffwende-Szenario sinkt der primäre Kiesbedarf stärker als im BAU-Szenario. Im Jahr 2049 werden im Rohstoffwende-Szenario durch die Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität ca. 23 Mio. t primärer Kies weniger nachgefragt (-45 %) als im BAU-Szenario. Die deutliche geringere Bedarfsentwicklung im Rohstoffwende-Szenario resultiert aus einem Bündel an unterstellten Maßnahmen: geringere Neubauaktivitäten bei Wohnen und Arbeiten durch verstärkten Bestandserhalt (Lebensdauerverlängerung und längere Nutzung von Gebäuden), ein stärkerer Anteil an Mehrfamilienhäusern als 1-2-Familienhäuser im Wohnungsbau (materialeffizienteres Bauen), größerer Anteil von Holzbau bei 1-2-Familienhäusern sowie weniger Straßenzubau als im BAU-Szenario. Hinzu kommt ein stärkerer Einsatz von Sekundärbeton als Kiesersatz für die Herstellung von Beton.

**Primärer Kiesbedarf in den Sektoren Wohnen, Arbeiten, Mobilität in Deutschland (in Mio. t)**

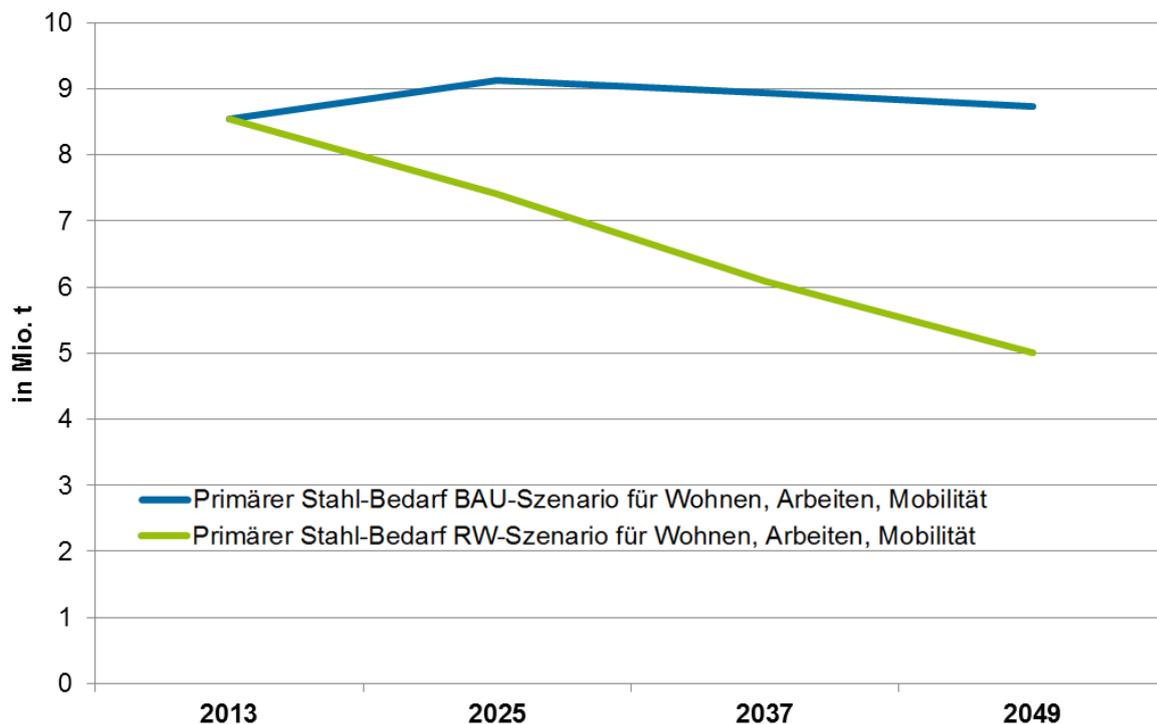


Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Es wurden zwei Szenarien für den primären Stahlbedarf in Deutschland bis zum Jahr 2049 berechnet, die in folgender Abbildung dargestellt werden: Zum einen ein Business-As-Usual-Szenario (BAU; blaue Linie) und zum anderen ein Rohstoffwende-Szenario (RW; grüne Linie). Die blaue Kurve zeigt den Stahlbedarf aus Primärrohstoffquellen im BAU-Szenario in den Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten und Mobilität. Da im BAU-Szenario die Recyclingraten von 50 % (Wohnen/Arbeiten) bzw. 10 % (Mobilität) fortgeschrieben werden, ist der größere Anteil des Stahlbedarfs aus Primärrohstoffen zu decken.

Im Rohstoffwende-Szenario sinkt der primäre Stahlbedarf kontinuierlich von 2013 bis 2049. Im Jahr 2049 werden im Rohstoffwende-Szenario durch die Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität fast 4 Mio. t primärer Stahl weniger nachgefragt (-43 %) als im BAU-Szenario. Im Rohstoffwende-Szenario wird einerseits ein Anstieg des Sekundärstahlanteils (von 50 % 2013 auf 66 % in 2049 für Bauen & Wohnen sowie von 10 % auf 30 % im Bedürfnisfeld Mobilität) unterstellt. Andererseits spielen geringe Neubauaktivitäten (Lebensdauererlängerung von Bestandsgebäuden usw.) im Rohstoffwende-Szenario in allen Bedürfnisfeldern eine Rolle. Eine weitere wichtige Rolle spielen im Bereich Mobilität ein veränderter Model-Split (weniger PKW) und neue Antriebstechnologien (deutlich weniger PKW mit Verbrennungsmotor inkl. Leichtbaumaterialien).

## Primärer Stahlbedarf in den Sektoren Wohnen, Arbeiten, Mobilität in Deutschland (in Mio. t)



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Betrachtet werden hier die drei relevanten Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität. Der Maschinenbau oder die Produktion für den Export werden nicht betrachtet.

### Ausgewählte rohstoffspezifische Ziele

**Rohstoffspezifische** Ziele bzw. clusterspezifische Ziele sind notwendig. Die Herausforderungen und Probleme der unterschiedlichen Rohstoffcluster zeigen sich so unterschiedlich – von sozialen Risiken im Kleinbergbau in Entwicklungsländern bis hin zu Risiken der Landschaftsinanspruchnahme in Deutschland – dass verschiedenartige Ziele verfolgt werden müssen.

Ein Dachziel über alle Rohstoffe ist daher nicht zielführend: Selbst eine übergreifende Reduzierung des primären Gesamtbedarfs ist nicht auf alle Rohstoffe bzw. Cluster zu übernehmen. So wird nach den untersuchten Szenarien gerade im Rohstoffwende-Szenario der primäre Bedarf von Neodym bis 2049 trotz der Einführung einer umfassenden Recyclinginfrastruktur voraussichtlich weiter steigen. Technologiemetalle wie Neodym spielen jedoch eine wichtige Rolle für die Energiewende, d. h. letztlich für die massive Reduzierung der Inanspruchnahme von fossilen Energierohstoffen.

Die im Gesamtbericht vorgestellten Cluster der Massen- und Nicht-Massenrohstoffe im Fokus des Projektes bauen auf Expertenwissen und langjährigen Erfahrungen auf. Mit diesen Rohstoffgruppen hat das Öko-Institut erstmals eine Clusterung von Rohstoffen mit ähnlichen Ziel-Charakteristika vorgeschlagen.

Die Rohstoffe in einem Cluster besitzen mindestens einen gemeinsamen HotSpot wie z. B. Risiken der Arbeitssicherheit und Kinderarbeit oder einheitliche besondere Eigenschaften wie die Recyclingfähigkeit. Dabei dürfen die rohstoffspezifischen Charakteristika der einzelnen Rohstoffe in einem Cluster nicht außer Acht gelassen werden. Rohstoffspezifische Analysen sind weiterhin notwendig. Den verschiedenen Clustern der Massen (MR)- und Nicht-Massenrohstoffe (NMR) wurden clusterspezifische Ziele zugeordnet.

Bei manchen Clustern konnte bereits auf eine detaillierte Untersuchung im Rahmen des Projektes zurückgegriffen werden. Hier wurden **erste quantitative Ziele** für die Cluster bzw. einzelne Rohstoffe identifiziert und detaillierte Maßnahmen und Instrumente zur Zielerreichung erarbeitet. Dies wurde für folgende Cluster vorgenommen

- MR 1 „heimische Baurohstoffe“: Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden, Steigerung des hochwertigen Einsatzes von Sekundärmaterial, Reduzierung des absoluten Primärrohstoffbedarfs
- MR 2 „Baustoffe“: Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden, Reduzierung des absoluten Primärbedarfs für Zement
- MR 3 „Hauptmassenmetalle“: Absolute Reduzierung des Primärbedarfs für Stahl
- NMR 1 „Seltene Erden“: Steigerung des Einsatzes von Sekundärmaterial auf 30 %, Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT-Produkten um 50 %, eingesetztes Primärmaterial soll aus 80 % zertifiziertem Primärmaterial bestehen
- NMR 2 „Gut recycelbare Rohstoffe“: Steigerung der Recyclingrate von Gold und Silber im Elektronikbereich auf 50 % und für Platin und Palladium im Fahrzeugbereich auf 80 %
- NMR 3 „Konflikte & Kleinbergbau“: 80 % der importierten Rohstoffe sollen aus zertifizierten Minen stammen

Bei anderen Clustern konnte nicht auf eine solch detaillierte Analyse zurückgegriffen werden - aber erste qualitative Ziele wurden hier skizziert. Diese Ziele benötigen noch eine Spezifizierung im Detail sowie eine Ausarbeitung der konkreten Maßnahmen und Instrumente. Hierzu zählen die Cluster

- MR 2 „Baustoffe“ mit der GWP schonenden Technologie
- MR 3 „Hauptmassenmetalle“ mit der Ausschöpfung des Recyclingpotenzials, Einsparung der Treibhausgase, Zertifizierung der Einhaltung von Umweltstandards bei der Erzgewinnung
- MR 4 „Industriesalze“ mit der Reduzierung der Wasserverunreinigung und der Reduzierung des Primärkaliumeinsatzes
- MR 5 „Sonstige Massenmetalle“ mit der absoluten Primärbedarf-Reduzierung und der Erhöhung der Recyclingraten
- MR 6 „Sonstige Massenrohstoffe“ mit Phosphatrückgewinnung und Reduktion des Primärbedarfs von Phosphat
- NMR 2 „gut recycelbare Rohstoffe“ mit einer weiteren Erhöhung der Recyclingrate und die dadurch anfallenden Treibhausgas-Einsparpotenziale
- NMR 3 „Konflikte & Kleinbergbau“ mit der Erweiterung des OECD-Ansatzes, der Verzahnung der verbindlichen Sorgfaltspflichten mit den Zertifizierungsmechanismen

- NMR 4 „besonderes potentielles Landschaftsrisiko“ mit einer Etablierung des Recyclings von Li-Ionen-Batterien und einer schonenden Lithiumgewinnung
- NMR 5 „Phase-out-Materialien“ mit der Fortführung der Phase-out-Regulierungen und dem Finden von geeigneten Senken

Als Beispiel ist das Cluster NMR 2 „gut recycelbare Rohstoffe“ zu nennen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf innerhalb der Cluster und rohstoffspezifischen Besonderheiten z. B. nach bestehenden Hemmnissen und Barrieren einer besseren End-of-Life-Recyclingrate bei ausgewählten Metallen.

Bei anderen Clustern sind Forschungen notwendig, um rohstoffspezifische Charakteristika und mögliche Hotspots zu identifizieren. Im Falle von relevanten Auswirkungen und Hotspots sind anschließend Ziele zu definieren. Bei folgenden Clustern bzw. Rohstoffen bedarf es noch weiterer Forschung:

- MR 1 „heimische Baurohstoffe“ für Gips
- MR 2 „Baustoffe“ für Kalk gebrannt
- MR 4 „Industriesalze“ für Steinsalz
- MR 6 „Sonstige Massenrohstoffe“ für Schwefel, Titandioxid, Flussspat, Baryt und Spezialsande
- NMR 6 „Sonstige Nicht-Massenrohstoffe“ für alle 18 Rohstoffe

Zur Erreichung einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft sollte die Politik die rohstoffspezifische Forschung aktiv fördern, damit nicht nur das ökonomische Versorgungsrisiko betrachtet wird, sondern auch wir unserer Verantwortung nachkommen, die negativen sozialen und ökologischen Auswirkungen unseres Rohstoffbedarfs zu minimieren.

### Ausgewählte Maßnahmen und Instrumente für die Rohstoffwende

Im Rahmen des Projekts hat das Öko-Institut eine ganze Reihe von Maßnahmen und Instrumenten für die Rohstoffwende vorgeschlagen:

#### *Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld Mobilität*

- Netzweite fahrleistungsbezogene Maut für Kraftfahrzeuge

Das Instrument einer fahrleistungsbezogenen Maut für Kraftfahrzeuge (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und Lkw) die auf dem deutschen Straßennetz bewegt werden, ermöglicht zum einen eine verursachergerechten Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur. Zum anderen können weitere externe Kosten (Unfall-, Umwelt- und Gesundheitskosten) verursachergerecht angelastet werden. Dadurch werden Anreize geschaffen werden, Verkehre zu vermeiden, die Auslastung der Fahrzeuge zu erhöhen und öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen.

- Mautspreizung

Die Mautsätze der fahrleistungsbezogenen Maut sollen so gestaltet sein, dass dadurch die von den konkreten Fahrzeugen verursachten Umweltkosten internalisiert werden. Allein dadurch werden Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten wie bspw. Elektro- oder Brennstoffzellenfahrzeug aufgrund von geringeren innerstädtischen Lärmemissionen und Emissionen von Luftschadstoffen mit niedrigeren Mautsätzen beaufschlagt als verbrennungsmotorische Fahrzeuge.

- CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte

Die Fortschreibung der Pkw-Flottengrenzwerte für den Zeitraum nach 2021, die in den nächsten Jahren festgelegt wird, sollte so ausgestaltet werden, dass im Jahr 2030 die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Neuzulassungen in Deutschland 20g/km nicht überschreiten.

- Bundesmobilitätsplan

Der Bundesverkehrswegeplan sollte weiterentwickelt werden hin zu einem verkehrsträgerübergreifenden und integrierten Bundesmobilitätsplan. Ziel soll ein Infrastruktursystem sein, mit welchem Mobilität gewährleistet und Verkehr reduziert wird. Mit der Umsetzung eines integrierten Mobilitätsplanes soll insbesondere angestrebt werden, die bestehende Infrastruktur effizienter zu nutzen und einen Ausbau auf das notwendige Maß zu beschränken.

- Asphaltrecycling

Um bei der Sanierung des bestehenden deutschen Straßennetzes den Verbrauch von neuem Asphalt zu vermindern, sollte das Asphaltrecycling von derzeit 25 % auf 75 % gesteigert werden. Hierzu müssen die vergaberechtlichen Vorgaben in den Ländern und Gemeinden zum Einsatz von Recycling-asphalt bei der Erneuerung von Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen entsprechend angepasst werden.

- Zertifiziertes Primär-Neodym

Die Gewinnung mineralischer Rohstoffe hat neben Auswirkungen auf die Umwelt auch Effekte auf die wirtschaftliche und soziale Entwicklung der Herkunftsregion. Eine Zertifizierung der Einhaltung sozialer und ökologischer Standards in der Primärgewinnung ist ein geeignetes Instrument zur Sicherstellung einer nachhaltigen Primärgewinnung. Hierbei wird nicht das Produkt zertifiziert sondern die Rohstoffgewinnung in dem Herkunftsland und/oder die Verarbeitung des Erzes.

### *Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld Arbeiten & Wohnen*

- Gebäude-Check

Es gilt, die Lebens- und Nutzungsdauer von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden zu verlängern, damit der Neubau und somit die damit verbundene intensive Rohstoffentnahme aufgeschoben und damit zeitlich stark gestreckt wird. Vor diesem Hintergrund unterstützt der „Gebäude-Check“ den Erhalt von Gebäuden und trägt somit zur Rohstoffschonung bei.

- Betonrecycling

Der Einsatz von RC-Beton (Recyclingbeton) im Hoch- und Tiefbau sollte für alle öffentlichen Ausschreibungen (Bund, Länder, Kommunen) in allen zugelassenen Anwendungsbereichen verpflichtend werden. Zudem sollte RC-Beton als ein Kriterium für die Förderung von Bauvorhaben mit Mitteln aus der öffentlichen Hand angelegt werden sowie als Kriterium der Zertifizierung für nachhaltiges Bauen nach DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen).

- Reform der Grunderwerbssteuer zur Flächenverbrauchssteuer

Es soll eine Ablösung der Grunderwerbssteuer durch eine Flächenverbrauchssteuer erzielt werden, so dass die Bemessungsgrundlage die qm des erworbenen Grundstücks sind. Zusätzlich könnten weitere Abschläge (ggf. Befreiung von Steuern) bei innerstädtischen, bereits verbauten Grundstücken (Einsatz als Instrument der Stadtentwicklung) als Anreiz gesetzt werden.

- Festsetzung einer Mindestgeschossflächenanzahl im Bebauungsplan

Die Kommunen sollten konsequent ein Mindestmaß für die Geschossflächenzahl in den Bebauungsplänen festsetzen. Eine solche Festlegung der baulichen Nutzung unterstützt die Rohstoffschonung.

- Primärbaustoffsteuer

Für die Einführung einer Primärbaustoffsteuer in Deutschland wird eine Verbrauchssteuer mit Lenkungszweck vorgeschlagen. Ziel der Steuer soll es sein, die Entnahme des Primärbaustoffs Kies zu verringern und dadurch einen sparsamen Umgang mit Rohstoffen und eine verstärkte Verwendung von Sekundärbaustoffen zu fördern.

- Verbesserungen im Raumordnungsrecht

Um die Ressourcenschonung im Raumordnungsrecht zu verankern, sollten folgende Änderungen im Raumordnungsrecht in Erwägung gezogen werden:

1. Umstellung auf bedarfsorientierte Rohstoffsicherung,
2. Verlängerung der Planungshorizonte für rohstoffbezogene Ausweisungsplanungen und
3. Pflicht zur Vorerkundung und Optimierung der Lagerstätten.

#### *Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld IKT*

- Unternehmerische menschenrechtliche Sorgfaltspflichten („Due Diligence“)

Ziel ist die Weiterentwicklung der bestehenden unternehmerischen Sorgfaltspflichten in der Wertschöpfungskette von Rohstoffen. Due Diligence ist als Grundlage angebracht, um sowohl soziale als auch ökologische Risiken zu identifizieren sowie Abhilfe effektiv adressieren zu können (z.B. in Form anerkannter und eingebetteter Zertifizierungsinitiativen).

- Zertifizierungsansätze und Lieferkettenmanagement

Die Zertifizierung von Rohstoffen zielt zum einen darauf ab, den Rohstoffabbau in den zugehörigen Erzminen nach klar definierten sozialen und ökologischen Kriterien zu garantieren. Des Weiteren spielen aber auch unterschiedliche Formen des Lieferkettenmanagements im Zusammenhang mit der Zertifizierung der Rohstoffe eine wichtige Rolle.

- Lebens-/Nutzungsdauerverlängerung der IKT-Produkte

Durch ein Bündel von aufeinander abgestimmten Einzelmaßnahmen wie die Erarbeitung von Prüfmethoden und Normen zur Messung und Abschätzung der Lebensdauer soll die Lebens-/Nutzungsdauer von IKT-Produkten um 50 % erhöht werden.

Die aufgeführten Maßnahmen und Instrumente werden im Gesamtbericht ausführlich erläutert.

## Strategischer Ausblick

Während Sie diesen Bericht lesen, wird irgendwo in Deutschland in einem Steinbruch Naturstein gebrochen, Kies und Sand aus Gruben gefördert, Kali- und Steinsalz gewonnen und vieles mehr mit spezifischen Folgen für die Umwelt. Weiterhin wird gerade in Lateinamerika mit Hilfe von Quecksilber Gold gewonnen mit gravierenden Folgen für die Gesundheit der Menschen und die Umwelt der entsprechenden Region. Irgendwo in Afrika kämpfen gerade Warlords mit Kindersoldaten unter anderen um das Mineral Coltan (wichtige Tantalquelle), das wir für unsere Mobiltelefone benötigen. In China werden in aufwendigen Prozessen diverse Seltene Erden gefördert, aufkonzentriert und über komplexe chemische Verfahren getrennt und gereinigt. Schlammrückstände (Tailings), die radioaktive Elemente und Schwermetalle enthalten, werden dabei als Abfälle produziert. Dies und vieles mehr geschieht jeden Tag, jeden Monat, jedes Jahr um unseren heutigen und zukünftigen Hunger nach Rohstoffen in Deutschland zu befriedigen.

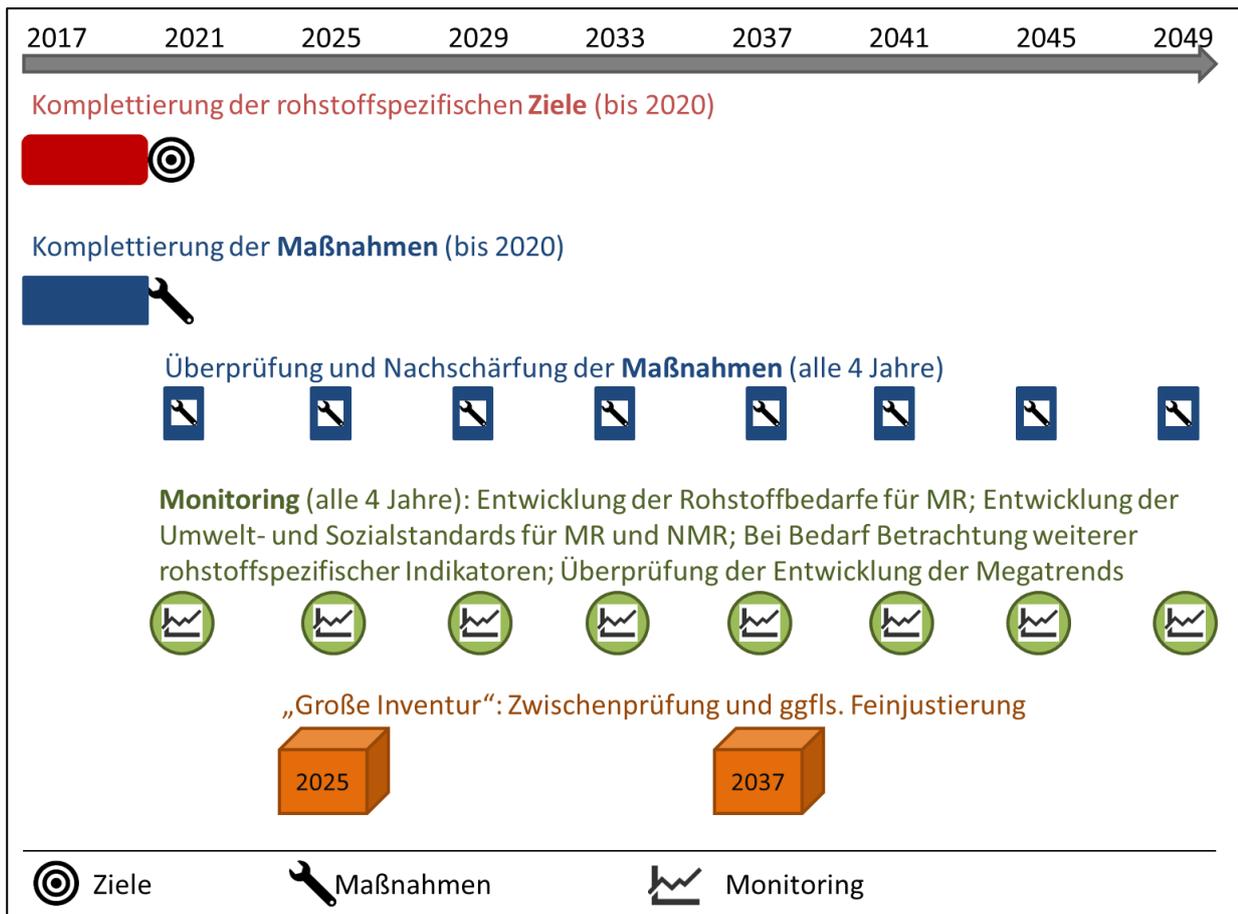
Als strategischen Ausblick des Projekts „Rohstoffwende Deutschland 2049“ hat das Öko-Institut eine Agenda zur Rohstoffwende bis 2049 aufgestellt. Diese soll mittel- und langfristig gezielt dazu beitragen, dass der „Fußabdruck“ der Rohstoffnachfrage Deutschlands Stück für Stück geringer wird.

Eine Rohstoffwende ist unbedingt notwendig, da die globale Nachfrage von Rohstoffen weiter steigen wird. Die Rohstoffnachfrage ist u. a. bedingt durch den notwendigen Ausbau der Infrastruktur für Verkehr, Wohnen, Arbeit und Freizeit. Aber auch neuer Wohnraum und die großen Transformationen der Energie- und Verkehrswende benötigen Massenmaterialien aber auch besondere Technologiemetalle, die vielfach mit hohen Umwelt- und Sozialrisiken gefördert werden.

Die Agenda zur Rohstoffwende gibt einen Überblick über die notwendigen Schritte zu einer Rohstoffwende 2049 in Deutschland. Die Anstrengungen, negative ökologische und soziale Auswirkungen der primären Rohstoffnachfrage zu minimieren, müssen gegenüber den letzten Jahrzehnten beschleunigt und intensiviert werden. Dabei müssen Effizienzgewinne schneller erschlossen und auch völlig neue Wege eingeschlagen werden. Hierunter zählt z. B. die Lebensdauererweiterung von Wohn- und Nichtwohngebäuden, die u. a. mit Hilfe eines Gebäude-Checks erreicht werden soll. Ebenso ist die Einführung einer Primärbaustoffsteuer auf Kies eine von mehreren Maßnahmen, um das Recycling von Beton zu unterstützen.

Die methodische Vorgehensweise und Ergebnisse des Projektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“ zeigen, dass rohstoffspezifische Ziele erforderlich sind, die ambitioniert angestrebt werden müssen, um eine Rohstoffwende bis 2049 zu erreichen. Die Ziele sind unterschiedlich je nach adressierten Rohstoffen und Bedürfnisfeldern. Noch offene Ziele müssen über die Agenda konkretisiert, priorisiert und ebenfalls mit Instrumenten adressiert werden. Eine Zusammenfassung der rohstoffspezifischen Ziele und ihr Ausarbeitungsgrad wird im Gesamtbericht dargestellt. Für die bereits identifizierten Ziele wurden in „Rohstoffwende Deutschland 2049“ erste ambitionierte Maßnahmen und Instrumente entwickelt. In der folgenden Graphik ist die Agenda für eine Rohstoffwende in Deutschland in 2049 visualisiert.

### Agenda zur Rohstoffwende 2049



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e. V.

Die rohstoffspezifischen Ziele müssen bis 2020 komplettiert werden. Aufbauend auf den bereits identifizierten Zielen im Rahmen des Projektes sind weitere quantitative und qualitative Ziele zu adressieren und anschließend zu priorisieren. Dazu zählt u. a. die Betrachtung weiterer Bedürfnisfelder wie z. B. Energiewirtschaft. Mit der Erarbeitung von rohstoffspezifischen Zielen geht die Konkretisierung und Komplettierung von Maßnahmen für die Zielerreichung einher. Die Maßnahmen sind ebenfalls bis 2020 zu komplettieren. Alle vier Jahre sollten die Maßnahmen überprüft und bei Bedarf nachgeschärft werden.

Weiterhin ist ein regelmäßiges Monitoring alle vier Jahre durchzuführen. Hierunter fallen Überprüfungen zu den Rohstoffbedarfen für Massenrohstoffe (MR) genauso wie die Entwicklung der Umwelt- und Sozialauswirkungen bei der Primärgewinnung der nachgefragten Massen- und Nicht-Massenrohstoffe (NMR). Auch können bei Bedarf weitere rohstoffspezifische Indikatoren mit in die Betrachtung aufgenommen werden. Eine Überprüfung der Entwicklung der Megatrends fällt ebenso in das Monitoring: Bevölkerungsentwicklung, Fortschritt der Energie- und Verkehrswende, Technologiesprünge, nennenswerte Veränderungen der Nachfragemuster ebenso wie die Entwicklung der Recyclingquoten müssen regelmäßig überprüft werden.

Bis zum Zieljahr der Rohstoffwende 2049 sollten zwei „große Inventuren“ durchgeführt werden – in 2025 und 2037. Darunter ist eine umfassende Zwischenprüfung der rohstoffspezifischen HotSpots, rohstoffspezifischen Ziele, rohstoffspezifischen Maßnahmen, unterstellten Megatrends sowie

bereits erzielten Fortschritte zu verstehen. Bei Bedarf können die einzelnen Parameter angepasst werden, um das Ziel der Rohstoffwende in Deutschland in 2049 zu erreichen.

Wer ist gefragt, diese Agenda auszuführen?

Wie bei den Maßnahmen und Instrumenten ausführlich dargestellt, sind verschiedene Entscheidungsträger und Akteure für die Implementierung und Umsetzung von Maßnahmen verantwortlich. Dies beginnt bei den Kommunen und Bundesländern z. B. hinsichtlich der Erschaffung und Instandhaltung einer rohstoffsparenden Infrastruktur für Verkehr, Wohnen, Arbeiten und Freizeit.

Auch die Bundesländer tragen Verantwortung für einen nationalen nachhaltigen Rohstoffbedarf und können Maßnahmen für eine Rohstoffwende ergreifen. Beispielsweise kann eine Erneuerung der Berechnungsgrundlage der Grunderwerbssteuer ein kompakteres Bauen unterstützen und somit die Flächeninanspruchnahme und den Rohstoffbedarf reduzieren.

Die Bundesebene ist für zahlreiche Maßnahmen, Instrumente und strategische Entwicklungen bei zahlreichen Rohstoffen unmittelbar zuständig. Impulse für rohstoffschonendes Bauen, eine ressourceneffiziente Energie- und Verkehrswende sowie Impulse für faire globale Rohstoffketten werden auf Bundesebene eingespeist. Das BMUB zeigt im Rahmen von ProgRess II (Deutsches Ressourceneffizienzprogramm) wo für eine nachhaltige Nutzung und den Schutz von Rohstoffen angesetzt werden soll z. B. bei einer Steigerung des Einsatzes von Recyclingbaustoffen.

Die Europäische Union ist ein wichtiger Spieler bei der Setzung von europaweiten Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft und des Recyclings sowie der Stärkung von Ressourcenaspekten im Produktdesign (Ecodesign-Richtlinie). Die negativen sozialen Auswirkungen der primären Rohstoffgewinnung von Konfliktmineralien hat sie nun in den Blick genommen und einen Politikansatz zur Sorgfaltspflicht angekündigt. Eine Erweiterung auf weitere Rohstoffe sowie den Blick auf die Umweltauswirkungen sollten die nächsten Schritte sein. Bei internationalen Abkommen und Verhandlungen mit anderen Weltregionen ist eine starke EU von großer Bedeutung.

Die Wirtschaft in Deutschland ist ebenso ein wichtiger Faktor bei der Erschließung zusätzlicher Recyclingpotenziale (z. B. Betonrecycling, Gipsrecycling, Recycling von Massen- und Technologiemetallen etc.). Weiterhin sind die entsprechenden Branchen und ihre Unternehmen wichtige Motoren für Innovationen zur Rohstoffeffizienz (z. B. rohstoffsparende Produktion für Zement) und zur Entwicklung neuer rohstoffschonender Technologien.

Das Öko-Institut wird gemäß seines Leitbildes die Rohstoffwende 2049 in den nächsten Jahren und Jahrzehnten aktiv begleiten und vorantreiben und durch die zahlreichen Projektergebnisse und Erkenntnisse aus unterschiedlichen Konstellationen stets neue Impulse und Vorschläge in die Debatte einbringen. Weiterhin soll die Rohstoffwende 2049 zukünftig verstärkt in europäischen und internationalen Debatten kommuniziert und vermittelt werden, um auch in anderen Ländern zu vergleichbaren Aktivitäten zur umwelt- und sozialverträglichen Rohstoffpolitik beizutragen.

## Danksagung

Das Projektteam des Öko-Instituts bedankt sich beim Vorstand und der Geschäftsführung des Öko-Instituts für die stete und vertrauensvolle Unterstützung des mehrjährigen strategischen Eigenprojekts. Weiterhin danken die Autorinnen und Autoren zahlreichen weiteren Kolleginnen und Kollegen des Öko-Instituts, die uns mit Hinweisen, eigenen Beiträgen und konstruktiver Kritik unterstützt haben. Der Dank schließt die externen Teilnehmer der Fachworkshops im Rahmen des Projekts ein – ebenso die zahlreichen Teilnehmer der Jahrestagung 2016 des Öko-Instituts, die durch Diskussionsbeiträge und kritische Hinweise ebenfalls maßgeblich zum Gelingen des Vorhabens beigetragen haben.

Ein besonderer Dank und Gruß geht an unsere ehemaligen Kollegen Gerhard Schmidt und Falk Schulze, die in der Anfangsphase des Projekts „Rohstoffwende Deutschland 2049“ wichtige Beiträge geleistet hatten. Wertvolle Impulse hat weiterhin unser Kollege Andreas Manhart beigesteuert.



## 1. Warum brauchen wir eine Rohstoffwende?

Der 1973 gedrehte Kinofilm „...Jahr 2022, die überleben wollen...“ (US-Originaltitel „Soylent Green“) beginnt wie ein Diavortrag mit einer Abfolge von Bildern ausgehend vom Beginn der industriellen Revolution: die ersten Dampfeisenbahnen, die ersten Autos, immer mehr und modernere Autos, Wolkenkratzer, riesige Autobahnknoten, Hochspannungsleitungen usw. Die zunächst langsame Bildabfolge beschleunigt sich zunehmend – sinnbildlich für die fortlaufend rasantere Industrialisierung und dem Verbrauch von natürlichen Ressourcen. Als das Auge den ständig schnelleren Bildwechseln nicht mehr folgen kann, ändert sich die Szene abrupt: ein dunkles Treppenhaus voller schlafender Menschen in New York im Jahr 2022. Der Klimawandel sorgt in dieser Zukunft auch nachts für unerträglich heißes Klima, die natürlichen Ressourcen sind weitgehend aufgebraucht und die Menschen müssen sich überwiegend von der synthetischen Nahrung „Soylent Green“ ernähren – angeblich aus dem Plankton der Ozeane hergestellt. Erst am Ende des Films kommt die schreckliche Wahrheit ans Licht...

Cineastische Übertreibung zum Zwecke der Unterhaltung? Eine zugespitzte Vision, ein Jahr nach dem Erscheinen der „Grenzen des Wachstums“ vom Club of Rome? Sicherlich von allem etwas!

Heute, im Jahr 2017 können wir davon ausgehen, dass bis 2022 eine Alptraumwelt wie im eingangs beschriebenen Film nicht Realität werden wird. Der eigentliche Kern des Films ist jedoch immer noch hochaktuell: die beschleunigte Ausbeutung natürlicher Ressourcen und die damit verbundenen massiven Umweltbelastungen und sozialen Verwerfungen haben von 1973 bis heute tatsächlich deutlich zugenommen. Aber wie hat sich seit 1973 wirklich die Welt verändert und die Ausbeutung der natürlichen Ressourcen beschleunigt? Nur ein paar wenige Schlüsselzahlen hierzu: Die globale Stahlproduktion wuchs von rund 625 Mio. Tonnen (1973) auf 1,6 Mrd. Tonnen (2013). Die Zementproduktion versechsfachte sich nahezu von rund 708 Mio. Tonnen (1973) auf rund 4,18 Mrd. Tonnen (geschätzt für 2015). Die jährlichen globalen Treibhausgasemissionen verdoppelten sich seit 1973 von rund 30 Mrd. Tonnen Kohlendioxidäquivalenten auf heute rund 60 Mrd. Tonnen.

Und das ungeachtet der bereits in der Rio Deklaration von 1992 (Agenda 21) betonten Notwendigkeit, eine effiziente Ressourcenplanung unter Einbeziehung der sozialen Dimension voranzutreiben.

*„Es ist geboten, ausgehend von den spezifischen Gegebenheiten des jeweiligen Landes wirtschaftspolitische Reformen vorzunehmen, die für eine effiziente Ressourcenplanung und -nutzung zu Gunsten der nachhaltigen Entwicklung im Rahmen einer soliden Wirtschafts- und Sozialpolitik sorgen, ...“ (Agenda 21, Rio Declaration, 1992)*

Aber zu wenig deutet bislang darauf hin, dass die Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten entscheidend in eine nachhaltige Richtung geführt wird. Industrieländern wie Deutschland kommt für die Entwicklung der nächsten Jahrzehnte eine besondere Verantwortung zu. Einerseits treiben sie durch die hohe Nachfrage nach Rohstoffen die nicht nachhaltige Entwicklung weiter voran - auch wenn die Schwellen- und Entwicklungsländer hierbei ständig „aufholen“. Andererseits können sie durch technologische, gesellschaftliche und politische Entwicklungen Trends initiieren, die für eine nachhaltige Entwicklung global unabdingbar sind: die Energiewende in Deutschland ist hierfür eine weltweit mit Spannung verfolgte Vorlage.

Darüber hinaus steht aber Deutschland als eines der größten Industrienationen der Erde auch in der Verantwortung, seinen Rohstoffbedarf nachhaltig zu gestalten. Denn Deutschland verbraucht im Vergleich zu seiner Einwohnerzahl überproportional Rohstoffe. Entsprechend ist das Öko-

Institut der Überzeugung, dass Deutschland hier seiner Verantwortung gerecht werden und die Anstrengungen hin zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft im eigenen Land und weltweit verstärken muss. Ziel muss die Rohstoffwende sein. Das Öko-Institut untersuchte daher mit eigenen Mitteln beispielhaft für Deutschland die Möglichkeiten und Herausforderungen für die Rohstoffwende mit Langfristperspektive (2049) und den damit verbundenen Auswirkungen im In- und Ausland.

Neben den komplexen ökonomischen und ökologischen Herausforderungen adressiert das Projekt Deutschland 2049 gleichermaßen die sozialen Aspekte wie Kinderarbeit, Arbeitssicherheit sowie weitere menschenrechtliche Risiken in der globalen Rohstoffwirtschaft. Aufgrund der hohen Relevanz des Themas finanzierte das Öko-Institut das Projekt Deutschland 2049 ausschließlich mit eigenen Mitteln.

### Abbildung 1-1: Vielfältige Herausforderungen für die Rohstoffwende

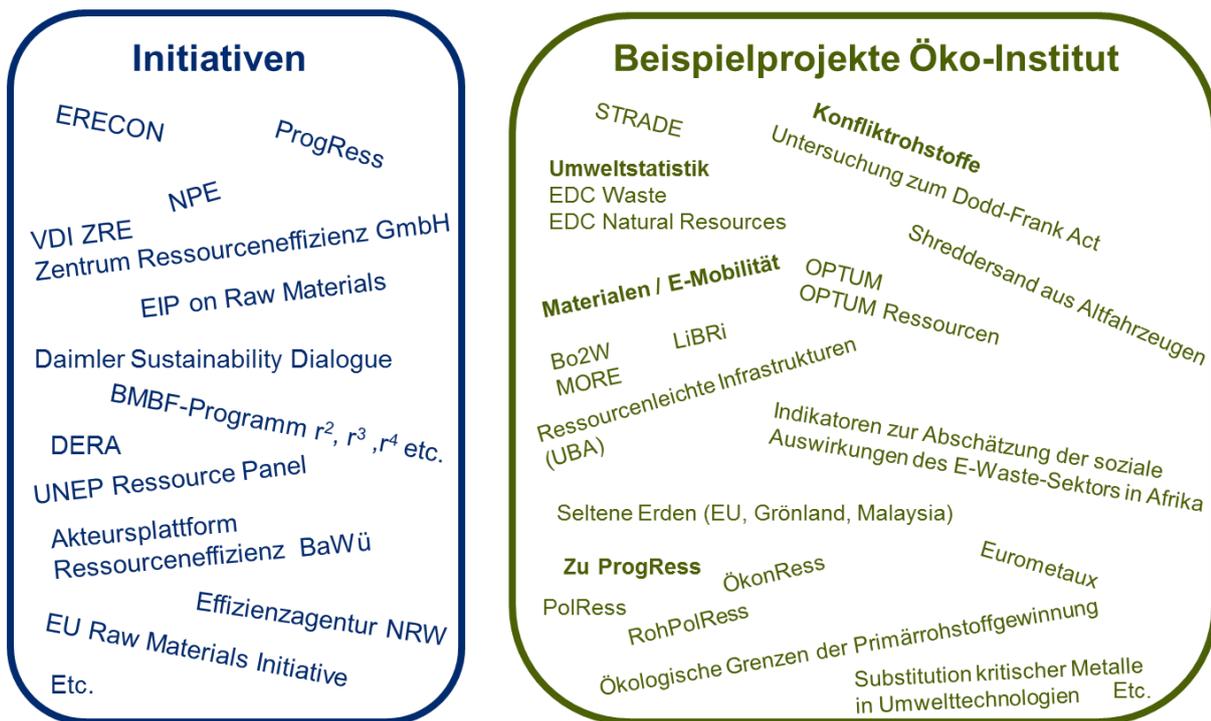


Quelle aller Bilder: Öko-Institut e.V.

Das Thema Ressourcen und Rohstoffe ist überwiegend global zu betrachten, weil viele Zusammenhänge in diesem Sektor eine rein lokale oder nationale Betrachtung gar nicht zulassen. Dennoch können (und müssen) alle drei Entscheidungs- und Handlungsebenen zusammenwirken, um ein schlüssiges Gesamtkonzept zu bilden. Viele wichtige Initiativen zu Ressourcen und Rohstoffen sind bereits auf lokaler, nationaler und internationaler Ebene auf den Weg gebracht worden:

- Lokale Ebene (u. a. Akteursplattform Ressourceneffizienz Baden-Württemberg, Effizienzagentur NRW)
- Nationale Ebene (u. a. ProgRess, DERA, BMBF-Programme, VDI ZRE Zentrum Ressourceneffizienz GmbH)
- Internationale Ebene (u. a. ERECON, EU Raw Materials Initiative, EIP on Raw Materials, UNEP Resource Panel)
- Wirtschaftliche Stakeholder (u. a. Aluminium Stewardship Initiative, Daimler Sustainability Dialogue)

Abbildung 1-2: Ausgewählte bestehende Initiativen und Beispielprojekte



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Das Öko-Institut selbst hat in der Vergangenheit bis heute zahlreiche Projekte zu diversen Aspekten im Ressourcenbereich auf den unterschiedlichsten Ebenen bearbeitet.

Die genannten Initiativen und Projekte leisten einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung. Die Diskussionen sind aber häufig auf Einzelaspekte der Rohstoffwirtschaft fokussiert, verfolgen nicht selten umstrittene Ein-Indikatorenkonzepte (MIPS, BIP-Einheit in Euro pro Tonne Rohstoffinanspruchnahme gesamt usw.) oder adressieren oft nur die ökonomische Dimension (Preisabhängigkeit, Rohstoffverknappung).

Die gängige Methode zur Messung der Kritikalität von Rohstoffen (auf Basis der Versorgungsrisiken) ist zurzeit vor allem auf die ökonomische Dimension beschränkt. Dieses Kritikalitätskonzept der ökonomischen Sichtweise greift zu kurz - denn Rohstoffe haben aus Nachhaltigkeits-sicht deutlich vielfältigere Auswirkungen. Im Folgenden werden einige Schlaglichter genannt:

- Der Goldbergbau verursacht 42 % der weltweiten Quecksilberemissionen.
- 3 der 10 weltweit am schlimmsten verschmutzten Orte wurden durch Bergbau und/oder Erzverhüttung kontaminiert, 10 der Dirty Thirty sind diesen beiden Kategorien zugeordnet<sup>5</sup>.
- Alleine die weltweite Produktion von Stahl und Zement verursacht ca. 5,7 Mrd. t CO<sub>2eq</sub>, das sechsfache der bundesrepublikanischen Gesamtmenge.
- In mehreren Ländern steht der Abbau von Erzen nachweislich im Zusammenhang mit bewaffneten Konflikten.

<sup>5</sup> Blacksmith Institute: The World's Worst Polluted Places. - September 2007, A Project of the Blacksmith Institute, The Top Ten of The Dirty Thirty, New York 2007

- Weltweit sind ca. 15 Mio. Menschen im artisanalen Kleinbergbau tätig.
- Für zahlreiche Entwicklungs- und Schwellenländer sind Erze das wichtigste Exportgut (Botswana: 91,6 %, DR Kongo 81,5 %, Mongolei: 74,6 %, Chile: 61,6 %). Der Sektor Mining ist für 15 % des Nationalprodukts Namibias, aber für 50 % des Außenhandels-einkommens verantwortlich<sup>6</sup>.

Die wenigen Schlaglichter zeigen die Vielschichtigkeit der Herausforderungen für eine Rohstoffwende auf. Entsprechend der Größe und Komplexität der Herausforderungen hat das Öko-Institut eine eigene Herangehensweise für die strategische Herausforderung der Rohstoffwende erarbeitet, die in den nächsten Abschnitten vorgestellt wird.

---

<sup>6</sup> <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/docs/notesanddefs.html?fieldkey=2116&term=Economy%20-%20overview>

## 2. Das Projekt Rohstoffwende Deutschland 2049

Im Rahmen des Eigenprojektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“ hat das Öko-Institut von Sommer 2014 bis Winter 2016/2017 eine umfassende Strategie für eine Rohstoffwende in Deutschland erarbeitet. Mit Hilfe von Stakeholder-Workshops während der Projektdurchführung flossen wichtige Diskussionsbeiträge der Teilnehmer aus Politik, Wissenschaft, Industrie und NGOs in die Arbeit ein. Während der Projektlaufzeit wurden bereits drei Policy Paper veröffentlicht: Die wesentlichen Arbeitsschritte und Ziele des Projekts wurden im Sommer 2015 ausführlich in einem [1. Policy Paper](#) beschrieben. Ausgewählte Szenarioergebnisse und Instrumente für eine Rohstoffwende wurden im Frühjahr 2016 auf einem zweiten Stakeholder-Workshop diskutiert und im Sommer 2016 in einem [2. Policy Paper](#) zusammengefasst. Das [3. Policy Paper](#) von November 2016 fokussiert auf rohstoffspezifische Ziele. Auf der Jahrestagung des Öko-Instituts am 1. Dezember 2016 in Berlin wurden die Projektergebnisse der „Rohstoffwende Deutschland 2049“ einem breiten Publikum vorgestellt und diskutiert. Finanziert wurde das strategische Projekt „Rohstoffwende Deutschland 2049“ ausschließlich mit Eigenmitteln des Öko-Instituts.

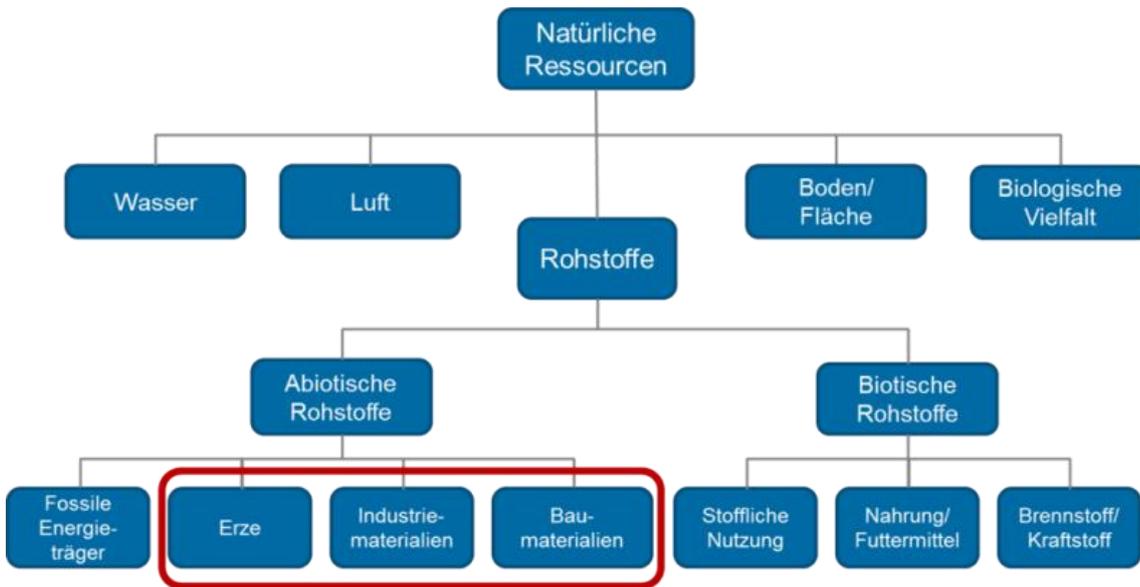
Mit dem nun vorliegenden Bericht legt das Projektteam des Öko-Instituts einen umfassenden strategischen Beitrag für eine langfristige Rohstoffwende in Deutschland bis 2049 vor. Das Hauptziel der vom Öko-Institut entwickelten Rohstoffwende bis 2049 (und darüber hinaus) ist dabei die Verringerung der negativen ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen von Rohstoffgewinnung, Rohstoffverarbeitung und Rohstoffnutzung inklusive Recycling. Auf Basis zweier Szenarien („Business-As-Usual“ versus „Rohstoffwende“) (siehe Kapitel 4) werden dafür rohstoffspezifische Ziele erarbeitet (siehe Kapitel 0). Zur Zielerreichung werden notwendige Maßnahmen und Instrumente vorgeschlagen und ausgearbeitet. Diese werden im Kapitel 6 vorgestellt. Eine Agenda für die Rohstoffwende wird schließlich in Kapitel 7 vorgestellt.

Neben den komplexen ökonomischen und ökologischen Herausforderungen adressiert das Projekt „Rohstoffwende Deutschland 2049“ auch soziale Aspekte wie Kinderarbeit, Arbeitssicherheit sowie weitere menschenrechtliche Risiken in der globalen Rohstoffwirtschaft. Die Herausforderungen in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen werden in Kapitel 3 ausgeführt.

### 2.1. Rohstoffe im Fokus der Rohstoffwende 2049

Der Fokus des Projekts liegt auf den abiotischen Rohstoffen, die Erze, Industriematerialien und Baumaterialien beinhalten (siehe Abbildung 2-1).

Abbildung 2-1: Rohstoff-Fokus der Rohstoffwende Deutschland 2049



Quelle: Darstellung Öko-Institut in Anlehnung an ProgRes

Es handelt sich dabei um 75 Rohstoffe, die ein breites Spektrum an Charakteristika hinsichtlich ihrer Primärgewinnung, ihrer Nutzung und ihres Recyclings aufweisen. So werden Erze fast ausschließlich außerhalb Deutschlands abgebaut und Metalle entweder als Konzentrat oder in Form von Barren, Halbzeugen oder in Produkten importiert. Bei den Industriemineralien liegt zumindest ein Teil der Gewinnung innerhalb Deutschlands. Bei Baumaterialien ist wiederum der räumliche Abstand zwischen Gewinnung und Einsatz häufig gering (regionale Versorgung).

In der folgenden Abbildung werden die Rohstoffe grob in Erze, Industriematerialien und Baumaterialien untergliedert. Ausgewählt und untergliedert wurden die Erze auf Basis einer UNEP-Publikation (UNEP, 2013b). Die vollständige Liste der 75 Rohstoffe im Fokus des Projektes und die Einteilung in Erze, Industriematerialien und Baumaterialien befindet sich im Anhang.

Abbildung 2-2: Übersicht Rohstoffe im Fokus des Projektes

Erze / Metalle (59)	Industriematerialien (9)	Baumaterialien (7)
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eisenmetalle (7)</li> <li>➤ Nicht-Eisenmetalle (8)</li> <li>➤ Edelmetalle (8)</li> <li>➤ Technologiemetalle (36)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kalisalze</li> <li>➤ Steinsalze</li> <li>➤ Flussspat</li> <li>➤ Graphit</li> <li>➤ Baryt (Bariumsulfat)</li> <li>➤ Schwefel</li> <li>➤ Phosphat</li> <li>➤ Spezialsande</li> <li>➤ Titandioxid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kies</li> <li>➤ Sand</li> <li>➤ Naturstein</li> <li>➤ Kalk gebrannt</li> <li>➤ Zement</li> <li>➤ Gips</li> <li>➤ Ton</li> </ul>
Primärförderung <b>ausschließlich außerhalb Deutschlands</b>	Primärförderung <b>vielfach in D</b>	Primärförderung <b>überwiegend in D</b>

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

## 2.2. Methodische Schritte für die Rohstoffwende 2049

Die ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen der Gewinnung, Verarbeitung und Nutzung von Rohstoffen sind vielschichtig und komplex. Bisherige einfache Indikatoren (z. B. Gesamtindikatoren für alle Rohstoffe zusammen in Tonnen) sind als Messgröße für den Erfolg einer Rohstoffstrategie oder –politik nicht ausreichend. Indikatoren wie die Rohstoffproduktivität<sup>7</sup> können zwar als eine Art unspezifischer „Pegelstandsmesser“ herangezogen werden. Sie geben aber keine Auskunft zu weiteren Hintergründen oder Ursachen und sind nicht in Richtung Umsetzung einzelner Maßnahmen hin zu einer Rohstoffwende operationalisierbar. Dies impliziert auch, dass für Massenrohstoffe (z. B. Stahl, Kies) nicht die gleichen Indikatoren und Ziele abgeleitet werden können wie für Nicht-Massenrohstoffe (z. B. Technologiemetalle wie Lithium, Neodym).

Eine wichtige Aufgabe des Projekts „Rohstoffwende Deutschland 2049“ ist es daher rohstoffspezifische Ziele zu definieren, Entlastungspotenziale zu identifizieren und geeignete spezifische Instrumente und Maßnahmen zur Erschließung der Potenziale auszuarbeiten. Das Projektteam hat die Aufgabe über sechs Schritte durchgeführt:

1. Analyse der Charakteristika der untersuchten Rohstoffe anhand der drei Nachhaltigkeits-säulen
2. Identifizierung der HotSpots<sup>8</sup>
3. Einteilung der Rohstoffe in Rohstoffgruppen nach Charakteristika und HotSpots
4. Ermittlung von Entlastungspotenzialen durch Szenarien
5. Ableitung von rohstoffspezifischen Zielen
6. Entwicklung von geeigneten spezifischen Maßnahmen und Instrumenten

### Charakteristika der untersuchten Rohstoffe

Anhand der drei Nachhaltigkeitssäulen Ökonomie, Ökologie und Soziales wurden die Auswirkungen bzw. die Risikopotenziale der einzelnen Rohstoffe analysiert. Innerhalb der drei Nachhaltigkeitssäulen wurden wichtige Einzelkategorien zur Analyse ausgewählt, die in folgender Tabelle beispielhaft aufgeführt werden. In Kapitel 3 werden die untersuchten Kategorien in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen ausführlich dargestellt. Eine Betrachtung weiterer ökologischer, sozialer und ökonomischer Kategorien könnte in zukünftigen Analysen miteinbezogen werden.

---

<sup>7</sup> Rohstoffproduktivität = Bruttoinlandsprodukt dividiert durch Einsatz von abiotischem Primärmaterial im Inland. Die Rohstoffproduktivität drückt aus, wie viel Bruttoinlandsprodukt (in Euro, preisbereinigt) je eingesetzter Tonne abiotischen Primärmaterials erwirtschaftet wird. Zum abiotischen Primärmaterial zählen die im Inland entnommenen Rohstoffe, ohne land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse, sowie alle importierten abiotischen Materialien (Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren). (Destatis, 2017)

<sup>8</sup> Als HotSpots werden hier aus ökologischer, sozialer und ökonomischer Sicht besonders kritische Auswirkungen/Risiken der Wertschöpfungskette bezeichnet.

**Tabelle 2-1: Nachhaltigkeitssäulen und ihre Kategorien**

Nachhaltigkeitssäulen	Kategorien	Vorgehen
Ökonomische Säule	Versorgungsrisiken	Report on Critical Raw Materials for the EU
	Ökonomische Bedeutung für die europäische Volkswirtschaft	
Ökologische Säule	Treibhausgasemissionen	Ökobilanzdaten + fallspezifische Betrachtungen + HotSpot-Analyse
	Versauerungspotenzial	
	Wasserverbrauch	
	Flächeninanspruchnahme	
	Schadstoffemissionen	
	Weitere ökologische Kategorien	
Soziale Säule	Arbeitssicherheit & Kinderarbeit	Eigene Methodik Öko-Institut
	Korruption & Governance	
	Gewalttätige Konflikte	

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

**Identifizierung der HotSpots**

Sehr relevante negative ökologische, soziale oder ökonomische Auswirkungen/Risiken werden in der Analyse mit dem Begriff „HotSpots“ bezeichnet. Wurde ein Rohstoff in einer Kategorie als HotSpot identifiziert, wurden hierzu rohstoffspezifische Ziele erarbeitet. Mit diesen Zielen sollen die mit dem jeweiligen Rohstoff verbundenen, besonders kritischen Auswirkungen beseitigt bzw. verringert werden. Die untersuchten Rohstoffe weisen dabei nicht alle unterschiedlichen Charaktereigenschaften auf, sondern können nach ihrer Art gruppiert werden. Anhand von Beispielrohstoffen wurden anschließend rohstoffspezifische Ziele ausgearbeitet. Die Notwendigkeit eines rohstoffspezifischen Vorgehens kann anhand eines einfachen Vergleiches der Probleme bei Neodym sowie bei Eisen/Stahl verdeutlicht werden: Während bei der Eisen/Stahl-Prozesskette von der Rohstoffextraktion bis zur Stahlherstellung bereits Effizienzpotenziale im technischen Bereich vielfach ausgeschöpft sind, ist die Förderung und Aufbereitung von Neodym (Technologiemetall mit vergleichbarer geringer globaler Produktionsmenge) noch mit z. T. extremen und relativ leicht vermeidbaren Umweltauswirkungen verbunden. Insofern müssen bei Eisen/Stahl Ziele zur Begrenzung des absoluten Primärbedarfs angedacht werden. Umgekehrt sind bei Neodym Ziele zur verbesserten Primärgewinnung vergleichsweise wirkungsvoller und angemessener.

Die Bewertung der Kategorien der ökonomischen Säule orientiert sich an dem „Report on Critical Raw Materials for the EU“, der 2014 von der Europäischen Kommission veröffentlicht wurde (EC, 2014). Die Kategorien der ökologischen Säule werden anhand von bereits vorliegenden Ökobilanzdaten sowie über HotSpot-Analysen bewertet. Eine Methode für die Bewertung der sozialen Säule hat das Öko-Institut in der ersten Projektphase erarbeitet und ist in Kapitel 3.1.2 ausgeführt.

## Eingruppierung der Rohstoffe

Ein wichtiger methodischer Schritt im Rahmen der „Rohstoffwende Deutschland 2049“ ist die Gruppierung der 75 untersuchten Rohstoffe anhand der oben beschriebenen Charakteristika. Das Öko-Institut hat dazu ein erstes Klassifizierungskriterium erarbeitet, das definiert, ab wann ein Rohstoff als Massenrohstoff für die „Rohstoffwende Deutschland 2049“ einzustufen ist. Die sinnvolle Schwelle hierfür ist vom Projektteam mit 100.000 oder mehr Tonnen Jahresbedarf für Deutschland definiert worden. Massenbaustoffe wie Kies oder Massenmetalle wie Stahl liegen hier deutlich darüber, viele Technologiemetalle wie Lithium oder Neodym eindeutig unter dieser Schwelle. Die Cluster für die verschiedenen Massenrohstoffe und Nicht-Massenrohstoffe werden in Kapitel 5.1.1 und 5.1.2 vorgestellt.

## Warum ist die Unterscheidung zwischen Massen- und Nicht-Massenrohstoffen wichtig?

Bei Massenrohstoffen wie z. B. Zement oder Eisen/Stahl sind häufig (aber nicht immer) Umwelteffizienzpotenziale wie z. B. Reduzierung von Treibhausgasemissionen in den konventionellen Prozessketten bereits realisiert. Die Nachfrage an Massenrohstoffen verursacht negative Umweltauswirkungen über ihre schiere Menge – am Beispiel Kies liegt ein HotSpot bei der großen Flächeninanspruchnahme beim Abbau des Rohstoffs. Daher ist für Massenrohstoffe eine Dämpfung der absoluten Primärnachfrage unter gleichzeitiger Erhöhung des Sekundäranteils (durch verstärkte Recyclingaktivitäten) eine strategische Zielsetzung. Im Falle von Technologiemetallen, die von Deutschland z. T. nur in wenigen Tonnen pro Jahr benötigt werden, sind dagegen häufig noch Entlastungspotenziale bei spezifischen Umweltauswirkungen (z. B. durch Erhöhung der Recyclingrate) oder sozialen HotSpots vorhanden und ihre zielgerichtete Erschließung relevant.

Die Unterschiedlichkeit der beiden Gruppen hinsichtlich geeigneter Maßnahmen lässt sich an folgender Metapher aus der Medizin veranschaulichen: Während für Massenrohstoffe ein „Breitbandantibiotikum“, also die Dämpfung des absoluten Bedarfs als ein wesentlicher Vorstoß zielführend ist, eignen sich für Nicht-Massenrohstoffe wie Technologiemetalle vielmehr einzelne präzise „chirurgische Schnitte“. Weiterhin werden durch die Dämpfung des Bedarfs gleichzeitig verschiedene HotSpots bzw. Auswirkungen adressiert. Bei Eisen/Stahl liegen die HotSpots u. a. bei den Treibhausgasen, der Versauerung und Flächeninanspruchnahme gleichermaßen.

## Ermittlung von Entlastungspotenzialen durch Szenarien

Zur Ermittlung von Entlastungspotenzialen hat das Öko-Institut für vier wesentliche Bedürfnisfelder (Wohnen, Arbeiten, Mobilität, IKT<sup>9</sup>) ein Rohstoffwende-Szenario erstellt und die Ergebnisse im Vergleich zu einem Business-As-Usual-Szenario (als Referenz) analysiert. Die Ergebnisse der Szenarien zeigen sowohl für Massenrohstoffe als auch für Nicht-Massenrohstoffe deutliche Entlastungspotenziale hinsichtlich negativer ökologischer und sozialer Auswirkungen.

## Ableitung von rohstoffspezifischen Zielen

Aus den beschriebenen Eingruppierungen der Rohstoffe und den Ergebnissen der Szenarien lassen sich für die „Rohstoffwende Deutschland 2049“ rohstoffspezifische Ziele ableiten. Diese werden in Kapitel 0 näher vorgestellt.

## Entwicklung von geeigneten spezifischen Maßnahmen und Instrumenten

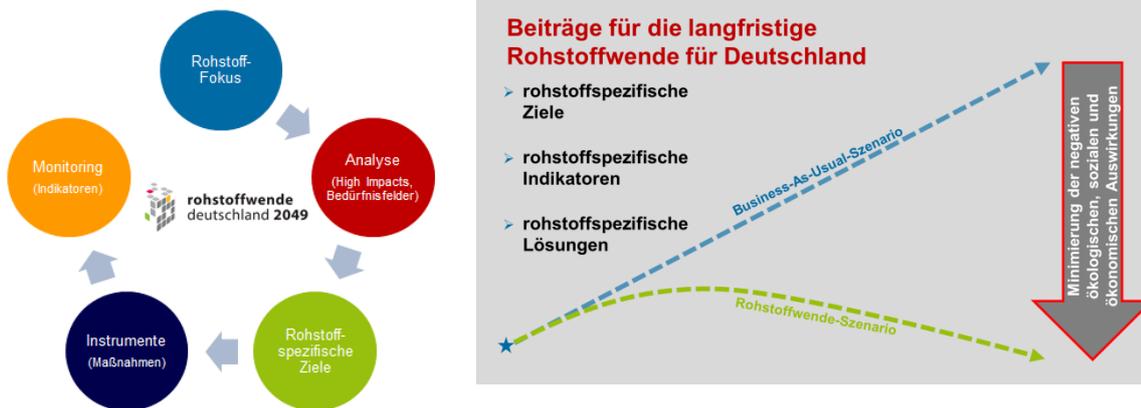
---

<sup>9</sup> Informations- und Kommunikationstechnologien

Geeignete Maßnahmen und Instrumente zur Erzielung von Entlastungspotenzialen sind wichtige Erfolgsfaktoren einer nachhaltigen Rohstoffpolitik. Die ausgearbeiteten Maßnahmen im Rahmen dieses Projektes sind in Kapitel 6 beschrieben.

Das Rohstoffwendeprojekt Deutschland 2049 verlässt dabei die Ebene der eindimensionalen Betrachtung (Preisrisiken, Verknappung) und der Einzelaspekte und hat einen umfassenden Blick in die Zukunft aus Rohstoffsicht gelegt. Die Projektschwerpunkte für die Rohstoffwende Deutschland 2049 und Szenarien werden schematisch in der Abbildung unten aufgezeigt.

**Abbildung 2-3: Projektschwerpunkte und Szenarientwicklung**



Quelle: Darstellung Öko-Institut e. V.

Das Öko-Institut schlägt schließlich in Abschnitt 7 eine Agenda zur Rohstoffwende bis 2049 vor.

### 2.3. Der Rohstoffwürfel

Das Projektteam hat zur Veranschaulichung dieser multidimensionalen Betrachtung den dreidimensionalen Rohstoffwürfel entwickelt, der auch das Logo der Rohstoffwende darstellt.

**Abbildung 2-4: Das Logo der Rohstoffwende Deutschland 2049**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

#### 1. Dimension: Rohstoffe



Der Rohstoff-Fokus von Deutschland 2049 liegt auf den abiotischen Rohstoffen Erze, Industriematerialien und Baumaterialien (siehe Kapitel 2.1). Es handelt sich dabei um 75 Rohstoffe, die ein breites Spektrum an Charakteristika hinsichtlich ihrer Primärgewinnung, aber auch hinsichtlich ihrer Nutzung und des Recyclings aufweisen. So werden Erze fast ausschließlich im Ausland

abgebaut und die Metalle entweder als Konzentrat oder in Form von Barren oder Halbzeugen importiert. Bei Industriemineralien liegt zumindest ein Teil der Gewinnung innerhalb Deutschlands. Bei Baumaterialien ist wiederum der räumliche Abstand zwischen Gewinnung und Einsatz meist sehr gering. Eine detailliertere Auflistung der 75 Rohstoffe im Scope des Projektes ist im Anhang dargestellt.

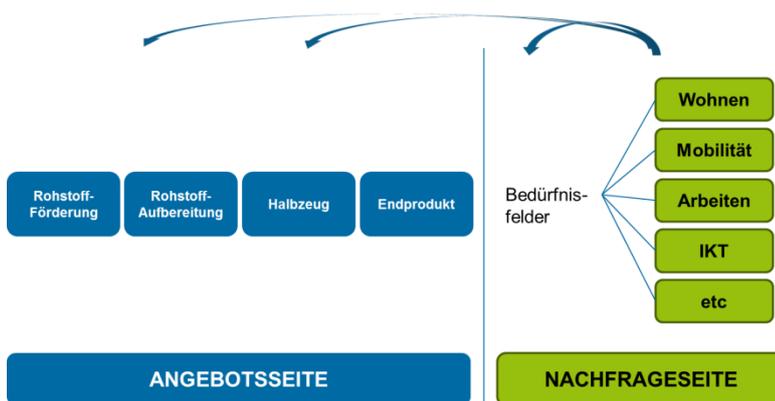
## 2. Dimension: Nachhaltigkeitskategorien

<p>Versauerungspotential</p> <p>Humantoxizität</p> <p>Risiko Schwermetalle</p> <p>Risiko Radioaktivität</p> <p>GWP</p> <p>Flächeninanspruchnahme</p> <p>Risiko Zerstörung Landschaftsbild</p>		<p>Im Rahmen des Projektes wurden alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen betrachtet: die ökonomische, ökologische wie auch soziale Nachhaltigkeitsdimension. Die ausgewählten Nachhaltigkeitskategorien werden in Kapitel 3 beschrieben. Anhand des Rohstoffbeispiels Kobalt und sieben Nachhaltigkeitskategorien ist der Aufbau der beiden Dimensionen links illustriert. Dabei wird die Relevanz der Nachhaltigkeitskategorie für den einzelnen Rohstoff mit Hilfe der Ampelfarben (rot, gelb, grün) vereinfacht dargestellt. Eine rote Farbgebung bedeutet, dass sich hier ein HotSpot befindet und die negativen ökologischen, sozialen oder ökonomischen Auswirkungen sehr relevant sind. Gelb steht für bedingt relevante negative Auswirkungen und grün für wenig relevante negative Auswirkungen. Grenzwerte hinsichtlich der einzelnen Kategorien finden sich im Anhang.</p>
---	--	---

## 3. Dimension: Bedürfnisfelder

Im Rahmen des Projektes wurde neben der Angebotsseite auch die Nachfrageseite betrachtet. Das Zusammenspiel beider Seiten ist in der folgenden Abbildung illustriert. Im Projekt wurden die Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten, Mobilität und Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) untersucht. Die Abgrenzung dieser Bedürfnisfelder (was wird darin untersucht und was befindet sich außerhalb des Scopes) wird in Kapitel 4.1 dokumentiert.

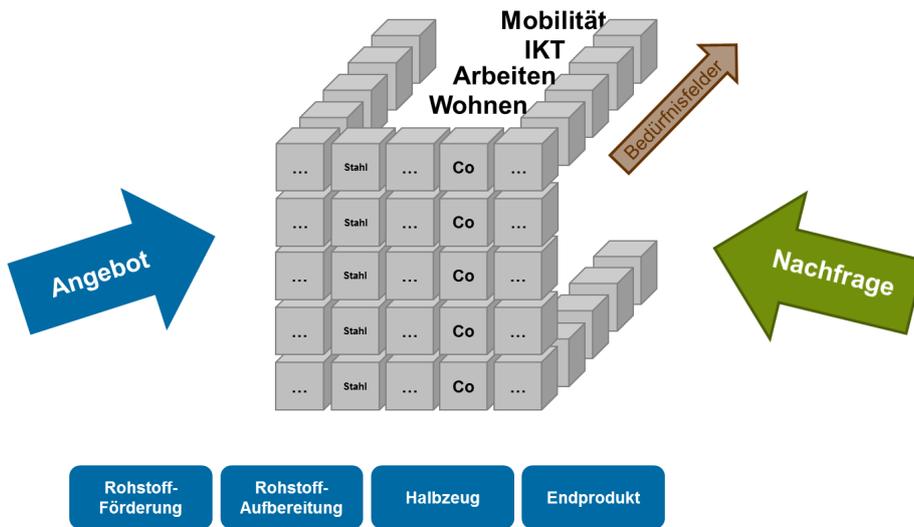
Abbildung 2-5: Angebots- und Nachfrageseite



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Die Nachfrage wird über die Bedürfnisfelder dargestellt - die dritte Dimension des Rohstoffwürfels.

Abbildung 2-6: Der dreidimensionale Rohstoffwürfel



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

### 3. Herausforderungen in den drei Nachhaltigkeitssäulen

Anhand der drei Nachhaltigkeitssäulen Ökonomie, Ökologie und Soziales werden die Auswirkungen bzw. die Risikopotenziale der einzelnen Rohstoffe analysiert. Die sehr relevanten Auswirkungen/Risiken werden als „HotSpots“ bezeichnet. Innerhalb der drei Nachhaltigkeitssäulen wurden einzelne Kategorien zur Analyse ausgewählt, die in folgender Tabelle beispielhaft aufgeführt werden.

**Tabelle 3-1: Nachhaltigkeitssäulen und ihre Kategorien**

Nachhaltigkeitssäule	Kategorien
Ökonomische Säule	Versorgungsrisiken
	Ökonomische Bedeutung für die europäische Volkswirtschaft
Ökologische Säule	Treibhausgasemissionen
	Versauerungspotenzial
	Wasserverbrauch
	Flächeninanspruchnahme
	Schadstoffemissionen
	Weitere ökologische Kategorien
Soziale Säule	Arbeitssicherheit & Kinderarbeit
	Korruption & Governance
	Gewalttätige Konflikte

Quelle: Zusammenstellung Öko-Institut e.V.

Wird ein Rohstoff in einer Kategorie als „HotSpot“ bewertet, werden hierzu rohstoffspezifische Ziele erarbeitet.

Für die Bewertung der Kategorien der ökonomischen Säule wurde sich an dem „Report on Critical Raw Materials for the EU“ orientiert, der 2014 von der Europäischen Kommission veröffentlicht wurde ([http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/index_en.htm)). Die Kategorien der ökologischen Säule wurden anhand von bereits vorliegenden Ökobilanzdaten sowie über fallspezifische Betrachtungen bewertet. Eine Methode für die Bewertung der sozialen Säule erarbeitete das Öko-Institut. In den folgenden Kapiteln werden die drei Nachhaltigkeitssäulen Ökonomie, Soziales und Ökologie näher beleuchtet. Schwerpunkt der Untersuchung lag dabei auf den sozialen und ökologischen Gesichtspunkten.

#### 3.1. Ökonomische Herausforderungen

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die ökonomische Säule anhand der Studie der kritischen Rohstoffe der Europäischen Kommission 2014 bewertet.

### 3.1.1. Kritische Rohstoffe und Grenzwerte zur Festlegung der Kritikalität

Für die ökonomische Dimension ergeben sich damit im Kontext des Projektes zwei wesentliche Indikatoren: Kritikalität und Versorgungssicherheit. Für die Bewertung der Kategorien der ökonomischen Säule wurde sich am „Report on Critical Raw Materials for the EU“ orientiert, der 2014 von der Europäischen Kommission veröffentlicht wurde<sup>10</sup>. Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich der kritischen Rohstoffe nach EC (2010) und EC (2014). Es wird deutlich, dass sich die Liste der kritischen Rohstoffe mit jedem Update verändern kann.

**Tabelle 3-2: Vergleich der kritischen Rohstoffe nach EC (2010) und der Nachfolgestudie EC (2014)**

Nr.	EC (2010)	EC (2014)
1	Antimon	Antimon
2	Beryllium	Beryllium
3	Flussspat	Borat
4	Gallium	Chrom
5	Germanium	Flussspat
6	Graphit	Gallium
7	Indium	Germanium
8	Kobalt	Indium
9	Magnesium	Kobalt
10	Metalle der Platingruppe	Kokskohle
11	Niob	Magnesit
12	Seltene Erden	Magnesium
13	Tantal	Metalle der Platingruppe
14	Wolfram	Natural Graphite
15		Niob
16		Phosphorit
17		Seltene Erden (schwer)
18		Seltene Erden (leicht)
19		Siliziummetall
20		Wolfram

Quelle: EC, 2010, EC, 2014

<sup>10</sup> [http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/index_en.htm)

Die Europäische Kommission legte erstmalig 2010 einen Ansatz zur Messung der Kritikalität vor (EC 2010, Update 2014). Dabei definiert sie Kritikalität wie folgt: „a raw material is labelled "critical" when the risks of supply shortage and their impacts on the economy are higher than for most of the other raw materials.“ Das Versorgungsrisiko wurde von der Arbeitsgruppe auf drei unterschiedlichen Ebenen betrachtet. Es wurde zwischen geologischer, technischer und geopolitisch-wirtschaftlicher Verfügbarkeit unterschieden.

Bei der Abschätzung des Versorgungsrisikos wurden folgende Faktoren herangezogen:

- Konzentration der Förderung auf Länderebene,
- Qualität der Regierungsführung in den Förderländern,
- Anteil des Recyclings am heutigen Rohstoffbedarf,
- Möglichkeit zur Substitution.

Sie legen drei aggregierte Indikatoren (oder Dimensionen) zugrunde:

### 1. Ökonomische Relevanz des Rohstoffs

Die Betrachtung basiert auf einzelnen Elementen der Wertschöpfungskette. Es werden „Megasektoren“ eingeführt, wofür die NACES Codes entsprechend umgruppiert wurden.

### 2. Angebotsrisiko

Hier erfolgt die Messung des **Konzentrationslevels der weltweiten Produktion** (Länderkonzentration) auf Basis des Herfindahl-Hirschman Index (HHI<sup>11</sup>). Dabei induziert ein Anstieg des HHI ein höheres Risiko. Der HHI ist ebenfalls verbunden mit der politischen und ökonomischen Stabilität der **Produzentenländer**. Hier liegt der „Worldwide **Governance** Indicator“ zugrunde. Ein weiterer Aspekt ist die **Substituierbarkeit** des Rohstoffs, nach dem „substitutability index“. Des Weiteren findet die Anwendung der **Recyclingfähigkeitsrate** „Recycled Content (RC) rate“ statt, allerdings modifiziert/reduziert um die Stoffe, die direkt während der Produktionsphase recycelt werden. Es wird der Prozentanteil der Stoffe/Mineralien betrachtet, die nicht aus der Primärproduktion stammen.

### 3. Länderspezifisches Umweltrisiko, die das Rohstoffangebot begrenzen könnten

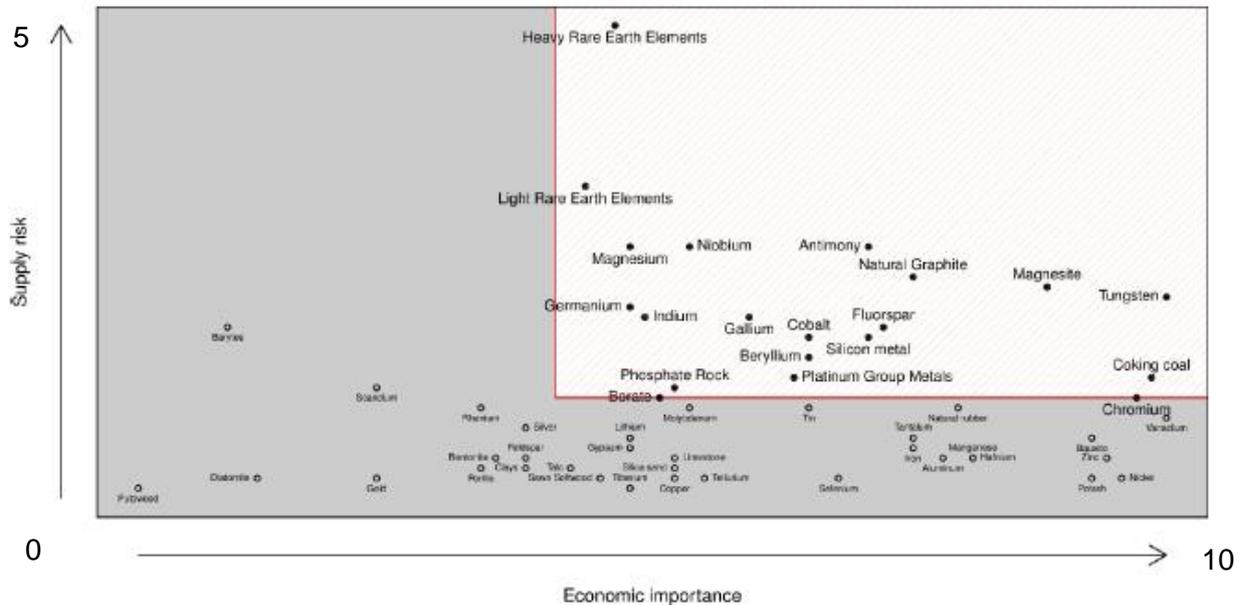
Hierfür wird der Environmental Performance Index" (EPI) des JRC genutzt. Der Index ordnet 163 Länder mit 25 Performance Indikatoren und zehn Politikategorien, die sowohl die Umwelt an sich als auch das Ökosystem im Detail einbeziehen.

Zur Bewertung der kritischen Rohstoffe wurden Grenzwerte festgelegt. Dies bedeutet nach EC (2014) folgendes Schemata, welches in folgender Abbildung der Europäischen Kommission dargestellt ist:

Das Angebotsrisiko (y-Achse) liegt zwischen 1 für niedrig und 5 für hoch. Die ökonomische Relevanz (x-Achse) liegt zwischen 0 für niedrig und 10 für hoch (siehe Abbildung 3-1).

<sup>11</sup> Summe aller quadrierten Marktanteile (in Prozent) der Wettbewerber eines Marktes. HHI von unter 1000 = niedrig, 1000 bis 1800 = mittelmäßig und > 1800 stark

**Abbildung 3-1: Kritische Rohstoffe in der ökonomischen Nachhaltigkeitssäule nach EC 2014**



Quelle: EC, 2014

### 3.1.2. Kritik an der Bewertung nach Studie der Europäischen Kommission

Walz et al. (2016) beurteilen einen Rohstoff aus wirtschaftlicher Sicht als kritisch wenn,

- Marktungleichgewichte durch die geringe Elastizität der Nachfrage nach bestimmten Rohstoffen entstehen und damit zu Versorgungsengpässen führen,
- starke Preisschwankungen zu Rohstoffknappheiten führen können,
- Monopolstrukturen den Markteintritt für weitere Wettbewerber erschweren und damit ebenfalls zu Preissteigerungen etc. führen können.

Rohstoffe werden als kritisch eingestuft, wenn sie schwer zu substituieren sowie durch Marktmacht oder Staatseinfluss gekennzeichnet sind. Alle drei Aspekte könnten Konflikte hervorrufen. Letztlich sehen Walz et al. (2016) ein zentrales Problem der Bestimmung von Kritikalität im Umgang mit den Unsicherheiten der künftigen Entwicklung. Je länger der Zeithorizont, desto spekulativer die Aussagen.

Kritische Metalle sind ein Fall für den Safe-Minimum-Standard (Walz et al. 2016), der besagt, dass im Falle von jeglichen negativen und unakzeptablen Konsequenzen im Zusammenhang mit natürlichen Ressourcen, die Tätigkeit/Aktion nicht durchzuführen ist. Übertragen auf die Entnahme von kritischen Rohstoffen bedeutet das: Entnahmestopp. Alternativ wird hier diskutiert, dass dieser Entnahmestopp zeitlich begrenzt sein kann, wenn Kenntnisse über Risiken, Kosten und Nutzen bekannt sind. Die Entscheidung kann hierdurch positiv oder auch negativ beeinflusst werden. Naevdal (2012) kritisieren jedoch an dieser Stelle die Gefahr der Subjektivität bei der ökonomischen Kosten-Nutzen-Analyse.

Es gibt verschiedene Ansätze zur Messung der Kritikalität (Glöser et al., 2015):

- a) Kritikalitätsmatrix in Anlehnung an eine klassische Risikomatrix;
- b) Risikoindizes mit Unterindikatoren;
- c) Szenarioanalysen und Zeitreihenanalysen.

Glöser et al. (2015) kritisieren zum Teil die Methode der EC (2010), finden jedoch eine Kritikalitätsmatrix grundsätzlich gut, um ökonomische Schwachpunkte zu identifizieren. Sie stellen jedoch fest, dass die Analyse einer kleinen Gruppe von Metallen für Entscheidungsträger keine wirkliche Hilfe darstellt, da die Gewichtung der Indikatoren nur begrenzt informativen Charakter hat und die Definition bzw. methodische Herangehensweise entsprechend bekannt sein muss. Sie empfehlen eine dynamisch Stoffstromanalyse für die einzelnen Rohstoffe, mit deren jeweiligen Systemgrenzen und Nutzungsmustern. Auf Basis dessen kann dann eine qualitative oder quantitative Risikoanalyse durchgeführt werden. Die Analyse bezieht sich dann jeweils auf diesen einen Stoffstrom und kann entsprechend beim gleichen Rohstoff, aber einer anderen Wertschöpfungskette anders bewertet werden.

**Tabelle 3-3: Beispiele für Studien zur Kritikalitätsmatrix**

Studie	Autor/Jahr
Minerals, Critical Minerals and the US Economy	NRC (2008)
Critical raw materials for the EU	EC (2010) und (2014)
Critical Minerals Strategy	US Department of Energy (2010) und (2011)
Critical Raw Materials for Germany	Erdmann et al. (2011)
Criticality of the geological copper family	Nassar et al. (2012)
Criticality of iron	Nuss et al. (2014)
Criticality of the geological zinc	Harper et al. (2015)

Quelle: Glöser et al., 2015

Im Rahmen dieses Projektes wurde die Bewertung der ökonomischen Kritikalität analog der Europäischen Kommission vorgenommen. Eine tiefergreifendere Analyse der ökonomischen Nachhaltigkeitsdimensionen bedarf einer intensiveren Betrachtung, die jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht in diesem Maße erfolgen konnte. Hierzu besteht weitergehender Forschungs- und Analysebedarf.

## 3.2. Soziale Herausforderungen

### 3.2.1. Ausgangspunkt: Ein Methodenvorschlag zur Bestimmung der sozialen HotSpots/Risiken

Ausgangspunkt für eine Methodenerarbeitung zur Bestimmung sozialer Risiken stellen die Kriterien des Social Life Cycle Assessments (sLCA) der UNEP dar. Hier wurden charakteristische

Problemfelder identifiziert zum einen für den artisanalen Kleinbergbau<sup>12</sup> und zum anderen für den industriellen Großbergbau<sup>13</sup>. Demnach sind die sozialen Risiken besonders hoch, wenn (a) ein Rohstoff im artisanalen Kleinbergbau gewonnen wird; (b) Der Abbau in einem undemokratischen und/oder korrupten Umfeld stattfindet (v. a. im Großbergbau); (c) der Abbau in Verbindung mit gewalttätigen Konflikten steht (dies gilt sowohl im Klein- als auch im Großbergbau). Die soziale Nachhaltigkeitssäule definiert sich über die in Abbildung 3-2 dargestellten drei Kategorien.

### Abbildung 3-2: Definition der sozialen Nachhaltigkeitssäule



1. **Arbeitssicherheit & Kinderarbeit:** Hierunter fallen neben Arbeitssicherheit und Kinderarbeit auch Zwangsarbeit und soziale Sicherheit. In der Bewertung wird sich über den Anteil des artisanalen Kleinbergbaus an der Weltförderung genähert.



2. **Korruption & Governance:** Neben Korruption und Governancestruktur wird der Ausgleich mit benachbarten Bevölkerungsgruppen betrachtet. Die Bewertung dieser Kategorie richtet sich an den Korruptions- und Governance-Indikatoren der Förderländer.



3. **Gewalttätige Konflikte:** Eine Bewertung wird aufgrund der Existenz von gewalttätigen Konflikten mit Rohstoffbezug vorgenommen.

Die drei Kategorien der sozialen Nachhaltigkeitssäule werden folgendermaßen untermauert.<sup>14</sup>

1. **Arbeitssicherheit & Kinderarbeit:** Der Indikator zur Abschätzung eines hohen Risikos für gefährliche Arbeitsbedingungen bzw. Kinderarbeit wird hier anhand des Anteils des artisanalen Kleinbergbaus (engl. Artisanal and Small Scale Mining, ASM) an der gesamten globalen Primärrohstoffförderung nach Dorner et al. (2012) sowie Wagner et al. (2007) festgelegt. Dabei wird ein Anteil des artisanalen Kleinbergbaus von >5 % als Indikator für ein hohes Risiko in dieser Kategorie definiert. Ein Anteil zwischen 1 % und 5 % wird als mittleres Risiko, ein Anteil von <1 % als geringes Risiko festgelegt.
2. **Korruption & Governance:** Diese Kategorie zielt auf die Debatte der intransparenten Rolle von Rohstoff fördernden Unternehmen ab, auf deren Grundlage die sogenannten „Extracting Industries Transparency Initiative“ (EITI) ins Leben gerufen wurde. Als Risikoindikator dient der Index zur Korruptionskontrolle der Weltbank (World Bank, 2014). Je höher dieser Index desto geringer ist das länderspezifische Risiko von Korruption. Schließlich wird ein gewichtetes Mittel der Korruptionsindices der 3 wichtigsten Förderländer gebildet. Liegt dieses Mittel im obersten Quartil der Verteilung aller verfügbaren Länderindices, so wird das Korruptionsrisiko als niedrig angesehen. Liegt es im zweiten oder dritten Quartil so wird von einem mittleren Korruptionsrisiko ausgegangen und im ersten Quartil wird das Korruptionsrisiko als hoch eingestuft.
3. **Gewalttätige Konflikte:** Das Risiko, ob Rohstoffe mit einem erhöhten Risiko gewalttätiger Konflikte verbunden sind, wird anhand des Konfliktbarometers des Heidelberger Instituts für

<sup>12</sup> Safe & healthy working conditions, Abolition of forced labour, Abolition of child labour, Social security, Respect of human rights, Prevention & mitigation of armed conflicts

<sup>13</sup> Safety & healthy living conditions, Respect of indigenous rights, Community engagement, Employment creation, Anti-corruption efforts, Non-interference in sensitive political issues, Transparent business information

<sup>14</sup> Die Methode wurde im Verlauf des Projektes gegenüber dem ersten Entwurf aus dem 1. Policy Paper des Projektes überarbeitet.

Internationale Konfliktforschung analysiert (HHIK, 2014). Diese regelmäßig erscheinende Publikation listet alle latenten und gewalttätigen Konflikte des jeweiligen Jahres auf und ordnet den Konflikten die Rolle von sogenannten Konfliktfaktoren zu. Dazu zählt auch der Faktor Ressourcen. Die Definition eines gewaltsamen Konfliktes orientiert sich dabei an den dort angegebenen Intensitätsstufen. In Folgenden werden alle Konflikte herangezogen deren Intensität zwischen 3 und 5 liegt und deren Gegenstand Ressourcen sind. Auf der Grundlage dieser Auswertung sowie weiterer Literaturrecherchen wird die Anzahl der Länder ausgewertet, in denen Ressourcenkonflikte ausgetragen werden. Liegt diese Anzahl bei 0, so wird von einem niedrigen Konfliktrisiko ausgegangen, liegt sie zwischen 1-2 von einem mittleren Risiko und wenn mehr als zwei Länder betroffen sind wird bei dem jeweiligen Rohstoff von einem hohen Konfliktrisiko ausgegangen.

In der folgenden Tabelle sind die drei betrachteten sozialen Nachhaltigkeitskategorien mit den jeweiligen Grenzwerten zusammengefasst.

**Tabelle 3-4: Grenzwerte der sozialen Nachhaltigkeitskategorien**

	Einheit	Rot	Gelb	Grün
Arbeitssicherheit & Kinderarbeit	Anteil Kleinbergbau	>5 %	1 % - 5 %	<1 %
Korruption & Governance		Quartil mit niedrigsten Indikatorwerten	Quartil mit mittleren Indikatorwerten	Quartil mit höchsten Indikatorwerten
Gewalttätige Konflikte	Anzahl gewalttätiger Konflikte	>2	1-2	0

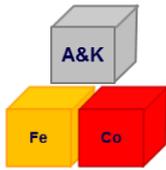
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Die drei gewählten Kategorien könnten in einer nachfolgenden Untersuchung um weitere Kategorien wie z. B. Risiken der Zwangsarbeit ergänzt werden.

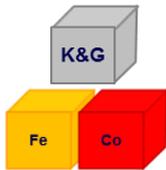
### 3.2.2. Rohstoffbeispiele Eisen und Kobalt in Bezug auf die sozialen Kategorien

Anhand der Rohstoffbeispiele Eisen und Kobalt wird im Folgenden die Bewertung der sozialen HotSpots veranschaulicht.

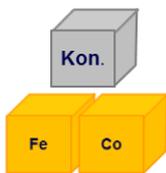
**Abbildung 3-3: Soziale Risikoanalyse der Rohstoffe Eisen und Kobalt**



Der Anteil des artisanalen Kleinbergbaus an der Weltprimärförderung liegt bei Eisen bei 4 % und bei Kobalt bei 30 %. In der Bewertung wird Kobalt daher in der sozialen Kategorie „Arbeitssicherheit und Kinderarbeit“ als sehr relevant (rote Einfärbung) eingestuft, während Eisen als bedingt relevant (orangefarbene Einfärbung) eingeordnet wird.



Die Korruptionskontrolle<sup>15</sup> der jeweils drei wichtigsten Förderländer liegt bei Eisen im gewichteten Durchschnitt der 3 wichtigsten Länder bei 61 % (China 39 %, Australien 96 %, Brasilien 56 %) und bei Kobalt bei einem gewichteten Durchschnitt von 18 % (DR Kongo 4 %, Kanada 95 %, China 39 %). Eisen wird somit als bedingt relevant (orangefarbene Einfärbung) und Kobalt als sehr relevant (rote Einfärbung) eingestuft.



Das Risiko von bewaffneten Konflikten wird einer qualitativen Bewertung unterzogen. Bei der Eisenerzförderung ist der Verdacht auf Konfliktfinanzierung in Mexiko in Veröffentlichungen zu verzeichnen. Ebenfalls sind Berichte über Konflikte um den Zugriff auf Eisenerz im Sudan publiziert. Daher wird Eisen als bedingt relevant (orangefarbene Einfärbung) eingestuft. Bei der Kobaltförderung ist derzeit ein bewaffneter Konflikt in der DR Kongo dokumentiert (INICA, 2007). Daher wird Kobalt ebenfalls als bedingt relevant (orangefarbene Einfärbung) eingestuft.

Quellen: Dorner et al. (2012), Wagner et al. (2007), World Bank (2014), HHIK (2014), INICA (2007).

**3.3. Ökologische Herausforderungen**

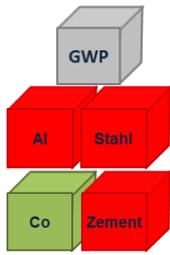
In den beiden vorigen Kapiteln wurden die ökonomischen und sozialen Herausforderungen adressiert, welche auf den Rohstoffbedarf zurückgehen. In diesem Kapitel wird die dritte Säule der Nachhaltigkeit, die Ökologie, behandelt.

Die ökologische Nachhaltigkeitssäule umfasst Kategorien wie z. B. Klimaänderung, Abbau der Ozonschicht, Ökotoxizität, Humantoxizität, Versauerung, Wasserverbrauch, Flächeninanspruchnahme, verschiedene Schadstoffemissionen und weitere ökologische Risiken wie beispielsweise durch Radioaktivität. Aus all den vorhandenen Kategorien, wie sie Ökobilanzen und andere Bewertungsmethoden zeigen, werden im Projekt diejenigen ausgewählt und zur Bewertung genutzt, welche durch den Rohstoffbedarf stark beeinflusst werden. Diese können nur einen Ausschnitt der gesamten Wirkungen abbilden und sind somit nur als Beispiele zu verstehen, welche keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Die Kategorien der ökologischen Säule werden anhand von bereits vorliegenden Ökobilanzdaten sowie fallspezifischen Betrachtungen bewertet.

Im Folgenden wird die Bewertung der ökologischen Säule an zwei Beispielen erläutert: zum einen anhand einer impact-bezogenen Betrachtung am Beispiel GWP und zum anderen anhand einer rohstoffbezogenen Betrachtung am Beispiel Kobalt.

<sup>15</sup> 100 % Korruptionskontrolle ist maximale Einstufung: 100 % Kontrolle gegen Korruption

Impact-bezogene Betrachtung am Beispiel GWP:

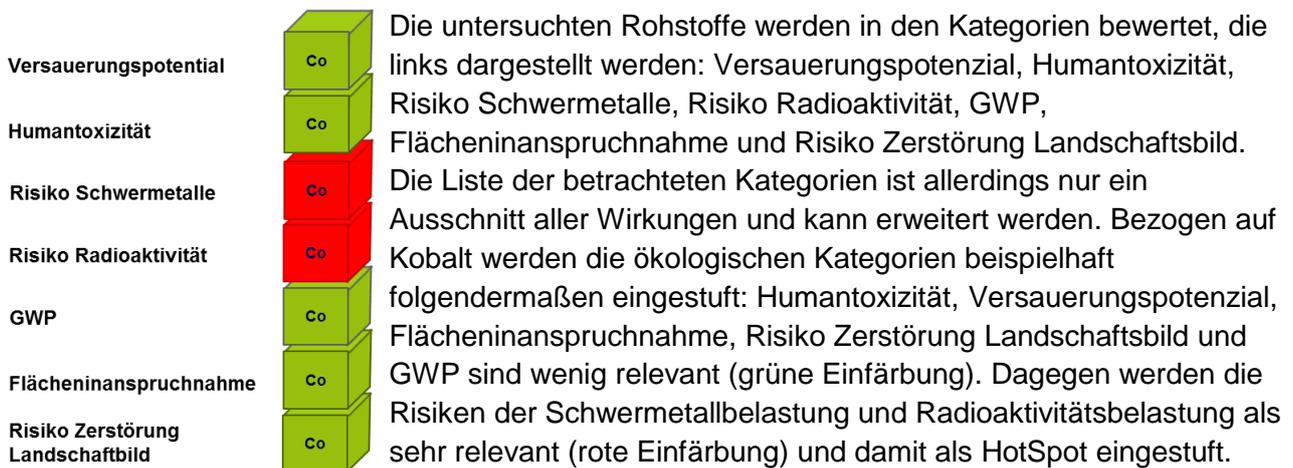


Die Treibhausgasemissionen (GWP) bei der Primärförderung und -herstellung (Primärproduktion) sind bei Aluminium, Stahl und Zement als relevant (rote Färbung) eingestuft. Diese drei Rohstoffe verursachen durch ihre Primärproduktion über 90 % der absoluten Treibhausgasemissionen, die auf eingesetzte Primärrohstoffe für Deutschland zurückgehen. Dabei ist zu beachten, dass Zement und Stahl überwiegend innerdeutsch produziert werden, Aluminium lediglich zu rund 40 %. Aufgrund der deutlich geringen Tonnagen und damit verbundenen Treibhausgasemissionen ist z. B. Kobalt als wenig relevant (grüne Einfärbung) eingestuft.

Im oben beschriebenen Beispiel wird Aluminium, Stahl und Zement in der Kategorie GWP mit einem HotSpot bewertet.

Rohstoff-bezogene Betrachtung am Beispiel Kobalt:

In der rohstoffbezogenen Betrachtung wird ein Rohstoff durch die einzelnen Kategorien dekliniert.



Der dargestellte Würfel aus Rohstoffwirkungen markiert über die Farben rot, gelb und grün die Wirkungen der einzelnen Rohstoffe. Dies wurde in dieser Form visualisiert, um einen schnellen Überblick über die Rohstoffe und deren Wirkungen in den verschiedenen Kategorien zu erhalten.

Für die Einordnung der Wirkungen des Rohstoffkonsums im System des Rohstoffwürfels werden verschiedene Grenzwerte festgelegt, welche rote, also sehr relevante, gelbe, also bedingt relevante, und grüne, also wenig relevante, Wirkungen identifizieren. Da diese Wirkungen einerseits aus spezifischen Wirkungen in der Bereitstellungskette und andererseits aus der schieren Menge des eingesetzten Rohstoffs resultieren, werden zwei Sets an Grenzwerten definiert.

Für **Massenrohstoffe** richten sich die Einstufungen nach den Wirkungen des **absoluten** jährlichen Bedarfs<sup>16</sup>. Für die **Nicht-Massenrohstoffe** sind die Wirkungen **pro Tonne** der Maßstab.

Die **Grenze** zwischen Massenrohstoffen und den Nicht-Massenrohstoffen wird bei einer Bedarfsmenge von **100.000 t** pro Jahr in Deutschland festgelegt.

Die Grenzwerte im Bereich der ökologischen Indikatoren für die Einstufungen der Massenrohstoffe sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

<sup>16</sup> Definition Bedarf = Produktion in Deutschland + Import - Export

**Tabelle 3-5: Ökologische Indikatoren für Massenrohstoffe**

Ökologische Indikatoren	Einheit	Grenzwerte		
		Rot	Gelb	Grün
GWP	t CO <sub>2</sub> -Äquivalente (Äq.)(Gesamtbedarf D)	>10.000.000	100.000-10.000.000	<100.000
Versauerungspotenzial	t SO <sub>2</sub> -Äq. (Gesamtbedarf D)	>20.000	1.000-20.000	<1.000
Humantoxizitätspotenzial	t 1,4-Dichlorbenzol-Äq. (Gesamtbedarf D)	>10.000.000	100.000-10.000.000	<100.000
Risiko Schwermetalle	Risikoeinstufung nach Erzeigenschaften	Schwermetalle vergesellschaftet	Unbekannte Schwermetallbelastung	Keine Schwermetallvergesellschaftung
Risiko Radioaktive Stoffe	Risikoeinstufung (siehe Text unten)	Hoch	Mittel	Niedrig
Flächeninanspruchnahme (Risiko Zerstörung Landschaftsbild)	m <sup>2</sup> (Gesamtbedarf D)	>1.500.000	100.000-1.500.000	<100.000

Quelle: Eigene Zusammenstellung Öko-Institut e. V.

Die Festlegung der einzelnen Grenzwerte erfolgt unter Berücksichtigung der Emissionen zur Deckung des Gesamtrohstoffbedarfs und dem relativen Beitrag der großen Emittenten. Im Falle des GWP sind die drei größten Emittenten im Rohstoffsektor Zement, Stahl und Aluminium. Diese liegen mit ihren Emissionen mit großem Abstand vor allen übrigen Rohstoffen und werden als rot definiert. Diese Top-Emittenten werden in allen Kategorien zur Grenzfestlegung herangezogen. Dies gilt für die quantitativen Kategorien. Die Kategorien ‚Risiko Schwermetalle‘ und ‚Risiko Radioaktive Stoffe‘ werden unten näher beschrieben.

Bei den Nicht-Massenrohstoffen werden Grenzwerte für die Wirkungen pro Tonne bereitgestellter Rohstoffe (z. B. Metalle) festgelegt. Diese sind in folgender Tabelle dargestellt.

**Tabelle 3-6: Ökologische Indikatoren für Nicht-Massenrohstoffe**

Ökologische Indikatoren	Einheit	Grenzwerte		
		Rot	Gelb	Grün
GWP	t CO <sub>2</sub> -Äq./t Rohstoff	>1.000	100-1.000	<100
Versauerungspotenzial	t SO <sub>2</sub> -Äq./t Rohstoff	>10	1-10	<1
Risiko Schwermetalle	Risikoeinstufung	Siehe Tabelle 3-5	Siehe Tabelle 3-5	Siehe Tabelle 3-5
Risiko Radioaktive Stoffe	Risikoeinstufung (siehe Text unten)	Hoch	Mittel	Niedrig
Humantoxizitätspotenzial	t 1,4-Dichlorbenzol- Äq./t Rohstoff	>10.000	100-10.000	<100

Quelle: Eigene Zusammenstellung Öko-Institut e. V.

Die Einteilung für die Risiken Schwermetalle und radioaktive Stoffe gilt für Nicht-Massenrohstoffe und Massenrohstoffe gleichermaßen, da diese auf die Belastung der Lagerstätten bezogen sind. Die Einteilung für das Risiko Schwermetalle ist nicht exakt quantifiziert, jedoch beziehen sich die eingeteilten Stufen auf stark erhöhte (rot), leicht erhöhte (gelb) und nicht erhöhte (grün) Konzentrationen der Metalle As, Cd, Cr, Pb, Hg, Cu, Ni, Se, Zn auf Basis der Vergesellschaftung mit Schwermetallen. Für die Einteilung des Risikos radioaktiver Stoffe wurden die Grenzwerte festgelegt auf >245 ppm Th bzw. >80 ppm U (rot), 49-245 ppm Th bzw. 24-79 ppm U (gelb) und <49 ppm Th bzw. 24 ppm U (grün). Diese basieren auf Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates. Im grünen Bereich können die Tailings noch als Baumaterial verwendet werden. Im gelben Bereich ist diese Nutzung untersagt. Im roten Bereich müssen Tailings unter radiologische Aufsicht gestellt werden. Diese Einteilung stammt aus dem [Projekt „ÖkoRess“](#) (Ökologische Grenzen, ökologische Verfügbarkeit und ökologische Kritikalität von Primärrohstoffen) für das Umweltbundesamt, welches derzeit abgeschlossen wird.

Die dargestellten Grenzwerte sind auf Basis guter wissenschaftlicher Praxis festgelegt worden und stellen in keiner Form eine internationale Normung dar. Sie sollen die schnelle Identifikation von HotSpots ermöglichen und dem Leser in einem vereinfachten Ampelsystem zeigen, welche Rohstoffe unbedingt für eine Rohstoffwende näher betrachtet werden müssen.

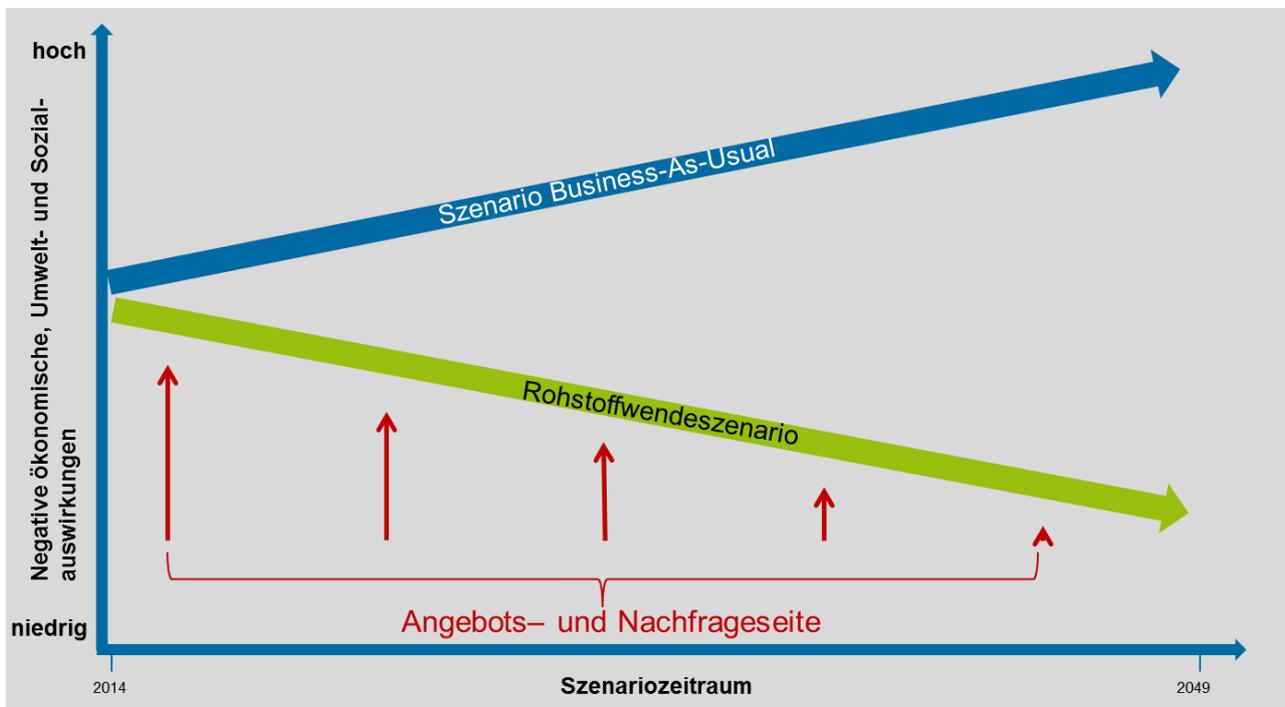
Die ökologischen Herausforderungen der Rohstoffwende sind vielfältig. In diesem Kapitel wurden Elemente aus komplexeren Methoden wie der Ökobilanz in ein vereinfachtes Ampelschema übertragen, um den Lesern schnell die wesentlichen Erkenntnisse der Umweltwirkungen des Rohstoffbedarfs zu vermitteln. Hierbei wurde die Anzahl der betrachteten Wirkungskategorien auf 7 beschränkt, um die gewünschte Vereinfachung nicht durch eine überbordende Anzahl an Kategorien zu überkompensieren. Die Liste an betrachteten Kategorien kann bei Bedarf erweitert werden, um auch HotSpots abzubilden, die momentan evt. nicht adressiert werden.

#### 4. Business-As-Usual-Szenario versus Rohstoffwende-Szenario

Mit Hilfe des Szenario-Ansatzes wurden die Potenziale zur Minderung der negativen ökologischen, sozialen und ökonomischen Auswirkungen aufgezeigt. Hierfür wurden im Rahmen des Projektes zwei Szenarien entwickelt: das Business-As-Usual-Szenario (BAU) und das Rohstoffwende-Szenario (RW). Viele bereits bestehende Ansätze von Szenarien fokussieren entweder nur auf die Angebots- oder nur auf die Nachfrageseite. Das Öko-Institut ist überzeugt, dass eine Rohstoffwende sowohl die Angebots- als auch die Nachfrageseite integrieren muss.

In Abbildung 4.1 ist der Szenario-Ansatz schematisch dargestellt. Das Business-As-Usual-Szenario (blauer Pfeil) zeigt im weiteren Verlauf einen Anstieg der negativen ökonomischen, Umwelt- und Sozialauswirkungen. Beim Rohstoffwende-Szenario hingegen sinken die negativen ökonomischen, Umwelt- und Sozialauswirkungen durch Maßnahmen auf der Angebots- und Nachfrageseite.

Abbildung 4-1: Der Szenario-Ansatz: Business-As-Usual- und Rohstoffwende-Szenario

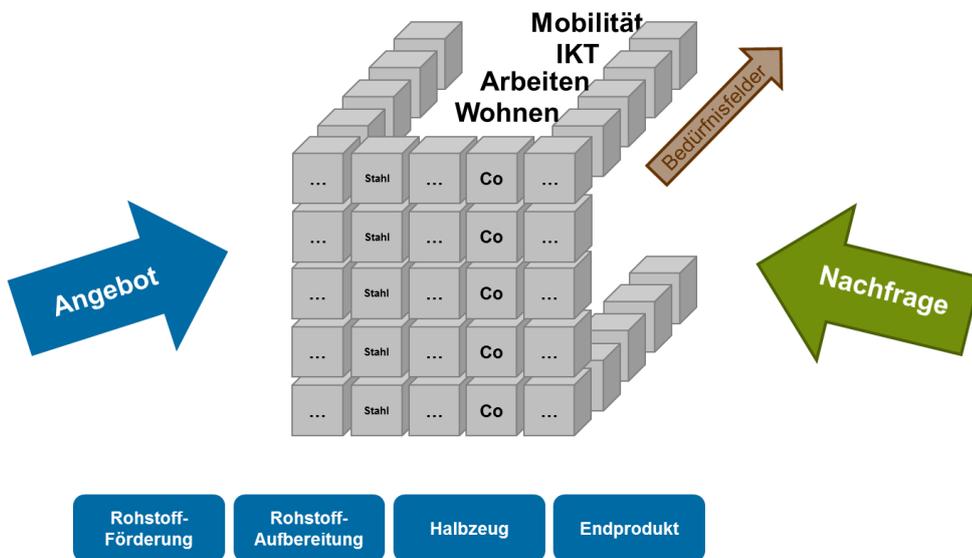


Quelle: Darstellung Öko-Institut e. V.

Die Angebotsseite umfasst die Rohstoffkette von der Rohstoffförderung über Rohstoffaufbereitung und Halbzeuge hin zum Endprodukt. Auf der Nachfrageseite werden die Produkte über die Bedürfnisfelder angefragt (siehe folgende Abbildung). Die Liste der Bedürfnisfelder ist vielfältig und reicht von Gesundheit, Sicherheit, Freizeit, Nahrungsmittel, Mobilität, Arbeiten, persönliches Image, Kleidung und Wohnen bis hin zu Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), Energieinfrastruktur (Bsp. Windkraft, Solar).

Anhand der wichtigen Bedürfnisfelder Mobilität, IKT, Arbeiten und Wohnen hat das Öko-Institut die Szenarien Business-As-Usual und Rohstoffwende bis 2049 erarbeitet.

**Abbildung 4-2: Angebot und Nachfrage im Kontext der Rohstoffketten und Bedürfnisfelder**



Quelle: Darstellung Öko-Institut e. V.

Als Grundlage der Szenarientwicklung gelten folgende vier Ziele:

- Abhängigkeiten und Veränderungen der Rohstoffketten sollen ausgehend von den Bedürfnisfeldern aufgezeigt werden,
- Konkrete und quantitative Rohstoffziele sollen aus den Szenarien (-ergebnissen) abgeleitet werden,
- Die (ambitionierten) Entwicklungspfade sollen transparent dargestellt werden,
- Die Bedeutung der Nachfragetrends ist abhängig vom Bedürfnisfeld.

Die Grundannahmen der beiden unterschiedlichen Szenarien werden in den folgenden beiden Absätzen näher erläutert.

### **Business-As-Usual-Szenario**

Im Business-As-Usual-Szenario werden neben der Festlegung wichtiger Kenndaten wie Demographie etc.) folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- „Ungestörte“ Trendfortschreibung bisheriger Entwicklungen
- Kein entscheidender Politikwechsel bzgl. Rohstoffen
- Keine massiven Änderungen der Konsumstile
- Keine zusätzlichen Effizienzgewinne; Trendentwicklungen werden fortgeschrieben

Es handelt sich hierbei um eine Fortführung der bisherigen Entwicklungen ohne steuerndes Eingreifen.

## Rohstoffwende-Szenario

Das Rohstoffwende-Szenario basiert auf folgenden Annahmen:

- Variation der Einflussgrößen durch Leitlinien, die den Trend beeinflussen
- Rohstoffnutzung unter (maximalen) Minderungen der Auswirkungen und Risiken
- Nachhaltige Rohstoffnutzung, bei der soziale und Umweltaspekte eine viel größere Rolle spielen als im BAU-Szenario

Im Rohstoffwenden-Szenario wird aktiv steuernd Einfluss auf den Trend genommen. Neben ökonomischen Größen liegt der Fokus auf einer deutlichen Minderung der negativen sozialen und ökologischen Auswirkungen/Risiken in der Rohstoffgewinnung, -verarbeitung und -nutzung.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Szenarioannahmen für die betrachteten Bedürfnisfelder Mobilität, Wohnen, Arbeiten und IKT ausführlich beschrieben. Im Rahmen des ersten Stakeholder-Workshops im Rahmen des Projektes wurden diese Annahmen für die Szenarien mit Experten und Stakeholdern diskutiert. Ein wichtiger Konsens war, dass unter Aufnahme neuester Erkenntnisse für beide Szenarien die Bevölkerungszahl Deutschlands bis Mitte des 21. Jahrhunderts nur mäßig zurückgehen wird.

### 4.1. Bedürfnisfelder in den Szenarien

Für die Konkretisierung von Einsparungszielen für einzelne Stoffe und Recyclingquoten ist die Ermittlung von Potenzialen notwendig. Aus diesem Grund wurden im Projekt Rohstoffwende Deutschland 2049 vier Bedürfnisfelder betrachtet, welche einen großen Rohstoffbedarf aufweisen. Hierbei wurde darauf geachtet, sowohl Massenrohstoffe, wie beispielsweise Kies, als auch Nicht-Massenrohstoffe, wie beispielsweise Neodym, abzudecken. Die vier betrachteten Bedürfnisfelder sind Mobilität, Wohnen, Arbeiten sowie Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT). Jedes dieser Felder hat ein eigenes Nachfragespektrum, welches durch praxisnahe Daten aus zahlreichen Literaturquellen abgebildet wurde. Während das Bedürfnisfeld Mobilität einen Querschnittbedarf von Massen- und Nicht-Massenrohstoffen aufweist, stehen bei den Bedürfnisfeldern Wohnen sowie Arbeiten Massenrohstoffe und beim Bedürfnisfeld IKT Nicht-Massenrohstoffe im Vordergrund. Für jedes Bedürfnisfeld werden die im vorigen Kapitel beschriebenen Szenarien von 2013 bis 2049 erstellt. Hierbei können durch die Differenz zwischen den beiden Szenarien Potenziale aufgezeigt werden, welche im Rahmen der Rohstoffwende ausgeschöpft werden müssen um eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft zu realisieren. Im Folgenden werden die Annahmen sowie Ergebnisse der Bedürfnisfelder für die beiden betrachteten Szenarien und für verschiedene Rohstoffe dargestellt.

#### 4.1.1. Mobilität

Im Bedürfnisfeld Mobilität wird der Rohstoffbedarf abgebildet, welcher sich aus dem Bedarf für die Verkehrsinfrastruktur und für den Fahrzeugbestand in Deutschland ergibt. Der Fahrzeugbestand umfasst dabei sowohl den Straßenverkehr (Pkw, Busse, leichte Nutzfahrzeuge, LKW) als auch den Schienenverkehr (Personen- und Gütertransport) und die Binnenschifffahrt (Güterverkehr). Bei der Verkehrsinfrastruktur ist zum einen das öffentliche Straßennetz mit Straßenkörper, Ingenieurbauwerken, Fußwegen, Zubehör, Tankstellen sowie den Straßen zugerechnete Stellflächen enthalten. Zum anderen werden hier die Rohstoffbedarfe für das Schienennetz (Netz der Deutschen Bahn und sonstige Netze, Gleise, Schotter, Ingenieurbauwerke, Bahnhöfe, Stellwerke, Energieversorg-

ung, Signal- und Kommunikationstechnik) und die Binnenwasserstraßen (Uferbefestigung, Kanäle, Binnenhäfen, Schleusen, Kanalbrücken) abgebildet.

Für die Szenarien wurden unterschiedliche Annahmen getroffen.

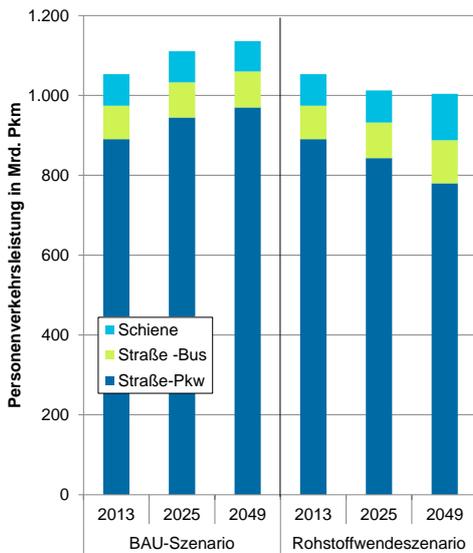
Im **BAU-Szenario** wird für die Fahrzeuge eine weiterhin hohe Motorisierungsquote mit leichter Zunahme an Elektrofahrzeugen angenommen. Bei der Infrastruktur wird im BAU-Szenario ein Ausbau des Straßennetzes um rund 37.000 Kilometer bis 2030 angenommen, was einer Zunahme von ca. 5 % bezogen auf das Gesamtnetz entspricht. Der Ausbau findet überwiegend bei Gemeindestraßen statt. Auch im Schienennetz wird eine Kapazitätserhöhung von rund 2.000 km bis 2030 unterstellt. Nach 2030 werden das Straßennetz nur noch geringfügig und das Schienennetz überhaupt nicht mehr weiter ausgebaut. Ein Ausbau der Wasserstraßen wird nicht angenommen. Weiterhin wird von einem erhöhten Einsatz von Sekundärasphalt im Straßenbau ausgegangen. Hier wird ein Anstieg um 15 Prozentpunkte von 25 % auf 40 % angenommen. Die Wasserstraßen bleiben ohne Veränderung zum heutigen Stand.

Im **Rohstoffwende-Szenario** liegt die Prämisse in einer Verkehrsverlagerung des Güterverkehrs und einer Verkehrsvermeidung im Personenverkehr. Weiterhin ist eine Elektrifizierung des Straßengüterfernverkehrs mit Oberleitungs-Lkws unterstellt. Bezüglich der Fahrzeuge ist eine niedrigere Motorisierungsquote bei weitgehender Elektrifizierung der Fahrzeuge für eine Rohstoffwende angenommen. Nach 2030 findet kein weiterer Ausbau des Straßennetzes statt. Das bedeutet einen geringeren Zubau im Vergleich zum BAU-Szenario von ca. 12.000 km. Die nicht benötigten innerstädtischen Stellflächen (aufgrund des geringeren Pkw-Bestands) werden für verkehrsfremde Zwecke genutzt. Ebenso werden „überflüssige“ Straßen rückgebaut, was ca. 11.000 km Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen betrifft. Aufgrund der Verkehrsverlagerung auf die Schiene wird das Schienennetz im Rohstoffwende-Szenario nach 2030 um ca. 1.000 km bis 2049 weiter ausgebaut. Der Einsatz des Sekundärasphalts erhöht sich von 25 % in 2013 auf 75 % in 2049.

In den folgenden beiden Abbildungen werden die Szenarioergebnisse der Verkehrsnachfrage visualisiert. Die Szenarien setzen auf dem „aktuelle Maßnahmen Szenario (AMS)“ des Klimaschutzszenarios 2050 (Repenning et al., 2015) auf und sind angepasst auf die veränderte Bevölkerungsentwicklung (siehe Kapitel 4.1.2).

Beim Personenverkehr wird die Personenverkehrsleistung in Personenkilometern nach Verkehrsträger Schiene, Bus und Pkw in folgender Abbildung abgebildet. Die Verkehrsvermeidung im Rohstoffwende-Szenario (auf der rechten Seite) ist deutlich zu erkennen. Während im BAU-Szenario (linke Seite der Abbildung) die gesamte Personenverkehrsleistung bis 2049 weiter zunimmt von 1.053 Mrd. Pkm in 2013 auf 1.136 Mrd. Pkm in 2049, sinkt diese im Rohstoffwende-Szenario auf 1.004 Mrd. Pkm in 2049. Gleichzeitig steigt die Personenverkehrsleistung des Schienen- und Busverkehrs im Rohstoffwende-Szenario – der Schienenverkehr von 79 Mrd. Pkm auf 116 Mrd. Pkm und der Busverkehr von 84 Mrd. Pkm in 2013 auf 108 Mrd. Pkm in 2049.

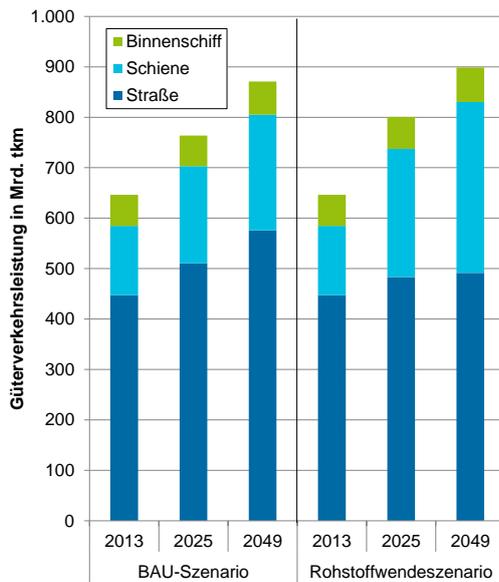
Abbildung 4-3: Szenarioergebnisse der Personenverkehrsleistung (in Mrd. Pkm)



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Die Entwicklung der Güterverkehrsleistung der Bereiche Straße, Schiene und Binnenschifffahrt ist in Abbildung 4-4 visualisiert. Die Güterverkehrsleistung in Tonnenkilometern (tkm) steigt sowohl im BAU- wie auch im RW-Szenario. Im RW-Szenario liegt die Gesamtgüterverkehrsleistung in 2025 mit 800 Mrd. tkm und 2049 mit ca. 900 Mrd. tkm sogar über dem BAU-Szenario (2025 mit 764 Mrd. tkm und 2049 mit knapp 870 Mrd. tkm). Dies ist zu erklären durch die deutliche Verkehrsverlagerung des Gütertransports von der Straße auf die Schiene, was zu längeren Wegstrecken der transportierten Güter führt. Die Güterverkehrsleistung auf der Straße steigt im BAU-Szenario von 447 Mrd. tkm in 2013 auf 510 Mrd. tkm in 2025 und 576 Mrd. tkm in 2049. Im RW-Szenario ist eine deutlich abgeschwächte Zunahme zu verzeichnen auf 483 Mrd. tkm in 2025 und 490 Mrd. tkm in 2049. Dafür steigt die Güterverkehrsleistung auf der Schiene im Rohstoffwende-Szenario deutlich von 137 Mrd. tkm in 2013 auf 254 Mrd. tkm in 2025 und knapp 340 Mrd. tkm in 2049, während das BAU-Szenario eine schwächere Ausdehnung bis 2025 mit 193 Mrd. tkm und knapp 230 Mrd. tkm in 2049 aufzeigt. Die Güterverkehrsleistung der Binnenschifffahrt zeigt nur minimale Unterschiede im Verlauf der beiden Szenarien: Im BAU-Szenario steigt die Verkehrsleistung von 62 Mrd. tkm in 2013 auf 66 Mrd. tkm in 2049 und im RW-Szenario auf 68 Mrd. tkm in 2049.

Abbildung 4-4: Szenarioergebnisse der Güterverkehrsleistung (in Mrd. tkm)



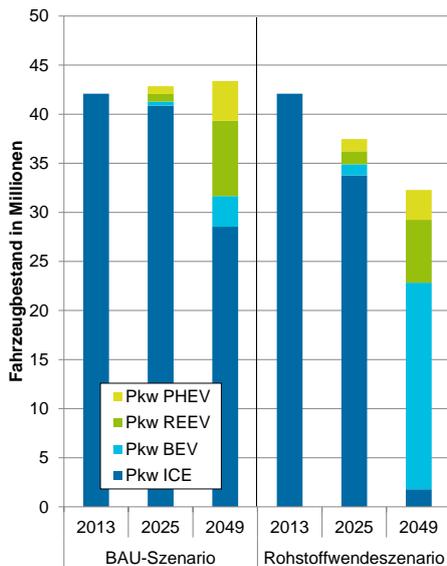
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Die folgenden Szenarioergebnisse des Fahrzeugbestandes illustrieren die steigende Elektrifizierung sowohl der Pkw als auch der Lkw und Busse.

Der Pkw-Fahrzeugbestand (siehe Abbildung 4-5) variiert in den Szenarien nicht nur in der Elektrifizierung sondern ebenso in der deutlichen Abnahme der Motorisierungsquote in 2049 im RW-Szenario. Während im BAU-Szenario in 2049 noch knapp zwei Drittel des Fahrzeugbestandes mit konventionellem Antrieb ausgestattet ist bei einem Gesamtbestand von 43 Mio. Pkw in Deutschland, wird für das RW-Szenario ein Gesamtbestand von knapp 32 Mio. Pkw angenommen bei einer Elektrifizierung von knapp 95 %. Im Rohstoffwende-Szenario wird bis 2049 von einer weitestgehenden Elektrifizierung mit vollelektrischen Pkw (BEV) ausgegangen, so dass 65 % des Fahrzeugbestandes aus BEV besteht (dazu 20 % Range Extender; 10 % PlugIn-Hybride und 5 % Verbrennungsmotor). Im BAU-Szenario liegt die Elektrifizierungsquote bei knapp 35 %. Den größten Anteil macht hierbei der Range Extender mit 8 Mio. Pkw aus, gefolgt von 4 Mio. PlugIn-Hybriden und 3 Mio. BEV.

Die Daten für diese Hochrechnung basieren für das BAU-Szenario auf dem AMS und für das Rohstoffwende-Szenario auf dem KS 95 (95 % Reduktion der THG-Emissionen bis 2050) der Studie „Klimaschutzszenarien 2050“ (Repenning et al., 2015) und sind mit den Daten der geänderten Bevölkerungsentwicklung angepasst.

Abbildung 4-5: Szenarioergebnisse des Pkw-Fahrzeugbestandes

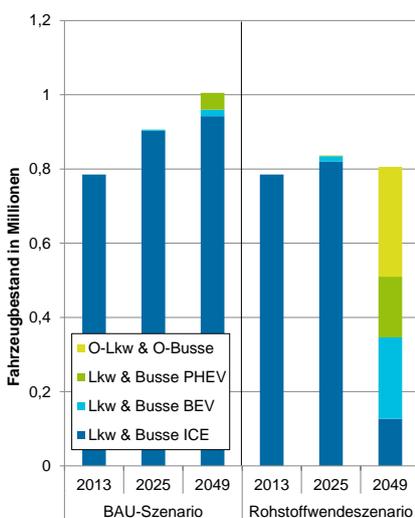


Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

PHEV = Plug-In-Hybrid; REEV = Range-Extender; BEV = Vollelektrisch; ICE = Verbrennungsmotor (inkl. Vollhybride)

Die Szenarioergebnisse des Fahrzeugbestandes der Lkw und Busse sind in Abbildung 4-6 dargestellt. Wie beim Pkw-Bestand zeigt sich hier ebenso eine deutliche Verringerung bis 2049 im RW-Szenario (auf knapp 800 Tsd. Fahrzeuge) im Vergleich zum BAU-Szenario (knapp 1 Mio. Fahrzeuge). Der größte Anteil des Fahrzeugbestandes im RW-Szenario in 2049 liegt bei den Oberleitungs-Lkw und Oberleitungs-Bussen mit knapp 300 Tsd. Fahrzeugen, gefolgt von den vollelektrischen Lkw & Bussen mit 220 Tsd. Fahrzeugen und den PlugIn-Hybriden LKW & Bussen mit ungefähr 160 Tsd. Fahrzeugen. Die Elektrifizierungsquote liegt hier bei fast 85 %. Im BAU-Szenario hingegen liegt die Elektrifizierungsquote lediglich bei 6 %.

Abbildung 4-6: Szenarioergebnisse des Lkw- & Bus-Fahrzeugbestands

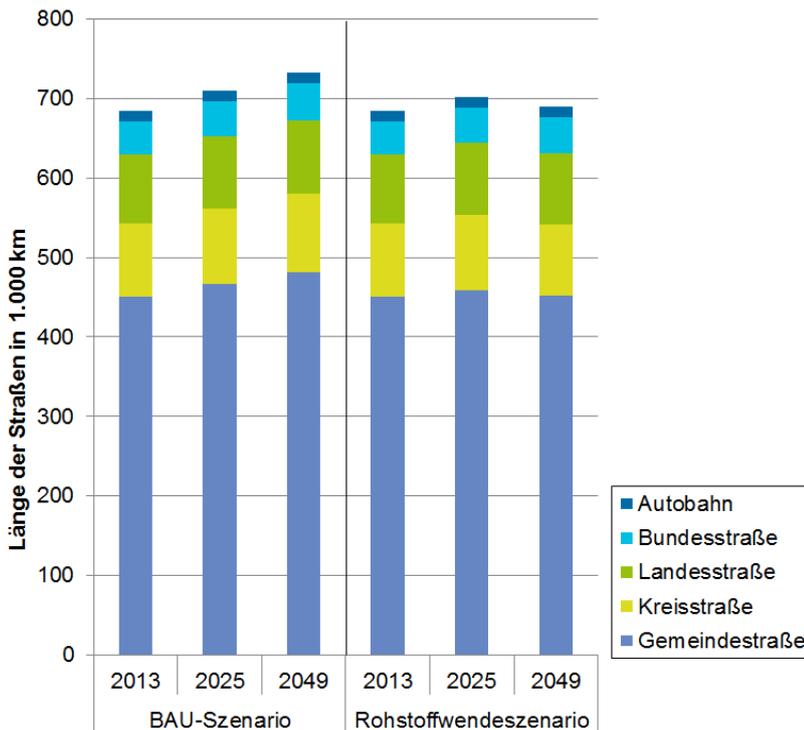


Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

O-LKW = Oberleitungs-LKW; O-Busse = Oberleitungs-Busse

Die Verkehrsvermeidung auf der Straße spiegelt sich auch in der Netzlänge des Straßennetzes wieder, wenn auch nur in deutlich abgeschwächter Form. Die Errichtung von Straßen sind langfristig angelegte Infrastrukturmaßnahmen. Im RW-Szenario liegt die Netzlänge in 2049 knapp 6 % niedriger als im BAU-Szenario in 2049. Diese Differenz wird v. a. über die Netzlänge der Gemeindestraßen erreicht. Diese steigen im BAU-Szenario von ca. 450 Tsd. Km auf 467 Tsd. Km in 2025 und knapp 480 Tsd. Km in 2049. Das RW-Szenario geht von einer Netzlänge der Gemeindestraßen von fast 460 Tsd. Km in 2025 und einem Rückgang bis 2049 auf 452 Tsd. Km aus.

**Abbildung 4-7: Szenarioergebnisse der Netzlänge des Straßennetzes (in km)**

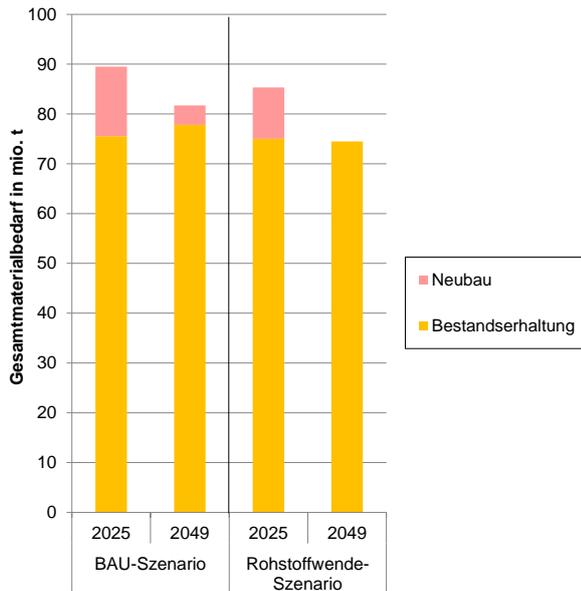


Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

In der folgenden Abbildung wird der Materialbedarf des Straßennetzes in Deutschland visualisiert. Es ist eine Verringerung des gesamten Materialbedarfs in 2049 zu erkennen. Allerdings liegt der Hauptteil des Materialbedarfs für das Straßennetz in der Instandhaltung. Der Materialbedarf setzt sich v. a. zusammen aus den Rohstoffen/Materialien Kies, Sand, Natursteine, Schotter, Asphalt, Beton und Stahl. Im BAU-Szenario liegt der Materialbedarf in 2025 für die Instandhaltung bei 76 Mio. Tonnen und für den Neubau bei 14 Mio. Tonnen. Bis 2049 sinkt der Materialbedarf für den Neubau auf 4 Mio. Tonnen, während der Bedarf für die Straßeninstandhaltung auf 78 Mio. Tonnen ansteigt. Im Rohstoffwende-Szenario liegt der Bedarf für die Instandhaltung in 2025 auf einem ähnlichen Niveau wie das BAU-Szenario mit 75 Mio. Tonnen. Der Materialbedarf für den Straßenneubau liegt bei 10 Mio. Tonnen. Für 2049 wird im RW-Szenario angenommen, dass es keinen weiteren Straßenausbau mehr gibt. Der Materialbedarf für die Instandhaltung liegt auf dem Niveau von 2025 mit 74 Mio. Tonnen.

Die Darstellung der Materialbedarfe für das Straßennetz machen deutlich, dass Entscheidungen im Infrastrukturbereich langfristig bindend sind.

**Abbildung 4-8: Szenarioergebnisse des Materialbedarfs für das Straßennetz**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Die Materialbedarfe für das Bedürfnisfeld Mobilität liegen zum einen in der Verkehrsinfrastruktur wie Straßen, Schienen, Binnenschifffahrt. Hier sind die Massenrohstoffe Kies, Sand, Schotter, Naturstein und Stahl von besonderer Bedeutung.

Zum anderen werden hier die Materialbedarfe für die Verkehrsträger selber betrachtet. Hierunter fallen der Fahrzeugbestand im Personen- und Güterverkehr, Schienenfahrzeuge und Binnenschiffe. Nicht betrachtet wurden die Flugzeuge. Für die Straßenfahrzeuge spielen sowohl Massenrohstoffe (z. B. Stahl, Kupfer, Aluminium, Zink) als auch Nicht-Massenrohstoffe (z. B. Platin, Neodym, Dysprosium, Lithium) eine entscheidende Rolle. Vor allem für die Elektromobilität werden Technologiemetalle für die Antriebsmotoren (z. B. Neodym) und Batteriespeicherung (z. B. Lithium) benötigt.

Neodym wurde im Rahmen der Studie intensiv betrachtet. Die rohstoffspezifischen Szenarien für Neodym und Ziele sind in Kapitel 4.2.1 dargestellt. Im Factsheet Neodym in Kapitel 8.7 wird das Technologiemetall näher beschrieben.

#### 4.1.2. Wohnen

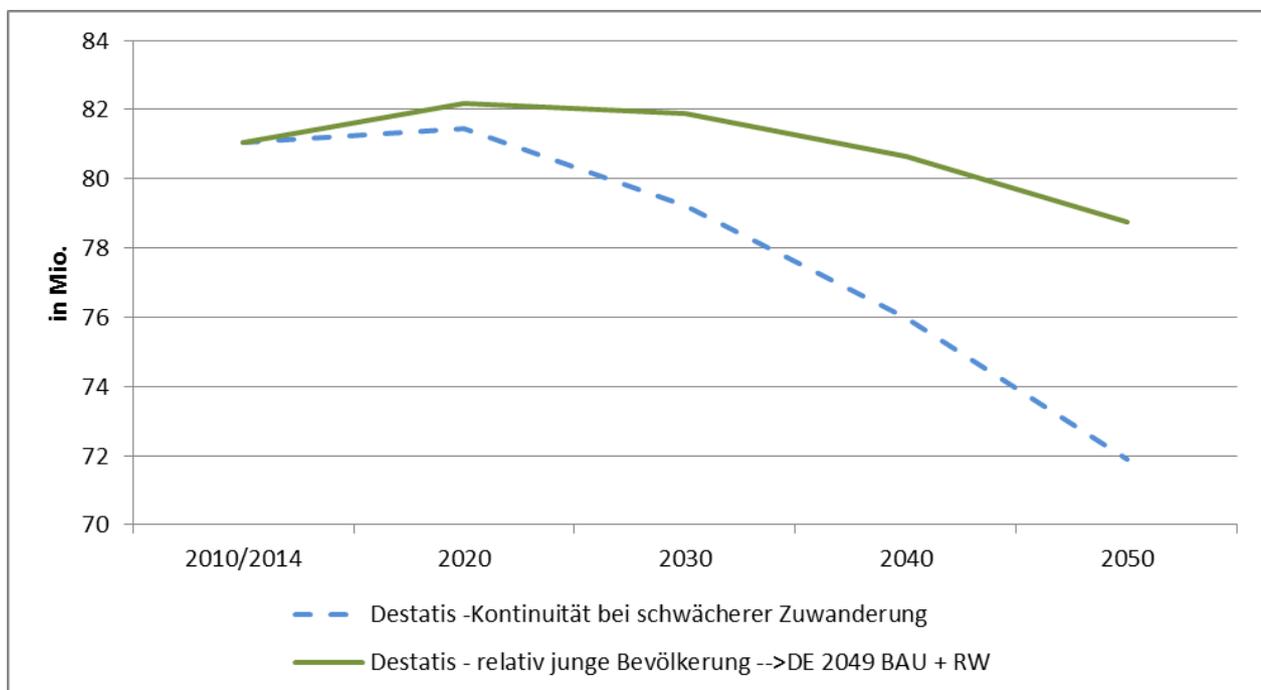
Das Bedürfnisfeld Wohnen bezieht sich ausschließlich auf den Rohstoffbedarf für den Bau sowie die Sanierung von Wohngebäuden. Dazu zählen Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH), Wohnheime z. B. Altenheime, Studentenwohnheime. Nicht im Bedürfnisfeld enthalten ist Wohninfrastruktur wie z. B. Straßen und Fußwege am Wohngebäude. Diese sind in das Bedürfnisfeld Mobilität eingegangen. Ebenso nicht enthalten sind Elektrogeräte wie Fernseher, Computer etc., die das Bedürfnisfeld IKT abdeckt.

Stellvertretend für alle Bedürfnisfelder stand die Frage nach der Entwicklung der Bevölkerung zunächst im Vordergrund. Die Entwicklung dieses Basisparameters ist sehr relevant, um die zukünftige Entwicklung zu modellieren. Im Zuge dessen wurden die Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung von verschiedenen Szenariostudien verglichen. Letztlich wurde auf

Basis der aktuellen Berechnung des Statistischen Bundesamtes (Destatis, 2015) gerechnet. Den Szenarien von Destatis (2015) waren Annahmen zur Kontinuität der Zuwanderung (schwach oder stark) sowie zur Alterspyramide (relativ junge oder alte Bevölkerung) zugrunde gelegt. Für das Projekt wurde als Referenz wie auch als Entwicklung im Rohstoffwende-Szenario angenommen, dass die Bevölkerung von 81,1 Mio. in 2014 auf 78,8 Mio. in 2050 sinkt. Dies entspricht den Destatis-Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung bei relativ junger Bevölkerung. Zum Vergleich ist in Abbildung 4-9 die Entwicklung für eine kontinuierliche aber schwache Zuwanderung nach Destatis (2015) dargestellt. Hier sinkt die Bevölkerung von 81,1 Mio. in 2014 auf 71,9 Mio. in 2050. Eine solche Entwicklung wurde in den vergangenen Jahren in den Szenarien hinterlegt. Aufgrund der aktuellen Trends wurde sich im Rahmen der Studie „Rohstoffwende Deutschland 2049“ auf die relativ gleichbleibende Bevölkerungsentwicklung bezogen.

Diese Szenarioannahmen wurden in allen Bedürfnisfeldern, wie in Abbildung 4-9 dargestellt, angenommen.

**Abbildung 4-9: Bevölkerungsentwicklung in Deutschland**



Quelle: Destatis, 2015

Die Annahmen im BAU-Szenario gestalten sich wie folgt:

#### **Nachfragemuster:**

weitgehende Fortschreibung bestehender Trends, wie z. B.

- hoher Anteil material- und flächenintensiver Bauformen (EFH = 46 %-Anteil an neuen Wohnungen),
- hoher Anteil Neubau im ländlichen und suburbanen Raum (21 % Kernstädte, 56 % suburban, 23 % ländlich).

### Technische Trends:

- wenig Einsatz von Recyclingbeton (konstant 0,4 % bis 2049),
- gleichbleibende moderate Sanierungsrate (1 % pro Jahr),
- wenig Holzbau (5 % Anteil bei Neubau von EFH).

Im Gegensatz dazu wird für das Rohstoffwende-Szenario angenommen, dass auf der Nachfrageseite:

- die Lebensdauer von Gebäuden verlängert wird,
- die Wohnraumnachfrage v. a. in attraktiven Regionen und Städten befriedigt wird,
- verstärkt Wohnen in Mehrfamilienhäusern nachgefragt wird.

Bei den technischen Trends wird erwartet, dass

- die Sanierungsrate auf 3 % pro Jahr bis 2049 ansteigt,
- die Mobilisierung von Brachen verstärkt wird,
- verstärkter Einsatz von Recyclingbeton (auf rund 10 % in 2049) erreicht wird,
- die Holzbauweise auf 50 % Anteil beim Neubau von EFH anwächst.

### Exkurs Holzbauweise

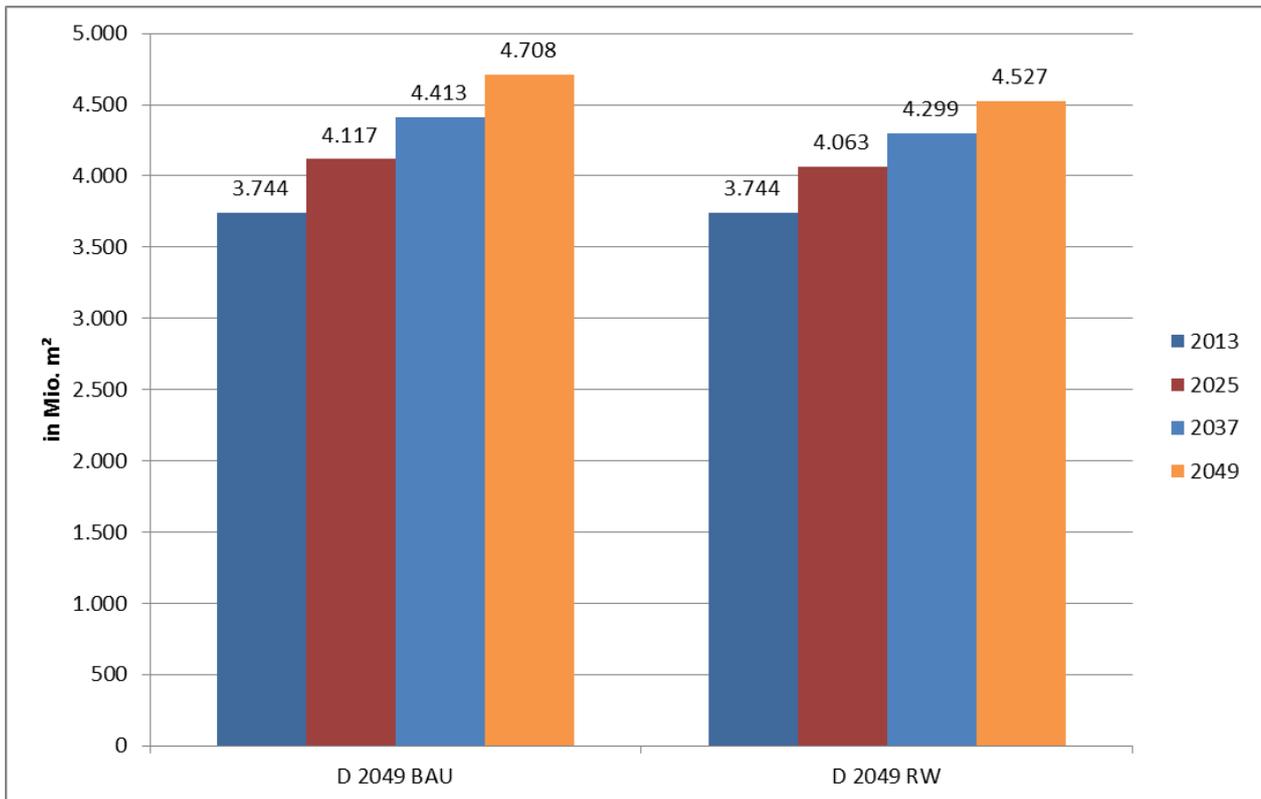
Die Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Holz für das Bedürfnisfeld Wohnen leistet einen wichtigen Beitrag zur Schonung der natürlichen Ressourcen. Im Referenzszenario wird das Niveau des Holzbauanteils bei der Errichtung von neuen Ein- bis Zweifamilienhäusern bei 5 % angesetzt. Für das Rohstoffwende-Szenario wird ein Anstieg des jährlichen Anteils bis auf 50 % Holzbauanteil (für Ein- bis Zweifamilienhäuser) im Jahr 2049 unterstellt. Entsprechend der Philosophie des Rohstoffwende-Szenarios wird angenommen, dass der gesellschaftliche Bewusstseinswandel weiter fortschreitet und damit deutliche Veränderungen hin zu nachwachsenden Rohstoffen wie Holz als direkte Folge auslösen wird. Holzhäuser haben bereits heute einen hohen und anerkannten Qualitätsstandard. Erfahrene Anbieter stehen in Deutschland ebenso zur Verfügung wie auch ausreichende heimische Ressourcen des nachwachsenden Rohstoffes Holz, so dass von dieser Seite keine Hemmnisse für einen deutlich forcierten zukünftigen Marktanteil erkennbar sind. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass andere Annahmen im Rohstoffwende-Szenario wie verstärkter Bestandserhalt gegenüber Neubau sowie verstärkter Neubau in Mehrfamilienhäusern dämpfend auf die Zahl der zukünftig absolut neu gebauten Ein- bis Zweifamilienhäuser wirken.

Die Basis für die Szenarienanalyse im Bedürfnisfeld Wohnen bildeten frühere Arbeiten des Öko-Instituts (Öko-Institut et al., 2003: „Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung -Verknüpfung des Bereiches Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich „Öffentliche Infrastruktur“) sowie aktuelle Studien im Gebäudebereich (z. B. BBSR Wohnprognose 2030, Fraunhofer, IBP, 2013, Klimaschutzszenario 2050, DLR Leitstudie, 2012, Prognos et al., 2014).

Der Startwert für die absolute Wohnfläche in Deutschland (2013) basiert auf (Destatis, 2015). Die Szenarioentwicklung für das BAU- und Rohstoffwende-Szenario ergibt sich aus dem Delta der

Szenarioannahmen der oben genannten früheren Arbeit (Öko-Institut e.V. et al. 2003), die für Deutschland 2049 übernommen wurden (siehe Szenarioannahmen oben). Abbildung 4-10 zeigt die berechnete Entwicklung der absoluten Wohnfläche im Zeitraum 2013 bis 2049. Im BAU-Szenario steigt die Wohnfläche von 3.744 Mio. m<sup>2</sup> auf 4.708 Mio. m<sup>2</sup> an. Im Gegensatz dazu steigt im Rohstoffwende-Szenario zwar auch die Wohnfläche bis 2049 an, jedoch in geringerem Maße, auf 4.527 Mio. m<sup>2</sup>.

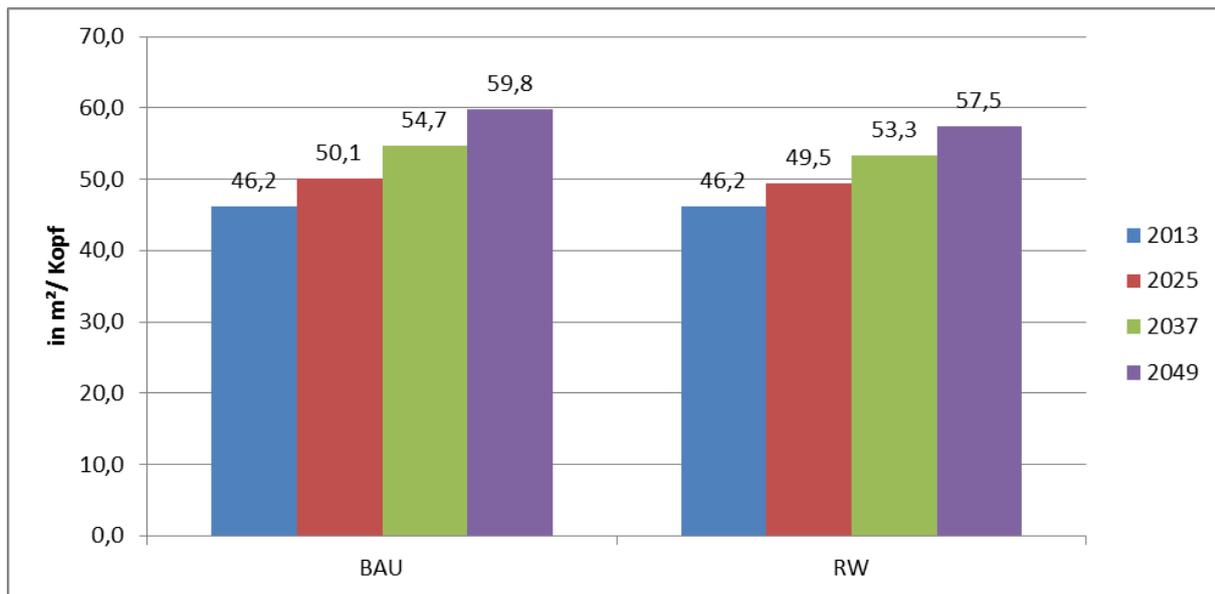
**Abbildung 4-10: Entwicklung der Wohnfläche 2013 – 2049**



Quelle: Eigene Berechnungen Öko-Institut e.V.

Unter Hinzuziehung der oben beschriebenen Bevölkerungsentwicklung gestaltet sich die Entwicklung der Wohnfläche pro Kopf wie folgt:

Abbildung 4-11: Entwicklung der Wohnfläche pro Kopf 2013 - 2049



Quelle: Eigene Berechnung Öko-Institut e.V.

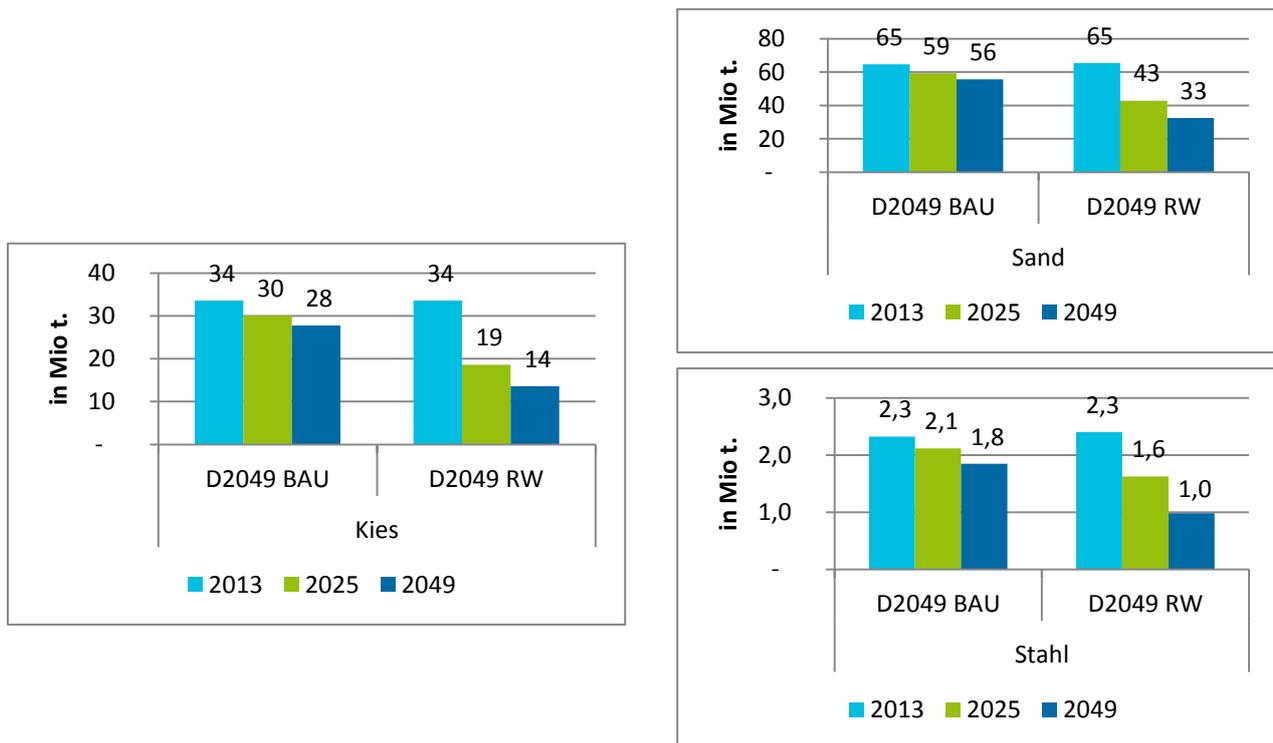
Die Pro-Kopf-Wohnfläche steigt in beiden Szenarien kontinuierlich an. Wesentlicher Grund ist der Einfluss des in Fachkreisen bekannten „Remanenzeffektes“. Die Menschen tendieren unverändert stark dazu, nach Verlassen der Kinder aus dem Haushalt und dem Ableben des Lebenspartners in den „eigenen vier Wänden“ zu bleiben. Faktisch bedeutet dies z. B. einen Trend des Wohnens von alleinstehenden Senioren u. a. in relativ großen 1-2 Familienhäusern. Dies ist ein wichtiger – wenn auch nicht der einzige - Treiber für den fortwährenden Trend zu 1-Personenhaushalten. Weiterhin geht regional die Schere zwischen Wohnungsangebot und Wohnungsnachfrage stark auseinander. Ein starker Trend in den letzten Jahren ist ein erheblicher Bevölkerungszug in viele Kernstädte (über 100.000 Einwohner), der in den meisten städtischen und verdichteten Regionen eine starke Wohnungsnachfrage generiert hat. Umgekehrt leiden viele, vor allem dünn besiedelte ländliche Kreise unter drastischem Bevölkerungsrückgang. Diese Trends dürften sich in Zukunft fortsetzen und sind starke Treiber für die insgesamt wachsende Wohnfläche und auch Wohnfläche pro Kopf in Deutschland.

Das BAU-Szenario zeigt eine Pro-Kopf-Wohnfläche von 59,8 m<sup>2</sup> in 2049 und das Rohstoffwende-Szenario einen etwas geringeren Wert von 57,5 m<sup>2</sup> pro Kopf. Das erklärt sich vor allem durch den stärkeren Anteil von Mehrfamilienhäusern am Neubauvolumen im Rohstoffwende-Szenario.

Folgende Massenmaterialien sind für das Bedürfnisfeld Wohnen von besonderem quantitativen und qualitativen Interesse: Kies, Sand und Stahl. Methodisch wurde hier auf die schon erwähnte Datenbasis aus Öko-Institut e.V. et al. (2003) zurückgegriffen. Die Entwicklung der Rohstoffbedarfe von Naturstein, Sand, Kies und Stahl im Bedürfnisfeld Wohnen sind in folgender Abbildung visualisiert.

Die Nutzung der genannten Rohstoffe reduziert sich in beiden Szenarien, allerdings im RW-Szenario bis 2049 deutlich stärker als im BAU-Szenario. Der Einsatz von Kies und Stahl wird bis 2049 annähernd halbiert. Der Einsatz von Sand wird bis 2049 um 40 % reduziert (s. Abbildung 4-12).

Abbildung 4-12: Entwicklung der Rohstoffnutzung im Bedürfnisfeld Wohnen



Quelle: Eigene Berechnung Öko-Institut e. V.

### 4.1.3. Arbeiten

Im Bedürfnisfeld Arbeiten wird der Rohstoffbedarf abgebildet, welcher sich aus der Errichtung von Nichtwohngebäuden wie z. B. Bürogebäuden, Hotels oder Gaststätten oder ergibt. Anstaltsgebäude wie z. B. Krankenhäuser oder Kasernen werden hier ebenfalls betrachtet, während Wohnheime im Bedürfnisfeld Wohnen enthalten sind. Neben den Gebäuden wird auch die nichtöffentliche Arbeitsstätteninfrastruktur wie z. B. Straßen oder Fußwege betrachtet. Die öffentliche Infrastruktur ist im Bedürfnisfeld Mobilität enthalten. Die Innenausstattung der Arbeitsstätten wie Möbel, Maschinen oder Computer werden hierbei nicht betrachtet. Computer sind im Bedürfnisfeld IKT enthalten. Es werden alle relevanten Materialien betrachtet, die notwendig sind um die beschriebenen Gebäude und die zugehörige Infrastruktur abzubilden. Hierzu gehören Beton, Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton, sonstige mineralische Produkte (inkl. Bodenbeläge), Gipskarton, Gipswandbauplatten, sonstige Gipsprodukte, Bau-/Konstruktionsholz, sonstige Holzprodukte (inkl. Bodenbeläge), Flachglas, mineralische Dämmstoffe, Kunststoff-Dämmstoffe, Kunststoff-Fenster/Türen, sonstige Kunststoffprodukte (inkl. Belägen und Leitungen), Metalle (inkl. Leitungen), sonstige Stoffe (inkl. Leitungen und Belägen). Diese Produkte lassen sich für spätere Analysen unterteilen in Rohstoffe wie z. B. Sand oder Kies um den Anteil des Bedürfnisfeldes am Gesamtbedarf des einzelnen Rohstoffs aufzuzeigen.

Die Basis für den Bestand und die hieraus generierten Zubau- und Abrissraten bilden die Arbeiten von (Deilmann et al., 2014). Hier sind die Daten für die Nichtwohngebäude in Deutschland und das darin enthaltene Material berechnet und mit statistischen Daten unterlegt worden, weshalb dies eine gute Grundlage ist um darauf das BAU- und das RW-Szenario aufzubauen.

Für das BAU-Szenario wird angenommen, dass die heutigen Trends fortgeschrieben werden. Die im Bedürfnisfeld Wohnen angenommene Bevölkerungsentwicklung wird auch im Bedürfnisfeld Arbeiten angesetzt. Der Zubau und Abriss wird an die Bevölkerungsentwicklung gekoppelt und hat somit die gleiche Entwicklung. Die Sanierungsrate wird ebenfalls fortgeschrieben. Für wohngebäudeähnliche Nichtwohngebäude, wie z. B. Bürogebäude, Hotels oder Schulen, beträgt die Sanierungsrate 2 %, für die übrigen Nichtwohngebäude, wie z. B. Lagerhallen oder Fabrikgebäude, beträgt sie 0,5 % pro Jahr. In Summe ergibt sich aus der Struktur der vorhandenen Nichtwohngebäude somit in Summe eine Sanierungsrate von 0,8 % pro Jahr für das BAU-Szenario. Für den Einsatz von Sekundärmaterial werden die heutigen Raten unverändert fortgeschrieben, welche für Baumaterialien niedrig sind z. B. 0,4 % bei Beton (hierbei wird Kies durch Betonbruch ersetzt). Die detaillierten Einsatzraten für die betrachteten Materialien für beide Szenarien sind in Tabelle 4-1 dargestellt.

Für das RW-Szenario werden erhöhte Sanierungsraten angenommen um die Lebens- und Nutzungsdauer von Gebäuden zu verlängern. Die Sanierungsrate für wohngebäudeähnliche Nichtwohngebäude wird von 2 % auf 2,2 % pro Jahr erhöht. Für die übrigen Nichtwohngebäude wird sie von 0,5 % auf 0,7 % pro Jahr erhöht, sodass sich die Gesamtsanierungsrate von 0,8 % auf 1,0 % pro Jahr erhöht. Dies bedeutet eine 25 prozentige Steigerung der Sanierungsrate, welche dazu führt, dass weniger Zubau notwendig ist. Es wird eine maximale Sanierung angenommen, was bedeutet, dass ab 2027 kein Abriss mehr stattfindet. Dies ist eine sehr drastische Annahme, die der heutigen Praxis entgegenwirken soll bei der noch nutzbare Nichtwohngebäude direkt abgerissen werden, statt diese weiter zu nutzen. Zusätzlich zur Steigerung der Sanierungsrate wird ein erhöhter Einsatz an Sekundärmaterial angenommen. Hierbei sollen vermehrt Recycling-(RC-)Beton, Elektro Stahl, RC-Aluminium, RC-Ziegel und sonstige mineralische RC-Stoffe verwendet werden. Die Einsatzraten für das BAU- und das RW-Szenario sind in Tabelle 4-1 dargestellt.

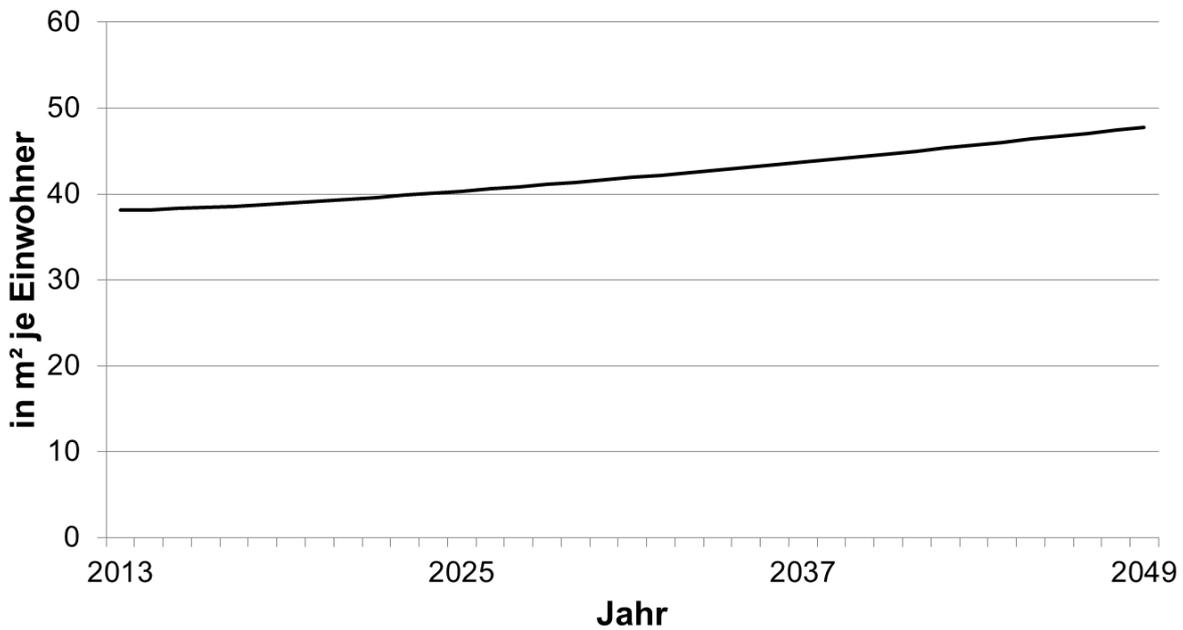
**Tabelle 4-1: Einsatzraten von Sekundärmaterial für das BAU- und das RW-Szenario**

<b>Titelmuster</b>	<b>2013</b>	<b>BAU 2049</b>	<b>RW 2030</b>	<b>RW 2049</b>
Beton	0,4 %	0,4 %	4,6 %	9,4 %
Ziegel	0 %	0 %	7,5 %	12,7 %
Kalksandstein	0 %	0 %	3,8 %	4,9 %
Porenbetonstein	0 %	0 %	1,5 %	3,7 %
Sonstige Mineralische/Schüttungen	6 %	6 %	17,3 %	20,8 %
Gipskarton/Gipswandbauplatten	0 %	0 %	22,5 %	41 %
Sonstige Gipsprodukte	0 %	0 %	0 %	2,9 %
Konstruktionsholz	0 %	0 %	0 %	0 %
Holz-Bauplatten	4 %	4 %	8,5 %	15,6 %
Flachglas	15 %	15 %	22,5 %	30,6 %
Mineral. Wärmedämmungen, davon ca. 40 % Steinwolle mit RC 0, 15, 20	27 %	27 %	38,3 %	49,8 %
Erdölbasierte Wärmedämmungen	10 %	10 %	16,8 %	18,9 %
Kunststofftüren/-fenster	13 %	13 %	22 %	39,1 %
Sonstige Kunststoffe/PVC-Bahnenware/Teppiche	1 %	1 %	4 %	7,8 %
Stahl	50 %	50 %	57,5 %	65,6 %
Aluminium	33 %	33 %	40,5 %	48,6 %
Kupfer	37 %	37 %	44,5 %	52,6 %
Sonstige	0 %	0 %	1,5 %	3,7 %

Quelle: (Deilmann et al., 2014); eigene Annahmen Öko-Institut e. V.

In Abbildung 4-13 ist die zeitliche Entwicklung der Nutzfläche vom Jahr 2013 bis zum Jahr 2049 dargestellt. Diese gilt für beide Szenarien und basiert auf der Entwicklung des BAU-Szenarios, dessen Nutzflächenanforderung durch das RW-Szenario ebenfalls erfüllt werden muss.

**Abbildung 4-13: Entwicklung Nutzfläche in m<sup>2</sup> je Einwohner im BAU- und RW-Szenario**

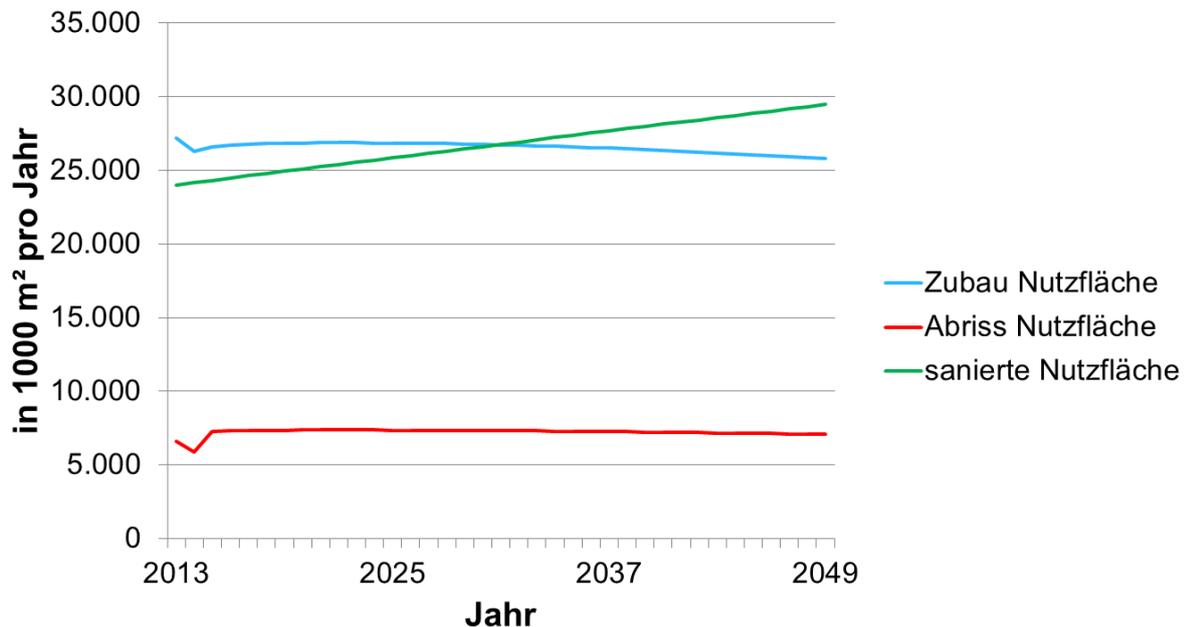


Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Obwohl die Bevölkerung leicht abnimmt, wird angenommen, dass der Trend des Nutzflächenzuwachses fortgesetzt wird. Dies kann begründet werden über die zunehmenden Nichtwohngebäudeflächen von Logistikunternehmen (Lagerhallen), welche nicht direkt proportional mit einem Zuwachs an Arbeitskräften und damit der Bevölkerung verbunden ist.

Abbildung 4-14 zeigt die Entwicklung von Zubau, Abriss und Sanierung im BAU-Szenario. Der Sprung bei Zubau und Abriss ist zu Erklärung durch die Nutzung von Realdaten für 2013 und 2014, sodass eine Fortschreibung ohne Sprünge erst danach stattfindet. Hierbei ist der mittlere Zubau und Abriss der letzten 10 Jahre in Abhängigkeit zur Bevölkerungsentwicklung als Fortschreibungsfaktor genutzt worden. Für die Sanierung ist die oben angegebene Rate angesetzt worden. Der Anstieg der sanierten Fläche ist über die steigende Gesamtnutzfläche zu erklären mit der die Sanierungsrate gekoppelt ist. Zu sehen ist, dass der Zubau sinkt, was durch die sinkende Bevölkerung zu erklären ist. Der Anstieg der Nutzfläche je Einwohner ist ebenfalls hierdurch zu erklären, da die Gesamtnutzfläche auf weniger Einwohner verteilt wird. Zubau und Abriss bleiben im BAU-Szenario, so wie die Bevölkerungszahl, relativ konstant.

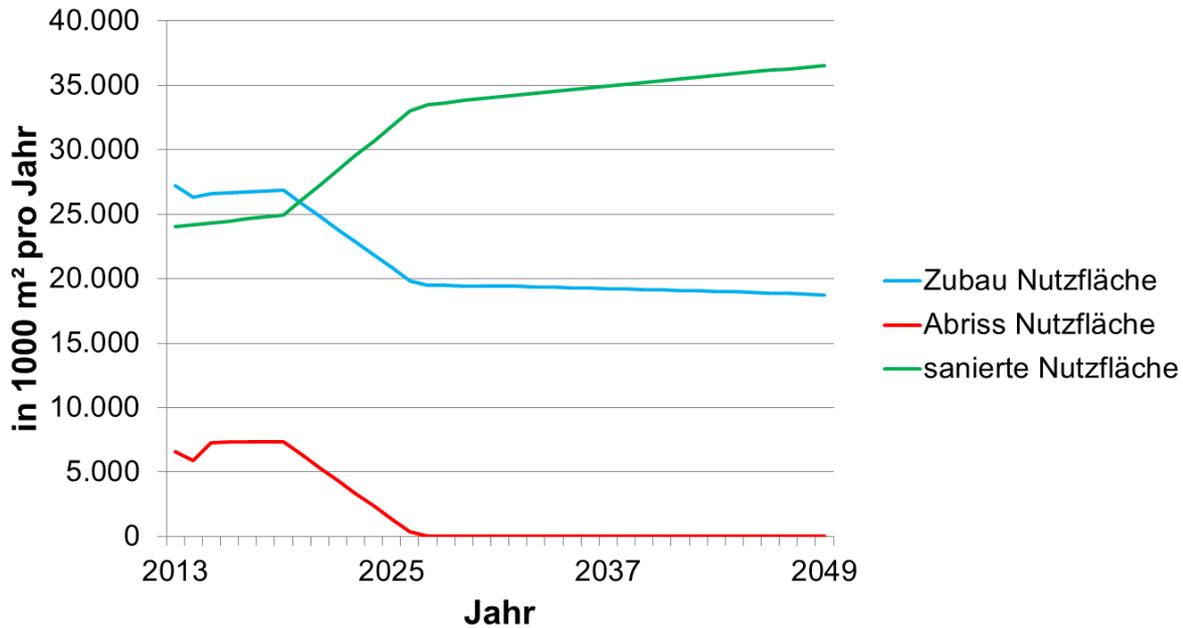
**Abbildung 4-14: Szenario-Ergebnisse BAU-Szenario: Entwicklung von Zubau und Abriss sowie Sanierung**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

In Abbildung 4-15 sind Zubau, Abriss und Sanierung für das RW-Szenario dargestellt. Wie zu sehen ist, entwickeln sich Zubau und Abriss bis 2019 analog zum BAU-Szenario. Ab 2020 wird eine Steigerung der sanierten Fläche von 1.000.000 m<sup>2</sup> jedes Jahr angenommen, welche zur Minderung des Zubaus führt. Der Abriss vermindert sich in direkter Abhängigkeit zur sanierten Fläche. Diese Steigerung ist im Jahr 2026 abgeschlossen, da hier keine weitere Abrissfläche mehr verfügbar ist um saniert zu werden. Diese Erhöhung entspricht dann der oben beschriebenen Steigerung der Sanierungsrate. Der jährliche Zubau wird durch diese Sanierungssteigerung von knapp 27.000.000 m<sup>2</sup> auf gut 19.000.000 m<sup>2</sup> gesenkt.

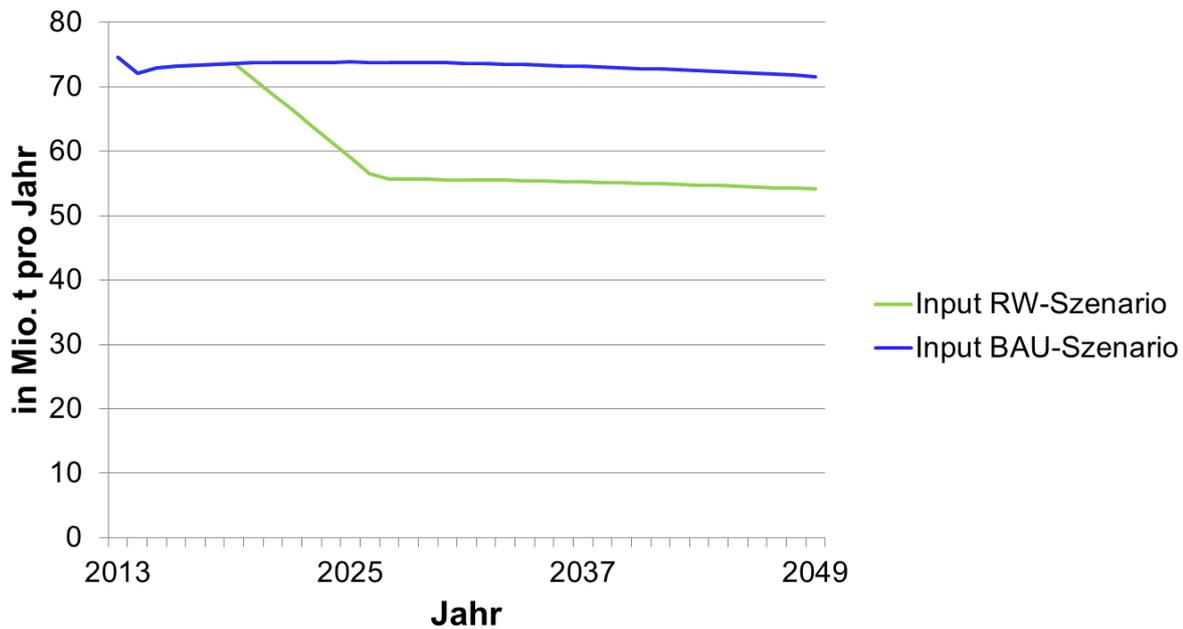
**Abbildung 4-15: Szenario-Ergebnisse RW-Szenario: Entwicklung von Zubau und Abriss sowie Sanierung**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Die Senkung des Zubaus führt netto zu einer Senkung des Gesamtmassenbedarfs, trotz des Mehrbedarfs, der durch die erhöhte Sanierung entsteht. Der Gesamtmassenbedarf des BAU- und des RW-Szenarios ist in Abbildung 4-16 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Erhöhung der Sanierungsrate im Jahr 2049 zu einer Einsparung von gut 18 % des jährlichen Gesamtmasseninputs (inkl. Sekundärmaterial) im Vergleich zum BAU-Szenario führt. In dieser Betrachtung sind alle eingesetzten Rohstoffe enthalten wie in Tabelle 4-1 aufgelistet.

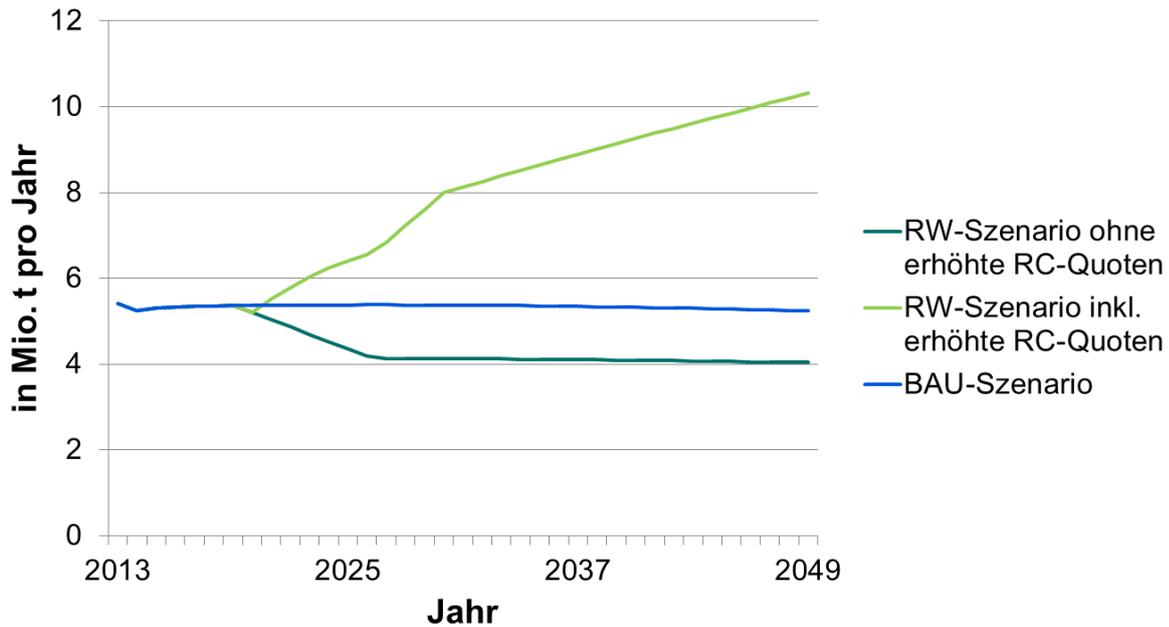
Abbildung 4-16: Szenario-Ergebnisse BAU vs. RW: Gesamtmassenbedarf



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Neben der direkten Einsparung der Gesamtmasse durch die Senkung des Zubaus, kann der Einsatz von Primärmaterial über die Verwendung von Sekundärrohstoffen verringert werden. Abbildung 4-17 zeigt den Einsatz von Sekundärrohstoffen für das BAU- und das RW-Szenario, wobei beim RW-Szenario der Einsatz mit und ohne Steigerung der Recyclingraten dargestellt wird (siehe hierzu auch Tabelle 4-1). Es ist zu sehen, dass der Einsatz von Sekundärmaterial bis zum Jahr 2019 äquivalent ist. Es folgt eine geringe Senkung, die über die Verminderung des Gesamtbedarfs zu erklären ist. Die Kurve folgt in diesem Fall dem RW-Szenario ohne erhöhte Recyclingraten. Ab 2020 werden die Recyclingraten der einzelnen Materialien gesteigert. Dies führt zu einer Verdoppelung des Sekundärrohstoffeinsatzes im Vergleich zum BAU Szenario, trotz Senkung des Gesamtmassenbedarfs.

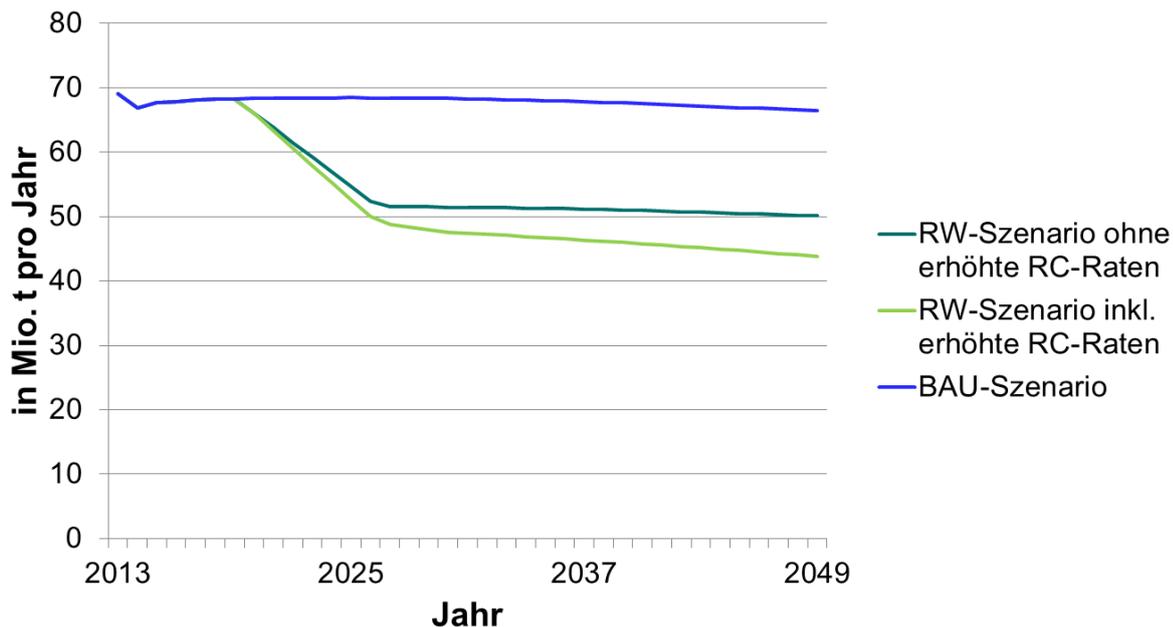
Abbildung 4-17: Szenario-Ergebnisse BAU vs. RW: Sekundärrohstoffeinsatz



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

In Abbildung 4-18 ist der Primärrohstoffeinsatz von BAU- und RW-Szenario dargestellt, auch hier mit und ohne gesteigerte Recyclingrate, um die Differenz der Einsparung durch Sanierung und durch Recyclingratenerhöhung zu zeigen. Der Primärrohstoffbedarf des BAU-Szenario liegt bei rund 68 Mio. t im Jahr, die analog zur Bevölkerungsentwicklung leicht sinkt. Durch die Erhöhung der Sanierungsrate werden etwa 17 Mio. t pro Jahr eingespart. Die Erhöhung der Recyclingraten führt zu einer weiteren Einsparung von etwa 6 Mio. t pro Jahr. Die Gesamteinsparung beträgt somit im Jahr 2049 knapp 23 Mio. t, was etwa einem Drittel entspricht.

**Abbildung 4-18: Szenario-Ergebnisse BAU vs. RW: Eingesetzte Menge an Primärrohstoffen**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

In diesem Kapitel wurde gezeigt, dass durch die Maßnahmen der Erhöhung der Sanierungsrate und der Recyclingraten im Bedürfnisfeld Arbeiten deutliche Einsparungen des Primärrohstoffbedarfs realisiert werden könnten. Auch bei konservativen Annahmen kann man hier von einem Einsparungspotenzial von rund 20 % ausgehen, die sich auf die verschiedenen Primärrohstoffe verteilen.

#### 4.1.4. Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT)

##### 4.1.4.1. Definitionen und Abgrenzung

Der Sektor der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) umfasst im engeren Sinne alle Herstellungsaktivitäten von elektronischen Komponenten, die in Produkten zum Einsatz kommen, welche der Information- und Telekommunikation von und zwischen Menschen dienen. Im weiteren Sinne umfasst der Sektor auch Handels- und Reparaturaktivitäten bzw. mit dem Produkten verbundene Dienstleistungen (BIO IS, 2013). Für die Zwecke dieses Projektes wird nur der produktbezogene Anteil sowie deren Vorketten (insbesondere der Rohstoffabbau) betrachtet. Insbesondere werden IKT-Produkte nach OECD (2009) so definiert, dass sie in erster Linie der Funktion der Informationsverarbeitung sowie Kommunikation auf elektronischem Wege, deren Übertragung und optische Darstellung dienen.

##### 4.1.4.2. Materialzusammensetzung am Beispiel eines Tablet-PCs

IKT-Produkte enthalten eine Vielzahl an Materialien. Am Beispiel eines Tablet-PCs soll im Folgenden eine typische Materialzusammensetzung eines IKT-Produktes dargestellt werden (Manhart et al., 2016). Diese Daten basieren sowohl aus einschlägigen Quellen in der Literatur als

auch ausgewählten eigenen Messungen. Es ist zu beachten, dass es sich um grobe Abschätzungen handelt.

**Tabelle 4-2: Typische Materialzusammensetzung eines Tablet-PCs**

Material		Hauptanwendung	Inhalt pro Tablet-PC	Inhalt aller im Jahr weltweit verkauften Tablet PCs.
Glas	-	Anzeige	66,53 g	15.275 t
Aluminium	Al	Gehäuse	56,59 g	12.994 t
Kupfer	Cu	Drähte, Legierung, elektromagnetische Abschirmung, Leiterplatten, Lautsprecher	40,79 g	9.366 t
Kunststoffe	-	Gehäuse	26,49 g	6.081 t
Kobalt	Co	Lithium-Ionen Akku	15,55 g	3.570 t
Magnesium	Mg	Gehäuse	13,57 g	3.116 t
Zinn	Sn	Lötpaste	3,19 g	732 t
Eisen (Stahl)	Fe	Gehäuse	2,44 g	559 t
Neodym	Nd	Magnete in Lautsprecher	0,60 g	137 t
Silber	Ag	Lötpaste, Leiterplatte	0,31 g	70 t
Wolfram	W	Vibrationsalarm	0,27 g	61 t
Praseodym	Pr	Magnete in Lautsprecher	0,15 g	34 t
Tantal	Ta	Kondensator	0,04 g	8,4 t
Gold	Au	Elektronische Komponenten, Leiterplatte	0,03 g	6,9 t
Indium	In	Anzeige	0,02 g	4,9 t
Palladium	Pd	Elektronische Komponenten, Leiterplatte	0,01 g	2,5 t
Yttrium	Y	LED-Hintergrundbeleuchtung	0,002 g	0,4 t
Gallium	Ga	LED-Hintergrundbeleuchtung	0,002 g	0,4 t
Gadolinium	Gd	LED-Hintergrundbeleuchtung	0,001 g	0,2 t
Europium	Eu	LED-Hintergrundbeleuchtung	0,0003 g	0,07 t
Cerium	Ce	LED-Hintergrundbeleuchtung	0,0001 g	0,02 t
Andere	-	Keramik, Halbleiter	204,43 g	46.938 t
			<b>431 g</b>	<b>98.958 t</b>

Daten und Quellen:

- Durchschnittsgewicht: 432 g (eigene Analyse aktueller Modelle)
- Gewichts-% des Akku: 24,3% der 7-9-Zoll Tablets; 27,3% der 9-11-Zoll Tablets (Schischke et al. 2014)
- Gewichts-% der Leiterplatte: 8,2% der 7-9-Zoll Tablets; 5,6% der 9-11-Zoll Tablets (Schischke et al. 2014)
- Durchschnittliche Displaygröße: 307,6 cm<sup>2</sup> (eigene Analyse aktueller Modelle)
- Glasanteil des Displays: 66,53 g (eigene Analyse aktueller Modelle)
- Kupfer-Konzentration: 12,8% des Geräts ohne Akku (Hagelüken und Buchert 2008)
- Zinn-Konzentration: 1,0% des Geräts ohne Akku (Hagelüken und Buchert 2008)
- Indium-Anteil: 700 mg pro m<sup>2</sup> display (Buchert et al. 2012)
- Kobalt-Anteil des Akkus: 13,8% (Buchert et al. 2012)
- Gewicht des Wolfram-enthaltenden Bauteils des Vibrationsalarms: 0,28 g (eigene Analyse aktueller Modelle)
- Gesamtgewicht eines Tantal-Kondensators: 0,10 g (eigene Analyse aktueller Modelle)
- Tantal-Gehalt eines Tantal-Kondensators: 36,7% (Buchert et al. 2012)

Annahmen:

- Konzentrationen von Al, Fe, Mg, Glas und Kunststoffe nach Schischke et al. (2014)
- Zusätzliches Fe ist in den Lautsprechern enthalten (siehe oben)
- Die Konzentrationen von Y, Ga, Gd, Eu, Ce nach Buchert et al. (2012) für Notebooks mit LED-Hintergrundbeleuchtung, linear abnehmend mit abnehmender Displaygröße.
- Wolframkonzentration des W-haltigen Bauteils im Vibrationsalarm: 95%

- 
- Gesamtgewicht eines NdFeB-Magnets: 2,4 g (eigene Analyse aktueller Modelle)
  - Zusammensetzung eines NdFeB-Magnets: Fe=68,0%; Nd=24,8%; Pr=6,2%; B=1,0% (Buchert et al. 2012)
  - Daten zu Au, Ag und Pd Konzentrationen nach Buchert et al. (2012)
- 

Die Analyse zeigt, dass Glas (15,4 %), Aluminium (13,1 %), Kupfer (9,5 %) und Kunststoffe (6,1 %) die größten Massenanteile an einem Tablet-PC ausmachen, gefolgt von Kobalt (3,6 %), Magnesium (3,2 %), Zinn (0,7 %) und Eisen (0,6 %). Des Weiteren spielen Edelmetalle wie Gold (0,01 %) und Silber (0,07 %) oder Seltene Erden wie Neodym (0,13 %) als Technologiemetalle eine wichtige Rolle.

Im Folgenden werden zwei Rohstoffe beispielhaft weiterverfolgt. Diese sind zum einen das Technologiemetall Neodym, zum anderen Zinn (siehe auch Anhang 8.7 und 8.9).

#### 4.1.4.3. Szenario-Annahmen und Megatrends

Für das Business-as-Usual (BAU) Szenario im IKT-Sektor werden folgende Annahmen getroffen. Aufgrund der sehr großen Dynamik dieses Sektors und hohen Unsicherheiten bezüglich der technologischen, ökologischen sowie sozialen Entwicklungen, werden diese stark vereinfacht. Als Basisjahr für die Szenarien wird das Jahr 2013 angenommen.

- Die industrielle Produktion der IKT-Produkte wächst bis zum Jahr 2049 kontinuierlich um 1 % pro Jahr.
- Die ökologische sowie soziale Situation bei der Primärgewinnung der Rohstoffe für IKT-Produkte bleibt unverändert.
- Die aktuelle Situation der Recyclingwirtschaft bleibt unverändert.
- Die Anteile des spezifischen Rohstoffeinsatzes in die IKT-Produkte bleiben unverändert.
- Die Situation bezüglich des Einsatzes von Sekundärrohstoffen oder zertifizierten Rohstoffen bleibt unverändert.

Gegenüber diesen Annahmen für das BAU-Szenario werden folgende Annahmen für ein Rohstoffwende-Szenario (RW) getroffen:

- Im Jahr 2049 sind zertifizierte Primärrohstoffe auf dem Markt verfügbar.
- In der Produktion von IKT-Produkten wird zertifiziertes Primärmaterial eingesetzt, und zwar in folgenden Anteilen:
  - 10 % des Primäreinsatzes in 2025
  - mind. 80 % des Primäreinsatzes in 2049
- Die Nachfrage nach Primärmaterial schwächt sich ab durch eine Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT-Geräten um 50 % in 2049 gegen über 2013.
- Eine ambitionierte Recyclingwirtschaft wird eingeführt (vgl. Tabelle 4-3).

**Tabelle 4-3: Anteile an eingesetztem Sekundärmaterial in einer ambitionierten Recyclingwirtschaft**

Jahre	Neodym	Zinn
2013	0 %	20 %
2025	5 %	25 %
2049	30 %	40 %

Die rohstoffspezifischen Szenario-Ergebnisse werden in Abschnitt 4.2 dargestellt.

An dieser Stelle sollten folgende Megatrends festgehalten werden:

- Im IKT-Sektor wird im Zeitraum bis 2049 der Einsatz von Technologiemetallen notwendig sein,
- Im IKT-Sektor werden keine Massenrohstoffe nachgefragt,
- Auf den vorgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette gibt es ökologische und soziale HotSpots (siehe Abschnitte 3.2 und 3.3).

Die zentralen Instrumente und Maßnahmen zur Umsetzung der Rohstoffwende liegen im IKT-Sektor (1) in der Umsetzung von Projekten des nachhaltigen Bergbaus (Zertifizierung-Initiativen) in Verbindung mit unternehmerischen Sorgfaltspflichten („Due Diligence“, siehe Abschnitt 6.4.1 sowie (2) der Verlängerung der Lebensdauer von IKT-Produkten (siehe Abschnitt 6.4.2).

## 4.2. Ausgewählte rohstoffspezifische Szenarioergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln werden die Szenario-Ergebnisse für das Business-As-Usual-Szenario und das Rohstoffwende-Szenario für die Rohstoffe Neodym, Zinn, Kies, Natursteine und Stahl ausgeführt.

### 4.2.1. Neodym

Neodym ist ein Technologiemetall, welches - im Vergleich zu den Massenrohstoffen - nur in geringen Mengen eingesetzt wird. Das Seltenerdelement Neodym gehört zu der Gruppe der leichten Seltenen Erden. Neodym hat in den letzten Jahren vor allem als Legierungsbestandteil von Permanentmagneten zunehmend an Bedeutung gewonnen. In Kombination mit Eisen und Bor (Neodym-Eisen-Bor Magnete) lassen sich die derzeit stärksten Permanentmagnete herstellen und kommen z. B. zur Permanenterregung von Generatoren in Windkraftanlagen oder in Elektromotoren von E-Fahrzeugen zum Einsatz. Weitere Beispiele sind Magnete in Computerfestplatten oder die kleinsten Magnete in Smartphones. Darüber hinaus wird Neodym auch bei Lasertechnologien angewendet. (Europäische Kommission, 2014).

Bei Maßnahmen für eine Rohstoffwende wird für Neodym an dessen spezifischen HotSpots in der Wertschöpfungskette angesetzt. Dazu wird eine vereinfachte Risikoanalyse zu den Dimensionen Ökonomie (Versorgungsrisiko, Recycling), Ökologie (Radioaktivität und Schwermetalle) sowie Soziales (Korruption und Arbeitssicherheit) durchgeführt.

## Ausgangspunkt

Neodym wird zu 95 % in China gewonnen (Schüler et al., 2015). Da das Recycling nach UNEP (2013) unter 1 % liegt<sup>17</sup>, wird der Neodymbedarf heute praktisch vollständig aus Primärmaterial gedeckt. Die nahezu monopolartige Versorgungsstruktur (95 % aus China) führt zu einem hohen Versorgungsrisiko. Die Preise der Seltenen Erden zeichnen sich in den vergangenen Jahren durch besonders starke Schwankungen aus.

Die ökologischen Kriterien „Risiko Radioaktivität“ und „Risiko Schwermetalle“ sind ebenfalls als relevante HotSpots eingestuft. Die Verarbeitung des Ausgangsmaterials benötigt große Mengen an Wasser und Chemikalien. Übrig bleiben große Mengen toxisch belasteter Schlämme.

Zusätzliche Probleme beim Umgang mit Abfällen aus der Neodymgewinnung entstehen aufgrund der Belastung durch radioaktive Begleitelemente wie Thorium.

Des Weiteren werden die sozialen Kriterien „Korruptionsrisiko<sup>18</sup>“ und „Arbeitssicherheit<sup>19</sup>“ als HotSpot bewertet. Nach Moss et al. (2013) wurde der Anteil des weltweiten IKT-Sektors am globalen Neodymbedarf mit 18 % beziffert. Die HotSpots für Neodym werden zusammenfassend in folgender Tabelle abgebildet und in Würfel form visuell dargestellt.

**Tabelle 4-4: HotSpots Neodym (Stand 2013)**

Metall	Ökonomische HotSpots	Ökologische HotSpots	Soziale HotSpots
<b>Neodym</b> Anteil IKT-Sektor am Neodymbedarf: 18 % (Moss et al., 2013)	<b>Versorgungsrisiko:</b> Hoch  <b>Produktion:</b> 95 % werden in China produziert (Schüler et al. 2015)  <b>Recycling:</b> <1 % (UNEP, 2011)	<b>Risiko Radioaktivität:</b> Hoch <sup>20</sup>  <b>Risiko Schwermetall:</b> Hoch <sup>21</sup>	<b>Korruptionsrisiko:</b> Mittel-Hoch <sup>22</sup>  <b>Risiko Arbeitssicherheit:</b> Hoch

Quelle: Eigene Zusammenstellung Öko-Institut e.V.

<sup>17</sup> Dies bedeutet, dass weniger als 1 % des Neodyms, welches in den Abfallstrom gelangt, recycelt wird.

<sup>18</sup> Einstufung nach Korruptionskontrolle der wichtigsten Förderländer nach Worldbank (Worldwide Governance Indicator – WGI; <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#reports>)

<sup>19</sup> Das Risiko Arbeitssicherheit geht auf die Radioaktivität zurück.

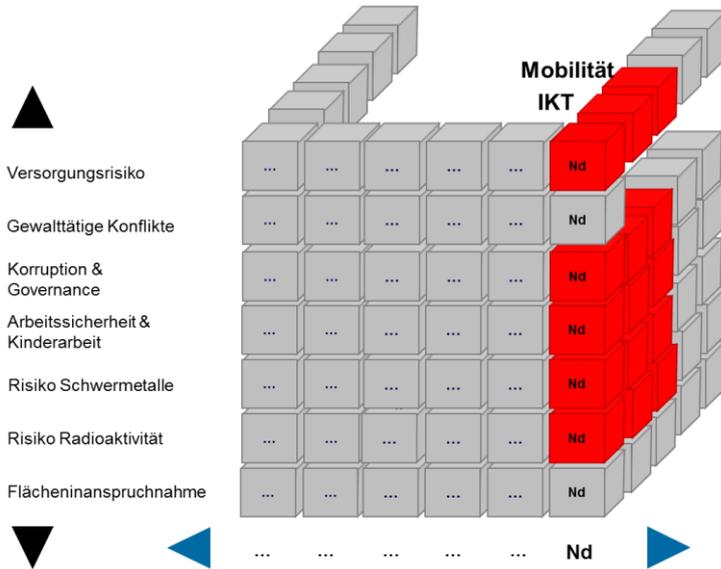
<sup>20</sup> Das Risiko, dass die radioaktiven Substanzen Thorium und Uran mit Seltenen Erden vergesellschaftet ist, orientiert sich an den Schwellenwerten 49 ppm Thorium sowie 24 ppm für Uran. Hintergrund ist, dass sich Substrate mit Konzentrationen über diesen Schwellenwerten nicht für den Siedlungsbau eignen, weil die Strahlungs-dosis 1 mSv/a übersteigen würde (vgl. Schmidt, 2014).

<sup>21</sup> Der Rohstoff wird zumeist aus Lagerstätten gewonnen, in denen Schwermetalle wie Blei, Quecksilber, Kadmium, Chrom, Kupfer, Uran und Nickel als Haupt- oder Nebenprodukte gewonnen werden können.

<sup>22</sup> Der Schwellenwert für eine niedrige Korruptionskontrolle wurde auf <45 % des Korruptionsindex der Weltbank (s.o.) festgelegt.

In den betrachteten Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten, Mobilität und IKT wurde Neodym in den Bedürfnisfeldern IKT und Mobilität als relevant eingestuft und entsprechend in den Szenarien Business-As-Usual und Rohstoffwende betrachtet.

**Abbildung 4-19: HotSpots Neodym**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

### Rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende 2049

Neodym wird nicht als Massenrohstoff eingesetzt. Daher liegt das Hauptaugenmerk der Zielsetzung in der Erreichung einer nachhaltigen Primärgewinnung und dem Einsatz von **zertifiziertem Primärmaterial** bis zum Jahr 2049. Ziel der Rohstoffwende ist es, den im Jahr 2049 nachgefragten Primärrohstoff zu 80 % aus zertifiziertem Primärmaterial zu decken. Konkrete Maßnahmen und Instrumente zur Erreichung dieses Ziels werden in Kapitel 6 dargestellt. Weiterhin sollen Unternehmen verpflichtend angehalten werden, eine verbindliche Identifikation von menschenrechtlichen Risiken sowie Umweltrisiken durchzuführen („Due Dilligence“).

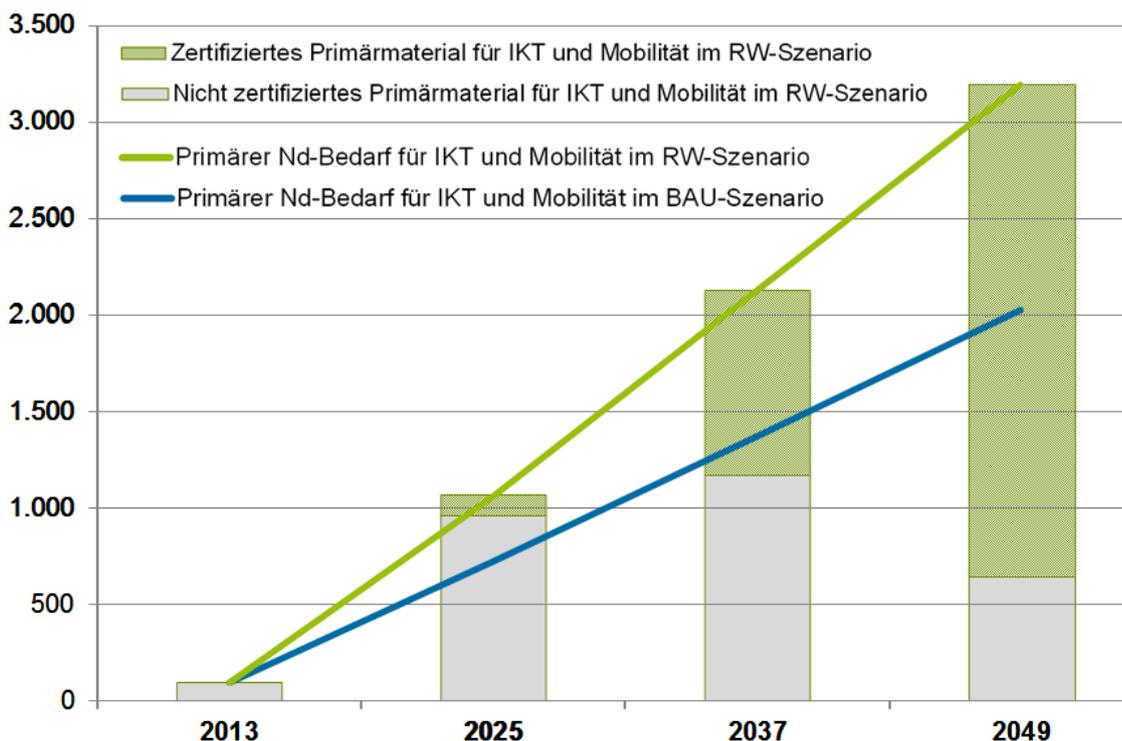
Des Weiteren wird an der Reduzierung des benötigten Neodyms aus der Primärroute angesetzt. Dies bezieht sich zum einen auf die Steigerung des **Einsatzes von Sekundärmaterial** von 0 % heute auf 30 % in 2049. Die Instrumente zu einer Optimierung der Neodym-Recyclingwirtschaft werden in Abschnitt 6 detailliert erläutert. Zum anderen wird im Bedürfnisfeld IKT im Rohstoffwende-Szenario von einer Verlängerung der **Nutzungsdauer** der IKT-Produkte um 50 % ausgegangen. Notwendige Maßnahmen sind zum einen Mindestanforderungen an die Lebensdauer, Standardisierung und Normung der IKT-Produkte sowie Mindestanforderungen an die Software (Modularität, Bereitstellung von Treibersoftware etc.). Darüber hinaus stehen hier eine verbesserte Reparaturfähigkeit sowie neue Servicemodelle der Hersteller im Mittelpunkt. Substitution kann ebenfalls zur Reduktion des Materialbedarfs führen. Dieser Bereich wurde im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht. Das derzeit laufende Projekt „Substitution als Strategie zur Minderung der Kritikalität von Rohstoffen für Umwelttechnologien (SubSKrit)“ bearbeitet dieses Thema vertieft.

### Szenario-Ergebnisse

Es wurden zwei Szenarien für den Neodymbedarf in Deutschland bis zum Jahr 2049 erarbeitet, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind: Zum einen ein Business-As-Usual-Szenario (BAU; blaue Linie) und zum anderen ein Rohstoffwende-Szenario (RW; grüne Linie). Da der Einsatz von Neodym für Umwelttechnologien wie z. B. Elektrofahrzeuge von großer Bedeutung ist, zeigen beide Szenarien einen steigenden Bedarf – im Rohstoffwende-Szenario ist der Anstieg steiler. Die blaue Kurve zeigt den nationalen Neodymbedarf aus Primärrohstoffquellen im BAU-Szenario in den Bedürfnisfeldern IKT und Mobilität. Da im BAU-Szenario die Recyclingrate von <1 % fortgeschrieben wird, ist der gesamte Neodymbedarf aus Primärrohstoffen zu decken. Des Weiteren wird im BAU-Szenario angenommen, dass kein zertifiziertes Primärmaterial auf dem Markt zur Verfügung steht.

Im Rohstoffwende-Szenario steigt der primäre Neodymbedarf stärker an als im BAU-Szenario. Im Jahr 2049 werden im Rohstoffwende-Szenario der Bedürfnisfelder IKT und Mobilität ca. 1.200 t primäres Neodym mehr nachgefragt (+58 %) als im Business-As-Usual-Szenario. Dies beruht auf einem erhöhten Neodymbedarf durch eine weitgehende Elektrifizierung der Antriebe von Pkw etc. Für das RW-Szenario sind bereits 30 % Sekundärmaterial in 2049 berücksichtigt. Die gesteigerte Recyclingrate kann den erhöhten Bedarf durch die weitgehende Elektrifizierung im Straßenverkehr allerdings nicht kompensieren. Der entscheidende Ansatz zur Reduktion der negativen Auswirkungen im Rohstoffwende-Szenario liegt in nachhaltig produziertem zertifiziertem Primärmaterial. In 2049 werden 80 % des benötigten Primärmaterials durch zertifiziertes Primärmaterial gedeckt (siehe grüne Säule). Dadurch sinkt im Rohstoffwende-Szenario bis 2049 der Einsatz nicht-zertifizierten Primärmaterials (graue Säule) deutlich im Vergleich zum BAU-Szenario.

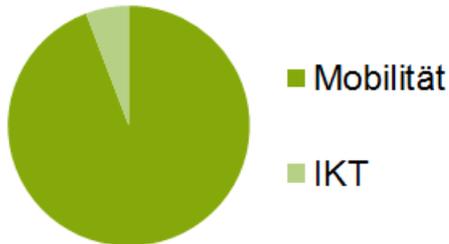
**Abbildung 4-20: Primärer Neodymbedarf in den Bedürfnisfeldern IKT und Mobilität in Deutschland (in t/a)**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Betrachtet werden hier ausschließlich die beiden Bedürfnisfelder IKT und Mobilität. Im Jahr 2013 liegt der Neodymbedarf des Mobilitätssektors noch bei nahezu 0 t. Der Gesamtbedarf geht hauptsächlich auf den IKT-Sektor zurück. Bis 2049 kehrt sich dieses Bild um. In 2049 verteilt sich der Anteil des primären Neodymbedarfs im Rohstoffwende-Szenario auf 95 % im Mobilitätssektors und auf 5 % im IKT-Sektor (siehe folgende Abbildung).

**Abbildung 4-21: Anteile primärer Neodymbedarf im Rohstoffwende-Szenario in 2049**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Die Ansatzpunkte der rohstoffspezifischen Ziele für Neodym lassen auf viele Technologiemetalle übertragen.

#### 4.2.2. Zinn

Zinn fällt ebenfalls unter die Nicht-Massenrohstoffe. Im Rahmen der untersuchten Bedürfnisfelder wurde Zinn im Bedürfnisfeld IKT als relevant eingestuft. Hierbei ist die Hauptanwendung die Lötverbindung.

Als HotSpots – also besonders relevante negative Auswirkungen bzw. Risiken – wurden bei der Zinngewinnung sowohl ökonomische als auch soziale und ökologische Kategorien identifiziert.

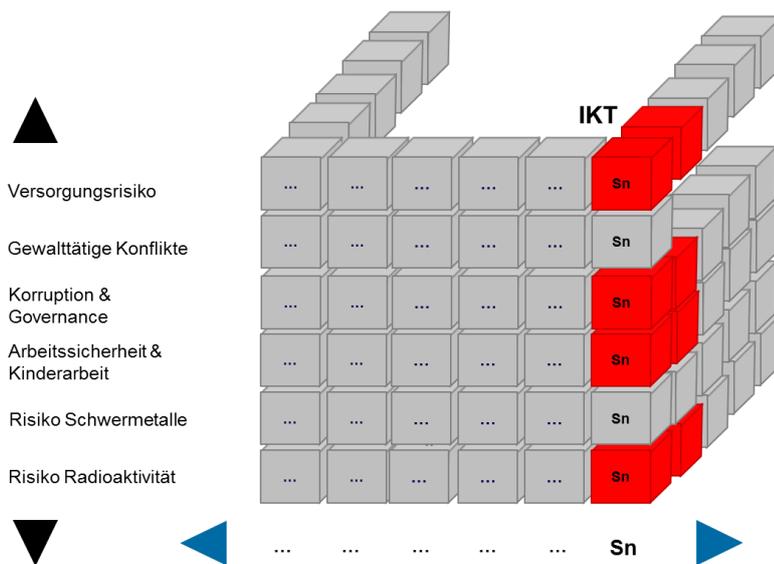
In der ökonomischen Nachhaltigkeitsdimension ist das Versorgungsrisiko als relevant einzustufen. Auch wenn Zinn in der aktuellen Studie der Europäischen Kommission aus 2014 noch als „non-critical raw material“ eingestuft wurden – hält das Projektteam das Versorgungsrisiko in diesem Fall für relevant und weicht von der Einstufung der Europäischen Kommission ab.<sup>23</sup>

In der sozialen Dimension zeigen sich die Risiken in den Kategorien Korruption & Governance sowie Arbeitssicherheit & Kinderarbeit als besonders relevant. Das Risiko der Radioaktivitätsbelastung bildet den HotSpot in der ökologischen Nachhaltigkeitsdimension.

In der folgenden Abbildung sind die HotSpots anhand des Rohstoffwürfels visualisiert.

<sup>23</sup> Siehe auch DERA Rohstoffsituation „Zinn – Angebot und Nachfrage bis 2020“ ([http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-20.pdf;jsessionid=0497068ED39D636DC2C21D90B2E1C775.1\\_cid284?\\_blob=publicationFile&v=9](http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-20.pdf;jsessionid=0497068ED39D636DC2C21D90B2E1C775.1_cid284?_blob=publicationFile&v=9))

Abbildung 4-22: HotSpots von Zinn im Rohstoffwürfel



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

### Rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende 2049

Zinn - ebenso wie Neodym - wird nicht als Massenrohstoff eingesetzt. Daher liegt das Hauptaugenmerk der Zielsetzung in der Erreichung einer nachhaltigen Primärgewinnung und dem Einsatz von **zertifiziertem Primärmaterial** bis zum Jahr 2049. Ziel der Rohstoffwende ist es, den im Jahr 2049 nachgefragten Primärrohstoff zu 80 % aus zertifiziertem Primärmaterial zu decken. dargestellt. Weiterhin sollen Unternehmen verpflichtend angehalten werden, eine verbindliche Identifikation von menschenrechtlichen Risiken sowie Umweltrisiken durchzuführen („Due Dilligence“).

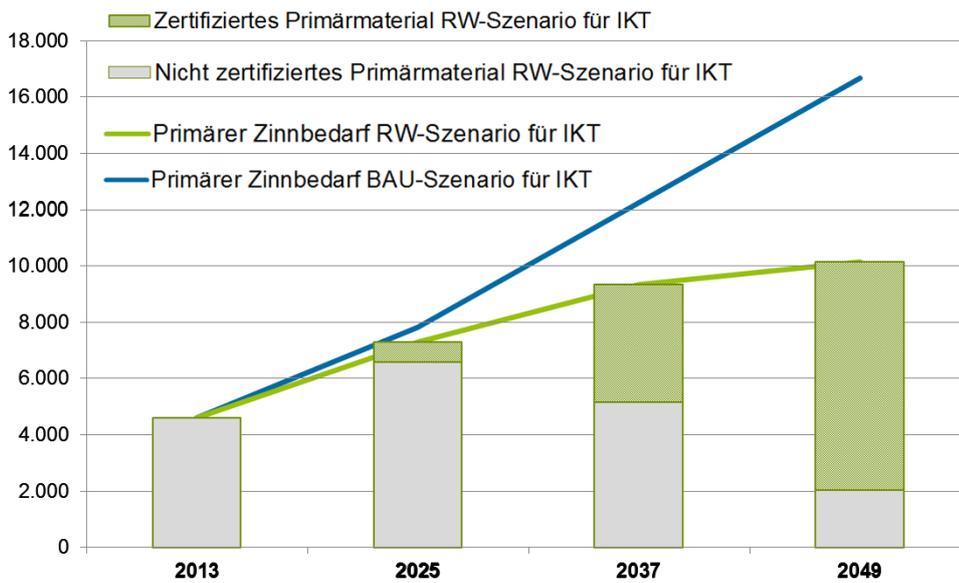
Des Weiteren wird an der Reduzierung des benötigten Zinns aus der Primärroute angesetzt. Dies bezieht sich zum einen auf die Steigerung des **Einsatzes von Sekundärmaterial** von 20 % heute auf 40 % in 2049. Weitere Analysen sind notwendig, um Hemmnisse und Maßnahmen hin zu einer Optimierung der Zinn-Recyclingwirtschaft zu identifizieren. Zum anderen wird im Bedürfnisfeld IKT im Rohstoffwende-Szenario von einer Verlängerung der **Nutzungsdauer** der IKT-Produkte um 50 % ausgegangen. Notwendige Maßnahmen sind zum einen Mindestanforderungen an die Lebensdauer, Standardisierung und Normung der IKT-Produkte sowie Mindestanforderungen an die Software (Modularität, Bereitstellung von Treibersoftware etc.). Darüber hinaus stehen hier eine verbesserte Reparaturfähigkeit sowie neue Servicemodelle der Hersteller im Mittelpunkt.

### Szenario-Ergebnisse

Es wurde sowohl das BAU- als auch das RW-Szenario für den Zinnbedarf in Deutschland bis zum Jahr 2049 erarbeitet. Die Szenario-Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung illustriert. Der Einsatz von Zinn ist in IKT-Produkten von großer Bedeutung und zeigt in beiden Szenarien einen steigenden Bedarf. Der steigende Bedarf ist auf den erhöhten Einsatz in bleifreien Loten zurückzuführen. Die blaue Kurve zeigt den nationalen Zinnbedarf aus Primärrohstoffquellen im BAU-Szenario im Bedürfnisfeld IKT. Im BAU-Szenario wird der Einsatz von 20 % Sekundärmaterial bis 2049 auf dem gleichen Niveau beibehalten. Des Weiteren wird im BAU-Szenario angenommen, dass kein zertifiziertes Primärmaterial auf dem Markt zur Verfügung steht.

Im Rohstoffwende-Szenario (grüne Linie) steigt der primäre Zinnbedarf schwächer als im BAU-Szenario. Im Jahr 2049 wird im Rohstoffwende-Szenario im Bedürfnisfeld IKT ca. 6.500 t primäres Zinn weniger nachgefragt (-40 %) als im Business-As-Usual-Szenario. Dies wird erreicht durch die verlängerte Nutzungsdauer der IKT-Produkte und einen erhöhten Einsatz von Sekundärmaterial (40 % in 2049). Der entscheidende Ansatz zur Reduktion der negativen Auswirkungen im Rohstoffwende-Szenario liegt aber in nachhaltig produziertem zertifiziertem Primärmaterial. In 2049 werden 80 % des benötigten Primärmaterials durch zertifiziertes Primärmaterial gedeckt (siehe grüne Säule). Dadurch sinkt im Rohstoffwende-Szenario bis 2049 der Einsatz nicht-zertifizierten Primärmaterials (graue Säule) deutlich im Vergleich zum BAU-Szenario.

**Abbildung 4-23: Primärer Zinnbedarf im Bedürfnisfeld IKT in Deutschland (in t/a)**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e. V.

### 4.2.3. Kies

Kies ist nach Mengengesichtspunkten, neben Sand, der wichtigste Massenrohstoff in Deutschland. Er ist ein wichtiger Rohstoff für die Bauwirtschaft und wird dort vor allem als Zuschlagsstoff in Beton (Gesteinskörnung) sowie als Schüttgut im Erdbau eingesetzt. Es existieren noch weitere Anwendungen z. B. als Filterschicht oder als kapillarbrechende Schicht.

Als Massenrohstoff kann bei Kies eine Verminderung der Umweltauswirkungen im Wesentlichen nur über die Verringerung des Primärbedarfs erreicht werden. In der ökologischen Dimension weist Kies durch seinen Einsatz in großen Mengen ein Risiko für die Zerstörung des Landschaftsbilds und eine große Flächeninanspruchnahme auf.

Im Rahmen des Projektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“ wurde der Rohstoff Kies in den hier relevanten Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten und Mobilität betrachtet.

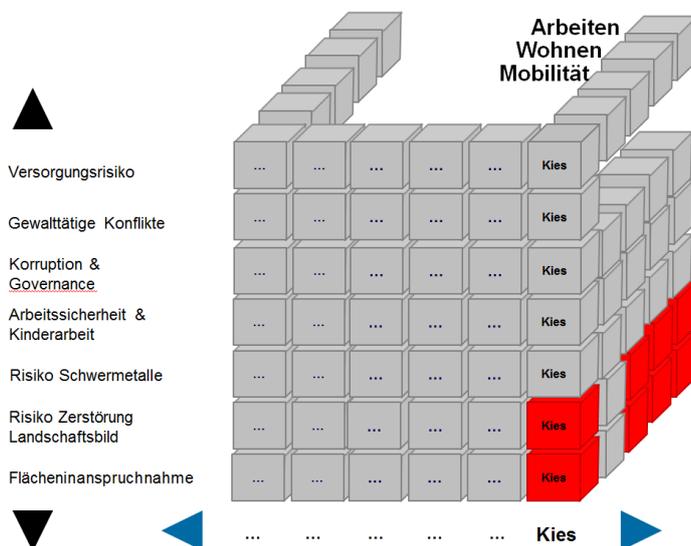
## Ausgangspunkt

Kies ist eine Sammelbezeichnung für gerundete Gesteins- oder Mineralkörner zwischen 2 und 63 mm. Ein hochwertiges Recycling bzw. eine hochwertige Wiederverwendung von Kies findet nur in geringem Umfang statt. Im Fall von Beton beträgt der Recycling-Anteil nur 0,4 % (Deilmann et al., 2014).

Auf Grund seines geringen spezifischen monetären Wertes und dem hohen Gewicht lohnen sich weite Transporte nicht und der deutsche Bedarf wird fast ausschließlich über inländische Förderung gedeckt. Hierdurch gibt es aktuell keine HotSpots in Bezug auf Versorgungsrisiko oder soziale Kriterien. Durch seinen Abbau in Kiesgruben (Tagebau) hat Kies aber Auswirkungen auf die Umwelt. Hier besteht insbesondere ein Risiko durch Flächeninanspruchnahme und ein Risiko zur Zerstörung des Landschaftsbildes.

Die HotSpots für Kies stellen sich in Würfelform wie folgt dar:

Abbildung 4-24: HotSpots Kies



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

## Rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende bis 2049

Kies hat in Deutschland aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Sicht keine HotSpots vergleichbar mit Neodym, die sich über die Verbesserung des Gewinnungsprozesses entscheidend lösen lassen. Da Kies ein Massenrohstoff ist, kann hier vor allem über die Dämpfung der nachgefragten Primärmenge eine Verringerung potenzieller negativer Auswirkungen erreicht werden. Aus diesem Grund werden für das Projekt „Rohstoffwende Deutschland 2049“ bei Kies nur Ziele zur Reduzierung der nachgefragten Primärmenge gesetzt.

Die Verringerung des Kies-Primärbedarfs soll einerseits über eine Steigerung des eingesetzten **Sekundärmaterialanteils** (Betonbruch ersetzt Kies) von 0,4 % auf fast 10 % in 2049 erreicht werden. Weiterhin soll eine signifikante Einsparung von Primärmaterial durch die Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden erreicht werden. Die jährlichen **Gebäudesanierungsraten** im Bedürfnisfeld Arbeiten sollen von 0,8 % heute auf 1 % in 2049 und im Bedürfnisfeld Wohnen von 1 % auf 3 % erhöht werden. Letzteres spart Beton und damit Kies ein, da die Betonstrukturen bei

der Sanierung erhalten bleiben. Erreicht werden soll die höhere Gebäudesanierungsrate z. B. durch die Einführung eines Gebäude-Checks (siehe Kapitel 6.3.1). Im Bedürfnisfeld Wohnen sollen zudem verstärkt Mehrfamilienhäuser gebaut werden (Anstieg des Anteils von 50 % auf 70 %), sodass weniger materialintensive Einfamilienhäuser gebaut werden müssen um die gleiche Wohnfläche bereitzustellen. Eine Verringerung des Ausbaus des Straßennetzes um 25 % soll ebenfalls den Rohstoff Kies einsparen.

### **Szenario-Ergebnisse:**

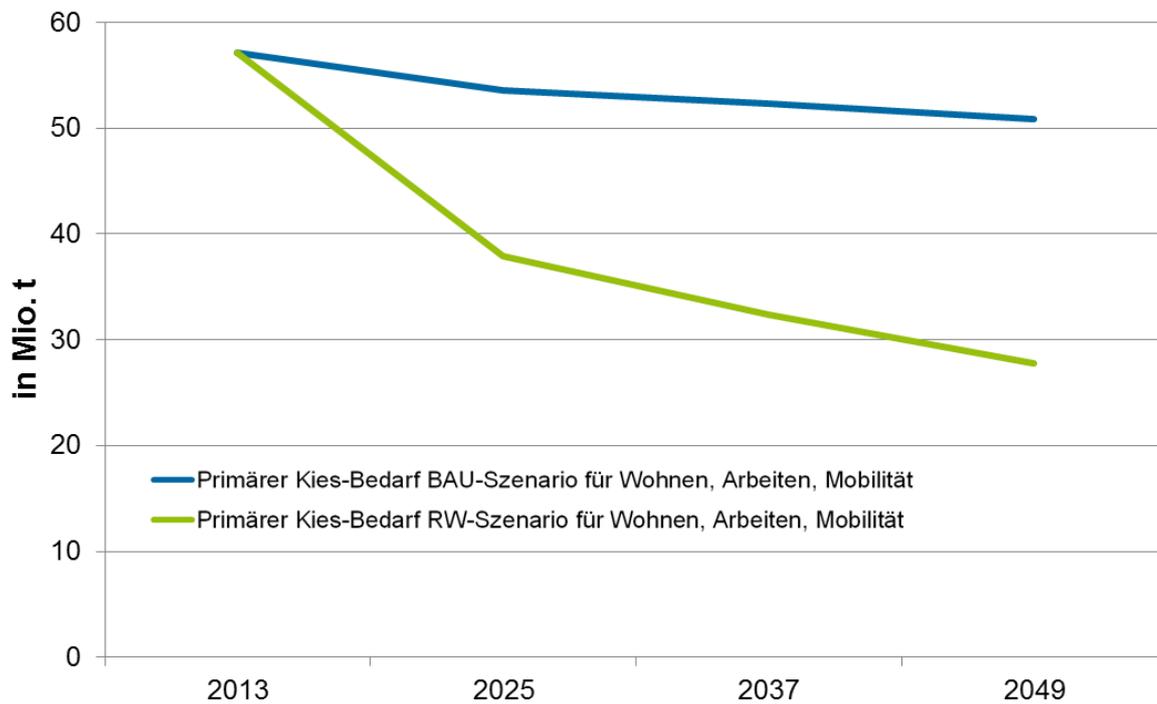
Es wurden zwei Szenarien für den Kiesbedarf in Deutschland bis zum Jahr 2049 berechnet, die in folgender Abbildung dargestellt werden: Zum einen ein Business-As-Usual-Szenario (BAU; blaue Linie) und zum anderen ein Rohstoffwende-Szenario (RW; grüne Linie). Die blaue Kurve zeigt den Kiesbedarf aus Primärrohstoffquellen im BAU-Szenario in den Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten und Mobilität. Da im BAU-Szenario die Recyclingrate für eine hochwertigen Einsatz von <1 % fortgeschrieben wird, ist praktisch der gesamte Kiesbedarf für den Hochbau aus Primärrohstoffen zu decken.

Im Rohstoffwende-Szenario sinkt der primäre Kiesbedarf stärker als im BAU-Szenario. Im Jahr 2049 werden im Rohstoffwende-Szenario durch die Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität ca. 23 Mio. t primärer Kies weniger nachgefragt (-45 %) als im BAU-Szenario (siehe Abbildung 4-25).<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich die gezeigten Daten ausschließlich auf Kies beziehen, d. h. Sand ist nicht inkludiert. Dieser Hinweis ist wichtig, da in den üblichen Rohstoffstatistiken Kies und Sand üblicherweise zusammen in Zahlenwerken dargestellt werden. Weiterhin decken die Szenarien hier weitere Einsatzbereiche von Kies wie z. B. Energie- und Wasser-/Abwasserinfrastruktur nicht ab.

**Abbildung 4-25: Primärer Kiesbedarf in den Sektoren Wohnen, Arbeiten, Mobilität in Deutschland (in Mio. t)**

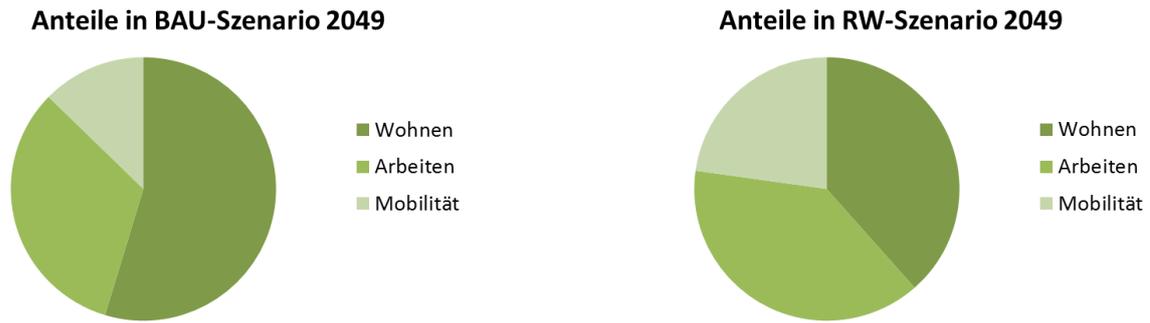


Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Betrachtet werden hier die drei relevanten Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität. Im Basisjahr 2013 liegt der Kiesbedarf des Bedürfnisfelds Wohnen bei 33,5 Mio. t, des Bedürfnisfelds Arbeiten bei 17,4 Mio. t und des Bedürfnisfelds Mobilität bei 6,1 Mio. t. Das Bedürfnisfeld Wohnen hat dabei mit fast 60 % den größten Anteil an den 57,1 Mio. t. Bis 2049 verkleinert sich dieser Anteil deutlich. Während das Bedürfnisfeld Mobilität immer noch 6,3 Mio. t benötigt (statt 6,4 Mio. t im BAU-Szenario), fällt der Bedarf des Bedürfnisfelds Wohnen auf 10,7 Mio. t (statt 27,8 Mio. t im BAU-Szenario) und hat damit die gleiche Größenordnung wie das Bedürfnisfeld Arbeiten mit 10,8 Mio. t (statt 16,6 Mio. t im BAU-Szenario). Die geringe Minderung im RW-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario für das Bedürfnisfeld Mobilität lässt sich vor allem durch den hohen Bedarf der Instandhaltung erklären, so dass eine deutliche Minderung des Ausbaus nur geringe Auswirkungen zeigt. Zudem sind neu gebaute Verkehrswege meist nicht Beton-, sondern Asphaltstraßen und benötigen vor allem Natursteine (Split-Anteil für Bitumen-Fahrbahnen).

Die Verteilung über die Bedürfnisfelder in 2049 im RW-Szenario beträgt etwa 20 % für das Bedürfnisfeld Mobilität und jeweils 40 % für die beiden anderen Bedürfnisfelder Wohnen und Arbeiten (siehe Abbildung 4-26).

**Abbildung 4-26: Zusammensetzung des Kiesbedarfs in 2049 nach Bedürfnisfeldern**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Die Ansatzpunkte der rohstoffspezifischen Ziele für Kies lassen sich auf Massenrohstoffe und viele Massenmetalle übertragen. Bei letzteren können zudem noch weitere HotSpots auftauchen, die durch weitere spezifische Ziele adressiert werden müssen.

#### 4.2.4. Natursteine

Natursteine sind nach Mengengesichtspunkten, nach der Gruppe aus Sand und Kies, der zeitwichtigste Massenrohstoff in Deutschland. Er wird, wie Kies und Sand, vor allem in der Bauwirtschaft verwendet und findet unter anderem Verwendung in Trag- und Deckschichten beim Straßenbau. Es existieren noch weitere Anwendungen z. B. als Filterschicht oder als kapillarbrechende Schicht.

Wie bei Kies kann bei Natursteinen eine Verminderung der Umweltauswirkungen durch den Abbau im Wesentlichen nur über die Verringerung des Primärbedarfs erreicht werden. In der ökologischen Dimension weisen Natursteine durch ihren Einsatz in großen Mengen ein Risiko für die Zerstörung des Landschaftsbilds und eine große Flächeninanspruchnahme auf.

Im Rahmen des Projektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“ wurde der Rohstoff Naturstein in den hier relevanten Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten und Mobilität betrachtet.

#### Ausgangspunkt

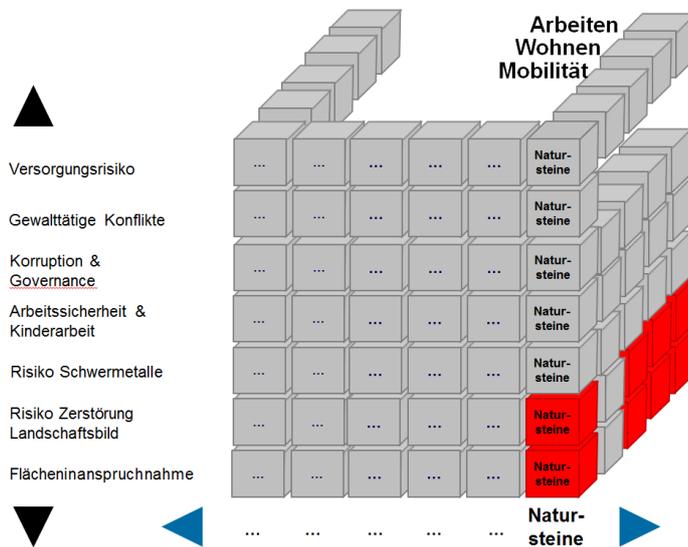
Naturstein ist eine Bezeichnung für alle Gesteine, welche in der Natur vorgefunden und abgebaut werden können. Dies beinhaltet große Steinblöcke oder Platten, welche in Form von Bodenbelag oder Fassadenverkleidung genutzt werden kann, aber auch gebrochenes Gestein in Form von Splitt oder Schotter, welcher unter anderem im Straßenbau Verwendung findet. Letzterer hat den größten Massenanteil an der Natursteineproduktion. Das Recycling findet heute in begrenztem Maße statt. Bei den Wohn- und Nichtwohngebäuden beträgt die Recyclingrate etwa 6 % (Deilmann et al., 2014). Im Straßenbau beträgt der Recyclinganteil im Asphalt etwa 25 %.

Wie Kies besitzen auch Natursteine in gebrochener Form einen geringen spezifischen monetären Wert sowie ein hohes Gewicht. Dies verhindert einen wirtschaftlichen Transport über hohe Strecken, weswegen der deutsche Bedarf auch bei Naturstein fast ausschließlich über inländische Produktion gedeckt wird. Ein HotSpot in Bezug auf Versorgungsrisiko oder soziale Kriterien ist deshalb nicht gegeben. Da der Abbau im Tagebau in Steinbrüchen geschieht, hat dies Auswirk-

ungen auf die Umwelt. Die Flächeninanspruchnahme und das Risiko der Zerstörung des Landschaftsbildes sind aus diesem Grund die HotSpots dieses Rohstoffs.

Die HotSpots für Natursteine stellen sich in Würfelform wie folgt dar:

Abbildung 4-27: HotSpots Natursteine



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

### Rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende bis 2049

Natursteine haben, wie Kies, in Deutschland aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Sicht keine HotSpots vergleichbar mit Neodym, die sich über die Verbesserung des Gewinnungsprozesses entscheidend lösen lassen. Da auch Natursteine ein Massenrohstoff sind, kann auch hier vor allem über die Dämpfung der nachgefragten Primärmenge eine Verringerung potenzieller negativer Auswirkungen erreicht werden. Aus diesem Grund werden für das Projekt „Rohstoffwende Deutschland 2049“ auch bei Natursteinen nur Ziele zur Reduzierung der nachgefragten Primärmenge gesetzt.

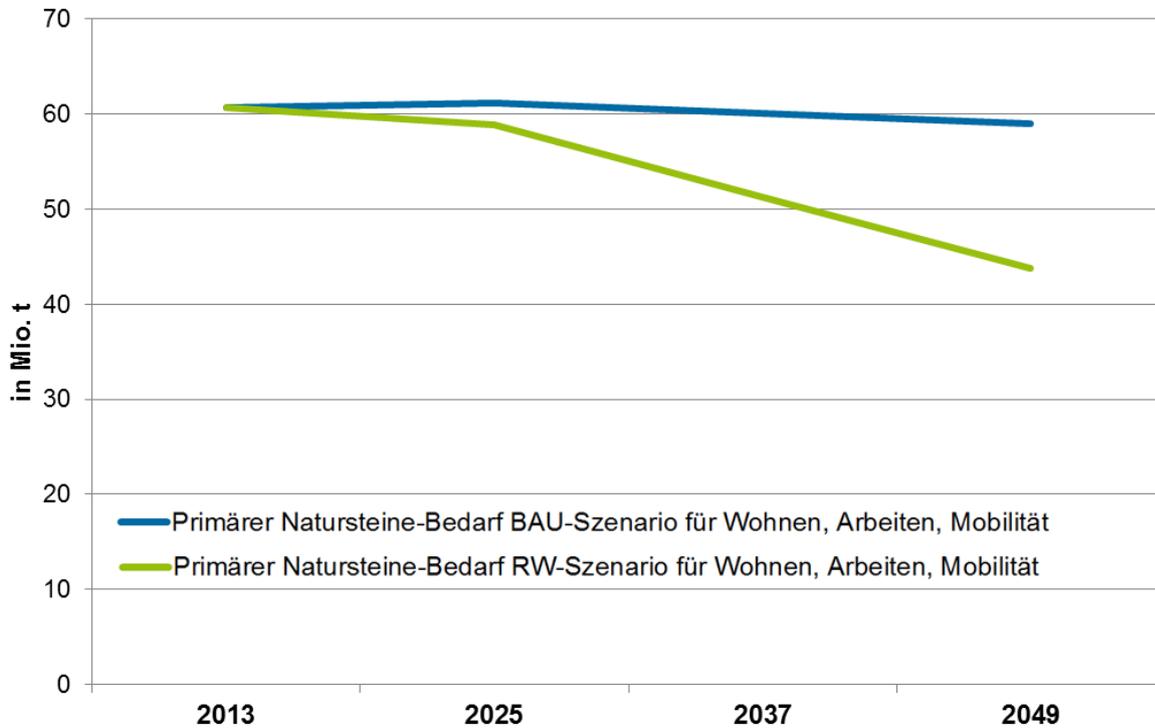
Die Verringerung des Natursteine-Primärbedarfs soll einerseits über eine Steigerung des eingesetzten **Sekundärmaterialanteils** von 6 % in 2013 auf fast 21 % in 2049 im Bereich Wohnen und Arbeiten und von 25 % auf 75 % für Asphalt im Bereich Mobilität in 2049 erreicht werden. Die jährlichen **Gebäudesanierungsraten** im Bedürfnisfeld Arbeiten sollen von 0,8 % heute auf 1 % in 2049 und im Bedürfnisfeld Wohnen von 1 % auf 3 % erhöht werden. Eine Verringerung des Ausbaus des Straßennetzes um 25 % soll ebenfalls den Rohstoff Natursteine einsparen.

### Szenario-Ergebnisse:

Es wurden zwei Szenarien für den Natursteinebedarf in Deutschland bis zum Jahr 2049 berechnet, die in folgender Abbildung dargestellt werden: Zum einen ein Business-As-Usual-Szenario (BAU; blaue Linie) und zum anderen ein Rohstoffwende-Szenario (RW; grüne Linie). Die blaue Kurve zeigt den Natursteinebedarf aus Primärrohstoffquellen im BAU-Szenario in den Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten und Mobilität. Da im BAU-Szenario die Recyclingraten von 6 % (Wohnen/Arbeiten) bzw. 25 % (Asphalt im Bedürfnisfeld Mobilität) fortgeschrieben werden, ist der größte Anteil des Natursteinebedarfs aus Primärrohstoffen zu decken.

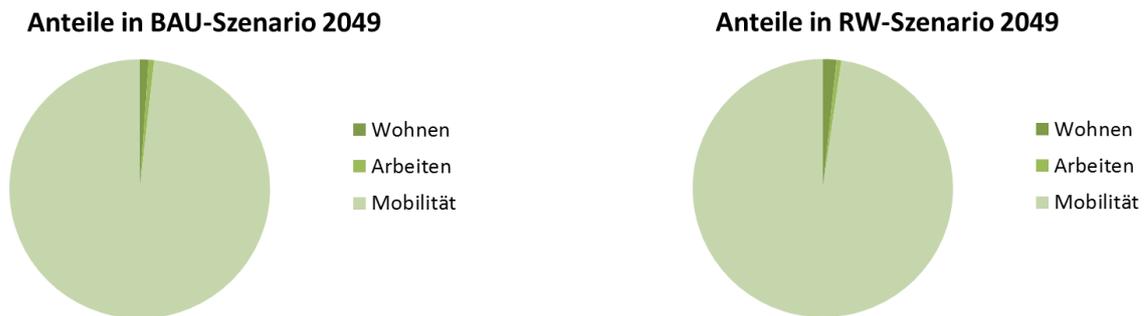
Im Rohstoffwende-Szenario sinkt der primäre Natursteinebedarf stärker als im BAU-Szenario. Im Jahr 2049 werden im Rohstoffwende-Szenario durch die Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität rund 15 Mio. t primäre Natursteine weniger nachgefragt (-26 %) als im BAU-Szenario (siehe Abbildung 4-28).

**Abbildung 4-28: Primärer Natursteinebedarf in den Sektoren Wohnen, Arbeiten, Mobilität in Deutschland (in Mio. t)**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Für Natursteine sind hier die drei relevanten Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität betrachtet. Im Basisjahr 2013 liegt der Natursteinebedarf des Bedürfnisfelds Wohnen bei knapp 0,8 Mio. t, des Bedürfnisfelds Arbeiten bei gut 0,4 Mio. t und des Bedürfnisfelds Mobilität bei rund 59,6 Mio. t. Bis 2049 verkleinert sich dieser Anteil nur marginal. Das Bedürfnisfeld Mobilität weist eine deutliche Bedarfssenkung auf 42,7 Mio. t (statt 57,9 Mio. t im BAU-Szenario) auf. Der Bedarf des Bedürfnisfelds Wohnen sinkt nur geringfügig auf 0,7 Mio. t und ist in beiden Szenarien fast gleich. Im Bedürfnisfeld Arbeiten sinkt der Bedarf verhältnismäßig stark auf 0,3 Mio. t (statt weiterhin 0,4 Mio. t im BAU-Szenario), was aber im Vergleich zum Gesamtbedarf vernachlässigbar ist. Im Gegensatz zum Kies sind die Bedarfsänderungen bei den Natursteinen für das Bedürfnisfeld Mobilität sehr deutlich, für die anderen beiden Bedürfnisfelder aber nur sehr gering. Letzteres liegt am geringen Anteil von nur 2 % am Gesamtbedarf. Die Verteilung des Bedarfs der Bedürfnisfelder für die beiden Szenarien ist in Abbildung 4-29 dargestellt.

**Abbildung 4-29: Zusammensetzung des Natursteinebedarfs in 2049 nach Bedürfnisfeldern**


Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Die hohen Einsparungen für den Rohstoff Natursteine im Rohstoffwende-Szenario resultieren einerseits aus der Einsparung des Neubaus von Verkehrsstrecken und andererseits aus der Erhöhung des Asphaltrecyclings von 25 % auf 75 %. Letzteres hat die größeren Auswirkungen, da der Neubau im Gegensatz zur Bestandserhaltung einen deutlich geringeren Bedarf verursacht.

Obwohl Kies und Natursteine im nächsten Kapitel in das gleiche Cluster eingeordnet werden, zeigt sich, dass ähnliche Ziele unterschiedliche Auswirkungen haben. Während beim Kies die Bestandserhaltung der Gebäude starke Minderungen des Primärbedarfs zur Folge hat, kann bei Natursteinen vor allem durch die Erhöhung des Recyclings von Asphalt eine starke Senkung des Bedarfs erreicht werden. Die generellen Ansatzpunkte der rohstoffspezifischen Ziele, also Verminderung des Neubaus und Erhöhung des Recyclings, lassen sich dennoch gut auf andere Massenrohstoffe und viele Massenmetalle übertragen. Bei letzteren können zudem noch weitere HotSpots auftauchen, die durch weitere spezifische Ziele adressiert werden müssen.

#### 4.2.5. Stahl

Stahl ist in Deutschland mit einem Bedarf von fast 40 Mio. t das massenmäßig wichtigste Metall. Wichtigste Anwendungsfelder sind der Baubereich mit knapp einem Drittel und die Automobilindustrie mit einem weiteren Viertel. Weitere Anwendungen sind der Maschinenbau, die Metallwarenproduktion und die Herstellung von Rohren.

Anders als bei den beiden Massenrohstoffen Kies und Natursteinen besteht bei der Förderung von Eisenerz noch Potenzial um die Emissionssituation zu verbessern. Dies bezieht sich auf die Behandlung der Abfallschlämme, welche in Rückhaltebecken gelagert werden. Hier kann es zu Katastrophen kommen, die massive Emissionen von Schwermetallen zur Folge haben und ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen nach sich ziehen. Der größere Hebel ist trotzdem die Verminderung des Primärbedarfs, um vor allem die Emissionen die zur Klimaerwärmung und zur Versauerung beitragen zu senken.

Im Rahmen des Projektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“ wurde der Rohstoff Stahl in den hier relevanten Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten und Mobilität betrachtet.

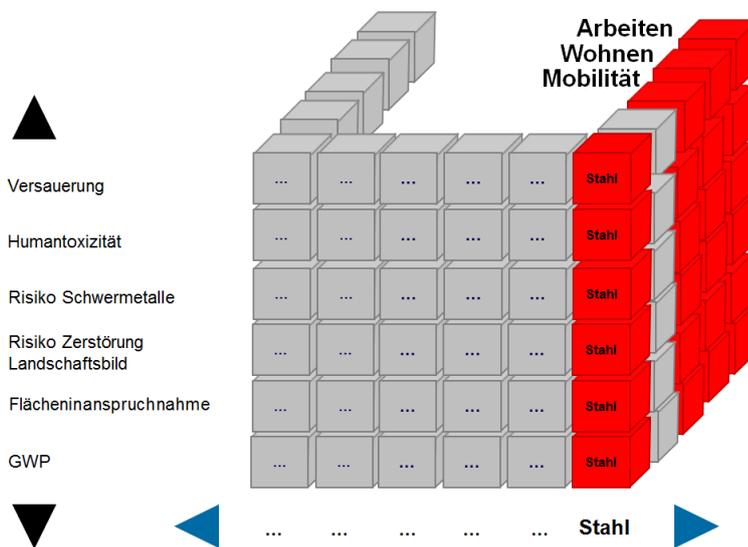
## Ausgangspunkt

Stahl ist die Bezeichnung für metallische Legierungen deren Hauptbestandteil Eisen, das zweithäufigste Metall der Erdkruste, ist. Stahl ist die Hauptanwendungsform von Eisen und der meistverwendete metallische Werkstoff überhaupt. Das Recycling von Stahl ist durch seine lange Tradition der Anwendung, das dadurch akkumulierte Lager und die etablierten Recyclingstrukturen entsprechend hoch. Dies führt zu einem Beitrag des Sekundärstahls von etwa 45 % zur Gesamtrohstahlproduktion (BGR, 2015).

Im Gegensatz zu Kies und Natursteinen hat Stahl einen höheren monetären Wert, sodass längere Transportwege üblich sind, weshalb Stahl global gehandelt wird. Deutschland hat zwar einen hohen Anteil an Sekundärstahl in der Stahlproduktion, muss aber trotzdem einen Großteil seines Rohstoffbedarfs durch Primärimporte decken. Durch diese Konstellation können HotSpots vor allem in Bezug auf Umweltrisiken identifiziert werden. Die Erzeugung von Stahl hat hohe Emissionen von Treibhaus- und sauren Gasen zur Folge. Durch den Abbau von Eisenerz im Tagebau hat Stahl ein hohes Risiko durch Flächeninanspruchnahme und das Risiko zur Zerstörung des Landschaftsbildes. Durch die Vergesellschaftung von Eisenerz mit Schwermetallen entstehen schwermetallhaltige Tailings, welche meist in Absetzbecken gelagert werden, die durch Dämme gesichert sind. Diese können bei Wetterereignissen mit hohen Niederschlägen so stark gefüllt werden, dass der Damm brechen kann und so eine Katastrophe mit drastischen ökologischen, ökonomischen und soziale Folgen nach sich zieht.

Die HotSpots für Stahl stellen sich in Würfelform wie folgt dar:

Abbildung 4-30: HotSpots Stahl



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

## Rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende bis 2049

Stahl weist ausschließlich ökologische HotSpots auf. Dabei kann eine Optimierung der Primärgewinnungskette nur das Risiko der Schwermetallschlämme lösen. Die Emissionen an Treibhaus- und sauren Gasen sind direkt an die Produktion gekoppelt und technische Verbesserungspotenziale sind stark ausgeschöpft. Folglich können diese negativen Umweltaus-

wirkungen, ebenso wie der Flächenbedarf und das Risiko der Landschaftszerstörung nur über eine Verringerung des Primärbedarfs erreicht werden. Aus diesem Grund werden für das Projekt „Rohstoffwende Deutschland 2049“ bei Stahl, bis auf die genannte Ausnahme des Schwermetallproblems, nur Ziele zur Reduzierung der nachgefragten Primärmenge gesetzt.

Die Verringerung des Stahl-Primärbedarfs soll einerseits über eine Steigerung des eingesetzten **Sekundärmaterialanteils** von 50 % in 2013 auf 66 % im Bereich Wohnen und Arbeiten und von 10 % auf 30 % im Bereich Mobilität in 2049 erreicht werden. Die jährlichen **Gebäudesanierungsraten** im Bedürfnisfeld Arbeiten sollen von 0,8 % heute auf 1 % in 2049 und im Bedürfnisfeld Wohnen von 1 % auf 3 % erhöht werden um den Bedarf zu senken. Eine Verringerung des Ausbaus des Straßennetzes um 25 % soll ebenfalls den Rohstoff Stahl einsparen. Im Bedürfnisfeld Mobilität sollen zudem Einsparungen durch eine Verkehrsverlagerung und einer damit verbundenen Reduktion des Pkw-Bestandes um rund 25 % erreicht werden.

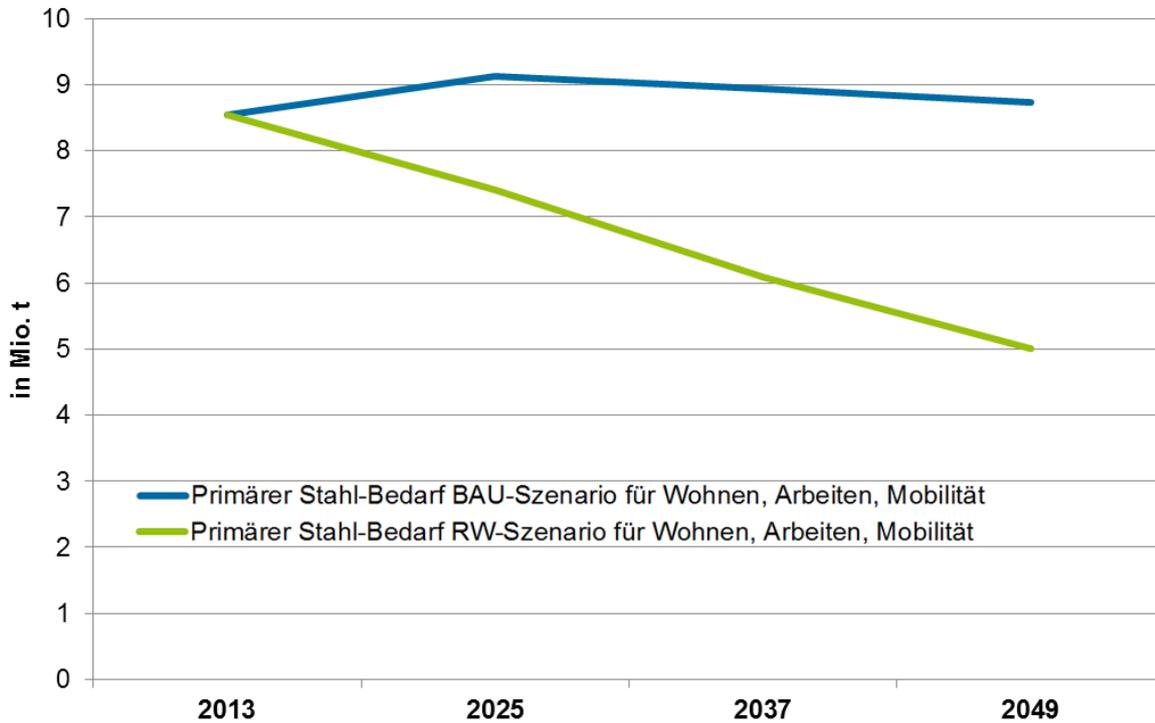
Für das Problem der schwermetallhaltigen Schlämme soll analog zu Neodym ein Zertifizierungsansatz realisiert werden (siehe Kapitel 6.2.5), um Standards für die Abfallbehandlung bei der Bereitstellung von Eisenerz zu garantieren. Eine Einführung dieser Zertifizierung ist analog zur Einführung der Zertifizierung beim Neodym angedacht (siehe Kapitel 6.2.5).

### **Szenario-Ergebnisse:**

Es wurden zwei Szenarien für den Stahlbedarf in Deutschland bis zum Jahr 2049 berechnet, die in folgender Abbildung dargestellt werden: Zum einen ein Business-As-Usual-Szenario (BAU; blaue Linie) und zum anderen ein Rohstoffwende-Szenario (RW; grüne Linie). Die blaue Kurve zeigt den Stahlbedarf aus Primärrohstoffquellen im BAU-Szenario in den Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten und Mobilität. Da im BAU-Szenario die Recyclingraten von 50 % (Wohnen/Arbeiten) bzw. 10 % (Mobilität) fortgeschrieben werden, ist der größere Anteil des Stahlbedarfs aus Primärrohstoffen zu decken.

Im Rohstoffwende-Szenario sinkt der primäre Stahlbedarf kontinuierlich von 2013 bis 2049. Im Jahr 2049 werden im Rohstoffwende-Szenario durch die Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität fast 4 Mio. t primärer Stahl weniger nachgefragt (-43 %) als im BAU-Szenario (siehe Abbildung 4-31).

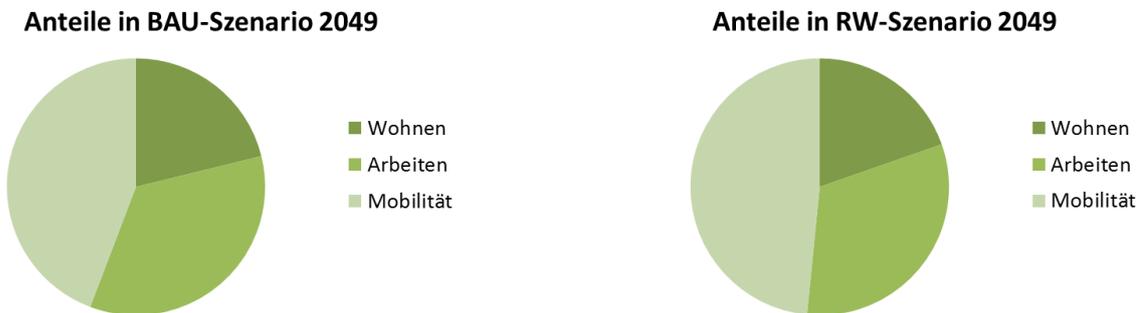
**Abbildung 4-31: Primärer Stahlbedarf in den Sektoren Wohnen, Arbeiten, Mobilität in Deutschland (in Mio. t)**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

Betrachtet werden hier die drei relevanten Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität. Der Maschinenbau oder die Produktion für den Export werden nicht betrachtet. Im Basisjahr 2013 liegt der Stahlbedarf des Bedürfnisfelds Wohnen bei 2,3 Mio. t. Der Bedarf der Bedürfnisfelder Arbeiten und Mobilität liegt jeweils bei 3,1 Mio. t. Das Bedürfnisfeld Wohnen hat dabei mit 27 % den kleinsten Anteil an den 8,5 Mio. t, während sich die übrigen 73 % zu gleichen Teilen auf Mobilität und Arbeit verteilen. Bis 2049 verkleinern sich die Bedarfe aller Bedürfnisfelder deutlich. Während der Bedarf des Bedürfnisfelds Mobilität auf 2,4 Mio. t sinkt (statt 3,9 Mio. t im BAU-Szenario), fällt der Bedarf des Bedürfnisfelds Wohnen auf 1,0 Mio. t (statt 1,8 Mio. t im BAU-Szenario) und der Bedarf des Bedürfnisfelds Arbeiten auf 1,6 Mio. t (statt 3,0 Mio. t im BAU-Szenario). Die Verteilung des Primärstahlbedarfs über die Bedürfnisfelder in 2049 im RW-Szenario zeigt etwa 20 % für das Bedürfnisfeld Wohnen, etwa 30 % für das Bedürfnisfeld Arbeiten und knapp 50 % für das Bedürfnisfeld Mobilität (siehe Abbildung 4-26folgende Abbildung).

**Abbildung 4-32: Zusammensetzung des primären Stahlbedarfs in 2049 nach Bedürfnisfeldern**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Die Ansatzpunkte der rohstoffspezifischen Ziele für Stahl lassen sich auf viele Massenmetalle übertragen. Dies beinhaltet auch Metalle die HotSpots in der Bereitstellungskette aufweisen, welche nicht nur auf die Masse zurückzuführen sind. Stahl und Aluminium mit ihren Schlammrückständen aus der Primärkette können hier gemeinsam adressiert werden.

## 5. Rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende

Rohstoffspezifische Ziele sind notwendig, da die ökonomischen, ökologischen und sozialen Effekte der Nachfrage nach unterschiedlichen Materialien/Rohstoffen sehr unterschiedlich sind. Dies wurde in den vorangegangenen Kapiteln bereits dargestellt. Dabei sollte die Ableitung der rohstoffspezifischen Ziele nach dem Wesen der jeweiligen HotSpots der Materialströme erfolgen. Rohstoffspezifische Ziele sind notwendige Voraussetzung zur Operationalisierung von Maßnahmen hin zur Reduzierung von negativen ökologischen, sozialen und ökonomischen Auswirkungen.

Eine wichtige Erkenntnis des Projekts „Deutschland 2049 - Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft“ ist die Notwendigkeit, für eine Rohstoffwende rohstoffspezifische Ziele zu definieren. Rohstoffe haben spezifische HotSpots, die es gilt zu reduzieren. Deshalb müssen diese spezifischen Auswirkungen durch spezifische Ziele adressiert werden. Für Kies und Neodym ist es weder sinnvoll noch zielführend identische Ziele zu definieren, da deren spezifischen Auswirkungen sehr unterschiedlich sind. Das gleiche gilt für Kobalt und Zement. Diese Liste an Beispielen ließe sich erheblich verlängern. Eine Unterteilung in Massen- und Nicht-Massenrohstoffe ist ein erster wichtiger Schritt. Hier wurde im Rahmen des Projektes die Grenze bei 100.000 Tonnen Bedarf p. a. in Deutschland gesetzt.

In den nachfolgenden Abschnitten werden diese beiden Gruppen an Rohstoffen weiter geclustert. Auf Basis dieser Gruppierungen werden dann rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende Deutschland 2049 vorgestellt. Übergeordnetes Ziel aller rohstoffspezifischen Ziele ist es, die negativen ökologischen und sozialen Effekte des Rohstoffverbrauchs von Deutschland bis 2049 deutlich und zwar im absoluten Sinne zu reduzieren. Die vorgestellten Ziele fokussieren sich auf die 75 ausgewählten abiotischen Rohstoffe im Rahmen dieses Projekts. Für andere Ressourcen wie z. B. fossile Energieträger (beispielsweise Braunkohle) bestehen bereits durch die langfristigen Klimaschutzziele der Bundesregierung faktisch massive Verbrauchsminderungsziele und auch erste Verbesserungsansätze zur Bekämpfung von Menschenrechtsverletzungen sind auf dem Weg gebracht (z. B. Initiativen wie die Better-Coal-Initiative).

Im Rahmen des Projekts „Deutschland 2049 - Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft“ werden eine Reihe von konkreten rohstoffspezifischen Zielen vorgestellt. Ziele sind generell für diejenigen Rohstoffe notwendig, bei denen ökologische, soziale oder ökonomische HotSpots und relevante Auswirkungen vorliegen. Somit müssen nicht zwangsläufig für alle Rohstoffe auch konkrete Ziele formuliert werden. Mit den Zielen werden die meisten der HotSpots adressiert. Vor dem Hintergrund der begrenzten Mittel in diesem Eigenprojekt war eine vollständige Betrachtung aller Auswirkungen bislang noch nicht möglich. Weitere Ziele sind qualitativ umrissen, müssen jedoch in weiteren Arbeiten für eine langfristige Rohstoffwende noch konkretisiert und formuliert werden. Bislang noch gar nicht adressierte Rohstoffe verursachen entweder keine relevanten Auswirkungen oder müssen in weiteren Arbeiten noch untersucht werden.

Hervorzuheben ist, dass die formulierten rohstoffspezifischen Ziele bzw. deren Umsetzung über die bisherige Praxis sowie geltende gesetzliche Rahmenbedingungen und Grenzwerte deutlich hinausgehen. Für die Realisierung der Rohstoffwende sind weitreichende Ziele und Maßnahmen notwendig. Denkverbote und eingefahrene Wege müssen der Vergangenheit angehören.

### 5.1. Clusterung der Rohstoffe in Massen- und Nicht-Massenrohstoffe

In einem ersten Schritt wurden die 75 Rohstoffe im Fokus des Projektes in Massen- und Nicht-Massenrohstoffe untergliedert. Dabei liegt die Grenze zwischen Massen- und Nicht-Massen-

rohstoffen bei 100.000 Tonnen Rohstoffbedarf in Deutschland im Jahr 2013. Im Anhang sind die 75 Rohstoffe, die im Fokus des Projektes lagen, nach Massen- und Nicht-Massenrohstoffen gegliedert dargestellt.

Es ist zu beachten, dass die identifizierten rohstoffspezifischen Ziele nicht als vollständige Liste möglicher Ziele zu verstehen sind. Es handelt sich hierbei um erste rohstoffspezifische Ziele, die sich im Rahmen des Projektes und v. a. nur auf die untersuchten Bedürfnisfelder beziehen.

### 5.1.1. Massenrohstoffe

Der Projektfokus von „Deutschland 2049 - Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft“ umfasst 75 abiotische Rohstoffe. Davon wurden 22 Rohstoffe als Massenrohstoffe charakterisiert, die einen Bedarf – meist deutlich - über 100.000 Tonnen in Deutschland im Jahr 2013 aufweisen.

Massenrohstoffe haben ein breites Spektrum und weisen unterschiedliche Charakteristika auf. Neben mineralischen Rohstoffen aus heimischer Primärgewinnung stehen hier importierte Basismetalle (in fertigen Produkten, als Halbzeuge oder Erze) mit hohen End-of-Life(EoL)-Recyclingraten<sup>25</sup> im Fokus. Zur Herleitung angemessener rohstoffspezifischer Ziele werden die Massenrohstoffe nach charakteristischen Kriterien in sechs Cluster untergliedert und zu jedem Cluster ein Cluster-Repräsentant identifiziert. In Kapitel 0 werden die Cluster-Repräsentanten im Rahmen eines Factsheets näher vorgestellt. In der folgenden Abbildung sind die Cluster der Massenrohstoffe mit den jeweiligen Cluster-Repräsentanten und zugeordneten Rohstoffen dargestellt. Jeder Rohstoff ist hierbei einem Cluster zugeordnet. In den folgenden Unterkapiteln werden die Kriterien für die Clusterauswahl und Rohstoffzuordnung kurz erläutert. Darauf aufbauend werden rohstoffspezifische Ziele für die sechs Cluster der Massenrohstoffe vorgestellt.

Abbildung 5-1: Cluster der Massenrohstoffe (MR)

	Cluster MR 1 (5 Rohstoffe)	Cluster MR 2 (2 Rohstoffe)	Cluster MR 3 (3 Rohstoffe)	Cluster MR 4 (2 Rohstoffe)	Cluster MR 5 (4 Rohstoffe)	Cluster MR 6 (6 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	Heimische Baurohstoffe	Baustoffe	Hauptmassenmetalle	Industriesalze	Sonstige Massenmetalle	Sonstige Massenrohstoffe
<b>Cluster-Repräsentant</b>	Kies	Zement	Eisen/Stahl	Kalisalz	Chrom	
<b>Rohstoffe</b>	Sand Kies Natursteine Ton Gips	Kalk gebrannt Zement	Eisen/Stahl Aluminium Kupfer	Kalisalz Steinsalz	Zink Blei Chrom Mangan	Schwefel Titandioxid Flussspat Baryt Phosphat Spezialsande

Quelle: Zusammenstellung Öko-Institut e. V.

<sup>25</sup> EoL-Recyclingrate: Die EoL-Recyclingrate beziffert den Anteil des recycelten End-of-Life-Metalls zu den anfallenden EoL-Produkten

### Cluster MR 1 „Heimische Baurohstoffe“: Kriterien und Ziele

Das Cluster MR 1 „Heimische Baurohstoffe“ umfasst die fünf für den nationalen Bedarf überwiegend in Deutschland gewonnenen Baurohstoffe Sand, Kies, Natursteine, Ton und Gips.

	<b>Cluster MR 1</b> (5 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	<b>Heimische Baurohstoffe</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Kies</b>
<b>Rohstoffe</b>	Sand Kies Natursteine Ton Gips

Das Cluster wird charakterisiert durch Baurohstoffe, welche großvolumig aus natürlichen Vorkommen in Deutschland gefördert werden und hierbei entsprechend Fläche in Anspruch nehmen. Die Flächeninanspruchnahme geht einher mit einem Eingriff in Natur und Landschaft. Gips stellt hier eine Ausnahme dar, da gegenwärtig der überwiegende Teil des Verbrauchs in Deutschland durch Rauchgasentschwefelungsgips gedeckt wird, also einem Nebenprodukt aus der Kohleverstromung. Ein hochwertiges Recycling im Sinne eines Closed-loop Recyclings findet bei den Rohstoffen dieses Clusters erst in Ansätzen statt. Im Fall von Beton, der Kies enthält, wird überwiegend ein Downcycling vorgenommen, da der gebrochene Beton beispielsweise in ungebundene Tragschichten im Straßenbau genutzt wird. Eine Nutzung als Gesteinskörnung zum Ersatz von Kies um Recyclingbeton herzustellen ist technisch ausgereift, findet derzeit jedoch nur in sehr geringem Maße statt. Gleiches gilt für das Recycling von Gips aus Gipskartonplatten: hier hat der Einstieg in das Recycling erst seit 1-2 Jahren begonnen (Buchert et al., 2017). Für die übrigen Stoffe dieses Clusters findet entweder nur ein Downcycling

(z. B. für Lärmschutzwände, Verfüllungen etc.) oder eine direkte Entsorgung auf Deponien statt.

Dies führt dazu, dass fortwährend weiter Primärmaterial abgebaut werden muss, um den Bedarf nach diesen nicht erneuerbaren abiotischen Rohstoffen für - häufig - Neubauvorhaben zu decken. Durch absehbare Komplettausbeutung bereits für den Abbau genehmigter Lagerstätten erhöht sich der Druck auf noch nicht genutzte natürliche Lagerstätten. Zunehmende Nutzungskonflikte sind damit vorprogrammiert. Im Falle von Sand und Kies hat dies beispielsweise in Langen bei Frankfurt am Main zur Rodung von Bannwald geführt. Das Ergebnis ist hier nicht nur ein Flächenbedarf durch den Abbau, sondern auch ein Eingriff in die Naturlandschaft. Der Abbau kann zur völligen Umgestaltung der natürlichen Landschaft führen, wie dies beispielsweise in der Region „Mittlerer Oberrhein“ zu beobachten ist. Dort wird in 42 Baggerseen Kies abgebaut (ka-news, 2011), was die Landschaft stark verändert hat.

Der Cluster-Repräsentant Kies wurde im Rahmen dieses Projektes intensiv untersucht und ist in Kapitel 8.2 näher beschrieben. Im Rahmen der Szenario-Ergebnisse im Business-As-Usual-Szenario und Rohstoffwende-Szenario wurde deutlich, dass der jährliche Primärbedarf an Kies im Business-As-Usual-Szenario bis 2049 gegenüber 2013 leicht sinken wird (~11 %). Dies ist mit der leicht sinkenden Gesamtbevölkerung und entsprechenden Sättigungstendenzen in der Nachfrage zu erklären, welche die entsprechenden Bauaktivitäten vor allem im Neubausektor langfristig etwas dämpft. Im Rohstoffwende-Szenario wird fast eine Halbierung des jährlichen Kiesbedarfs bis 2049 erreicht. Die Szenario-Ergebnisse für Kies sowie Instrumente für eine nachhaltige primäre Kiesgewinnung sind in Kapitel 4.2.3 dargestellt. Weitere Instrumente für die Erreichung der identifizierten Ziele werden im Kapitel 6 detailliert beschrieben.

Folgende Ziele wurden für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft im Cluster „Heimische Baurohstoffe“ identifiziert:

Quantitative Ziele für Cluster MR 1:

- **Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden:** Jährliche Gebäudesanierungsraten im Bedürfnisfeld Arbeiten sollen von 0,8 % heute auf 1 % in 2049 und im Bedürfnisfeld Wohnen von 1 % auf 3 % erhöht werden. Die Verlängerung der Lebens- bzw. Nutzungsdauer von Gebäuden vermeidet entsprechende deutlich materialintensivere Neubauaktivitäten.
- **Steigerung des hochwertigen Einsatzes von Sekundärmaterial auf mindestens 5 % für Sand, mindestens 10 % für Kies, Ton, Natursteine und auch Gips in 2049:** Der Auf- und Ausbau der entsprechenden Sammel- und Recyclingstruktur ist notwendig.
- **Reduzierung des absoluten jährlichen Primärbedarfs um mindestens 20 % für Ton, Natursteine und Sand (für Kies um 45 %) bis 2049:** In Kapitel 4.2.3 wurden die Reduzierungspotenziale am Beispiel von Kies gezeigt. Im Rohstoffwende-Szenario kann in 2049 eine absolute Reduzierung von 45 % gegenüber dem BAU-Szenario durch Recycling, Lebensdauererweiterung von Gebäuden und weiteren Maßnahmen erreicht werden.

Definition der Ziele noch offen:

Für Gips bedarf es weiterer intensiver Forschung, um Potenziale zu identifizieren. Dies gilt umso mehr, da durch die Energiewende langfristig die Kohleverstromung praktisch vollständig zurückgehen und daher Rauchgasentschwefelungsgips als Versorgungsbasis ausfallen wird.

**Cluster MR 2 „Baustoffe“: Kriterien und Ziele**

Das Cluster MR 2 „Baustoffe“ umfasst Zement und gebrannten Kalk.

	<b>Cluster MR 2</b> (2 Rohstoffe)	Dieses Cluster adressiert die beiden Baustoffe, welche nicht direkt gefördert und dann genutzt werden können, sondern die zuvor noch eine besondere Verarbeitung durchlaufen. Dieser besteht bei beiden Rohstoffen im Kern im sogenannten „Brennen“ von Kalk (Calciumcarbonat). Hierbei wird sehr viel Energie benötigt und es entstehen neben den Treibhausgasen aus dieser Energienutzung noch große Mengen geogenes CO <sub>2</sub> , welches beim Brennen aus dem Calciumcarbonat abgespalten wird. Beide Baustoffe können daher als CO <sub>2</sub> -intensiv klassifiziert werden.
<b>Cluster-name</b>	<b>Baustoffe</b>	
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Zement</b>	Beide Stoffe werden im starken Maße für den Neubau von Gebäuden (Beton, Putze, Mörtel etc.) benötigt, weshalb eine Reduktion beispielsweise über das Dämpfen des Bedarfs an Neubauten bzw. über die Bestandserhaltung der Betonstrukturen erreicht werden kann. Die Nutzung von anderen Baustoffen und Bautechniken, beispielsweise Holzbau, oder der Bau in kompakteren Formen, wie Mehrfamilienhäusern, können ebenfalls den Bedarf reduzieren.
<b>Rohstoffe</b>	Kalk gebrannt Zement	

Für den Cluster-Repräsentanten Zement (siehe auch Kapitel 8.3) konnten die Ergebnisse der Kiesbetrachtung genutzt werden, um auch hier Potenziale und Ziele zu definieren, welche den Bedarf für Zement senken kann.

Recyclingansätze wirken im Falle dieses Clusters nicht, da das gebrannte Material zum Abbinden mit Wasser versetzt wird und so kein zweites Mal als Bindematerial genutzt werden kann. Aber Zement kann im Rahmen des Betonrecyclings Kies, Sand bzw. Natursteine partiell substituieren.

Im Fall von Zement können die Kohlendioxidemissionen der Herstellung durch das neue Material Celitement halbiert werden. Dieses Verfahren befindet sich in der Pilotphase und bedarf weiterer Forschung bezüglich der Materialeigenschaften. Zudem wird eine andere Infrastruktur benötigt als diese in bisherigen Zementwerken vorhanden ist. Statt einem großen Drehrohrofen, werden ein kleiner dimensionierter Drehrohrofen und viele Autoklaven benötigt. Durch den Lock In-Effekt<sup>26</sup> der Investition in Zementwerke, kann eine schnelle Implementierung dieser Technologie nur über gesetzliche Wege erreicht werden, beispielsweise über Vorgaben zu spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen je Tonne Zement.

#### Quantitative Ziele für Cluster MR 2:

Folgende Ziele wurden für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft im Cluster „Baustoffe“ identifiziert:

- **Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden:** Gebäudesanierungsraten im Bedürfnisfeld Arbeiten sollen von 0,8 % heute auf 1 % in 2049 und im Bedürfnisfeld Wohnen von 1 % auf 3 % erhöht werden.
- **Reduzierung des absoluten Primärbedarfs um mindestens 20 % bis 2049:** Ebenso wie der Kiesbedarf kann auch der Zementbedarf gesenkt werden. In Kapitel 4.2.3 sind die Potenziale für Kies dargestellt, die sich teilweise auf Zement übertragen lassen, da beide Rohstoffe Bestandteil von Beton sind.

#### Qualitative Ziele für Cluster MR2 (genaue Quantifizierung noch offen):

- **Erforschung und Implementierung von GWP (Global Warming Potenzial) schonenden Technologien:** Zur Herstellung von Zement wird bereits Celitement erforscht, welches die Treibhausgasemissionen der Zementherstellung um rund die Hälfte reduziert (also bei heutiger Jahresproduktion in Deutschland von knapp 20 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten auf unter 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente).

#### Definition der Ziele noch offen:

Für den Baustoff Kalk gebrannt bedarf es weiterer Forschung, um die rohstoffspezifischen Charakteristika zu identifizieren und Ziele zu definieren.

---

<sup>26</sup> Lock-in-Effekt (englisch lock in, „einschließen“ oder „einsperren“) beschreibt den Aufwand (Kosten/andere Barrieren) der entsteht, wenn ein Wechsel zu beispielsweise anderen Anlagen/Technologien/Produkten durchgeführt wird.

### Cluster MR 3 „Hauptmassenmetalle“: Kriterien und Ziele

Das Cluster MR 3 „Hauptmassenmetalle“ umfasst die drei Metalle Eisen/Stahl<sup>27</sup>, Aluminium und Kupfer.

	<b>Cluster MR 3</b> (3 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	<b>Hauptmassenmetalle</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Eisen/Stahl</b>
<b>Rohstoffe</b>	Eisen/Stahl Aluminium Kupfer

Alle Vertreter dieses Clusters zeichnen sich dadurch aus, dass es Metalle sind, die in sehr großen Mengen benötigt werden. Zusätzlich ist der Abbau ihrer Erze mit einer hohen Flächeninanspruchnahme verbunden. Hinzu kommt, dass die Raffination sehr viel Energie benötigt, was – vor allem über die Primärroute – mit einem hohen Ausstoß an Treibhausgasen verbunden ist. Ebenso wie Treibhausgase entstehen auch große Mengen an sauren Gasen, die durch die Nutzung fossiler Brennstoffe, aber auch bei der Röstung von beispielsweise Kupferkies (CuFeS<sub>2</sub>) entstehen.

Neben diesen Emissionen gibt es eine weitere Herausforderung: der Umgang von Schlämmen aus der Bauxit- und Eisenerzgewinnung. Diese sind mit Schwermetallen belastet und werden meist in offenen Absetzbecken abgelagert, die nur durch Dämme begrenzt werden. Bei Starkregenereignissen kann es zu katastrophalen Auswirkungen (ökologisch, ökonomisch und sozial) kommen, wie beim Kolontár-Dammbruch 2010 in Ungarn oder dem Bento Rodrigues-Dammbruch 2015 in Brasilien.

Die Clustervertreter sind allesamt gut recycelbare Massenmetalle und es existieren weltweit und auch gerade in Deutschland reife Recyclinginfrastrukturen und große Anlagenkapazitäten zum Recycling von Stahl, Aluminium und Kupfer. Große Volumenströme werden bereits im Kreislauf geführt. Mit dem Recycling sind erhebliche ökologische Vorteile verbunden. Die spezifischen Emissionen an Treibhausgasen (je Tonne Metall) beispielsweise liegen im Falle der Sekundärroute, d. h. über Recycling, erheblich niedriger (besonders groß bzgl. der Reduktion von Treibhausgasen sind die Vorteile beim Sekundäraluminium). In der langfristigen Perspektive kann der Anteil der Sekundärproduktion über Recycling bei Stahl, Kupfer und Aluminium noch weiter gesteigert werden. Eine vollständige Deckung durch Sekundärmaterial kann allerdings auf keinen Fall erreicht werden wie dies auch aus vielen anderen Beispielen aus der Kreislaufwirtschaft bekannt ist.

Der Cluster-Repräsentant Eisen bzw. Stahl wurde im Rahmen dieses Projektes intensiv untersucht (siehe auch Kapitel 8.4). Im Business-As-Usual Szenario wurde ein leichter Anstieg von rund 2 % Primärstahl abgebildet. Im Rohstoffwende-Szenario konnte ein Einsparpotenzial von rund 40 % aufgezeigt werden.

Folgende Ziele wurden für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft im Cluster „Hauptmassenmetalle“ identifiziert:

#### Quantitative Ziele für Cluster MR 3:

- **Absolute Reduzierung des Primärbedarfs:** Innerhalb des Projektes wurde für die Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität eine Reduzierung des Primärbedarfs von Stahl von etwa 40 % gezeigt. Verkehrsvermeidung und -verlagerung führen zum Abschmelzen

<sup>27</sup> Im folgenden Text wird nur noch von Stahl gesprochen, was Eisen aus Rohstoffsicht aber einschließen soll.

des Fahrzeugbestands und somit zur deutlichen Verringerung des Primärbedarfs, ebenso die Lebensdauererlängerung von Nicht-Wohngebäuden. Für die Metalle Kupfer und Aluminium muss eine Quantifizierung der Potenziale noch vorgenommen werden.

Qualitative Ziele für Cluster MR 3 (genaue Quantifizierung noch offen):

- **Ausschöpfung der Recyclingpotenziale:** Die Recyclingpotenziale von Aluminium und Kupfer müssen in Zukunft weiter ausgeschöpft werden. In „Klimaschutzpotenziale des Metallrecyclings und des anthropogenen Metalllagers“ (Buchert et al., 2016) sind die vorhandenen Potenziale und in den nächsten Jahrzehnten deutlich wachsenden anthropogenen Lager dargestellt, welche in Zukunft ausgeschöpft werden sollten.
- **Einsparung von Treibhausgasen:** Es werden Ziele für die Einsparung von Treibhausgasen für dieses Cluster benötigt. Diese müssen über weitere Forschung noch quantifiziert werden. Hier könnten Maßnahmen wie die weitere Erhöhung des Recyclings greifen. Die Steigerung des Sekundärmetallanteils zur Deckung des Bedarfs kombiniert mit der Energiewende (Reduzierung von Treibhausgasemissionen aus dem Stromverbrauch bei der Elektrostahlroute usw.) können bis 2049 deutliche Treibhausgaseinsparungen zur Folge haben.
- **Zertifizierung der Einhaltung von Umwelt- und Sozialstandards bei der Erzeugung:** Um das Risiko für Umweltkatastrophen wie z. B. in Brasilien oder Ungarn zu verringern, muss eine Zertifizierung für die Einhaltung von Umweltstandards bei der Erzeugung durchgeführt werden. Hierbei werden die Betriebe zertifiziert, welche durch die Einhaltung von Vorgaben das Risiko deutlich verringern, dass es beispielsweise zum Dambruch kommen kann. Die Zertifizierung könnte, wie für Neodym in Kapitel 6.2.5 beschrieben, in einem mehrstufigen Verfahren eingeführt werden.
- Die Aluminium Stewardship Initiative hat hier bereits einen guten Ansatz zu nachhaltig produziertem Aluminium erarbeitet, der allerdings noch nicht in die Praxis umgesetzt wurde. (Für andere Rohstoffe wurden ebenfalls Initiativen zur nachhaltigen Primärrohstoffgewinnung auf den Weg gebracht, wie z. B. Fairmined, Fairtrade o.ä.).

### Cluster MR 4 „Industriesalze“: Kriterien und Ziele

Das Cluster MR 4 „Industriesalze“ umfasst Kali- und Steinsalz. Auf den Cluster-Vertreter Kalisalz wird in Kapitel 8.5 näher eingegangen.

	<b>Cluster MR 4</b> (2 Rohstoffe)	Dieses Cluster fokussiert auf die Wirkungen des Salzabbaus in Deutschland. Bei der Gewinnung von Salz, vor allem Kalisalz, kommt es zu einer starken Belastung des Grundwassers und der Flüsse, in welche die Abwässer abgeleitet werden.
<b>Cluster-name</b>	<b>Industrie-salze</b>	70 % der in Kalibergwerken geförderten Menge sind Salzabfälle, die in großen Halden aufgeschüttet werden („Kaliberg“ „Monte Kali“). Dies beeinträchtigt das Landschaftsbild deutlich, da hier künstliche Berge von bis zu 200 m Höhe aufgeschüttet werden, die weithin sichtbar sind.
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Kalisalz</b>	Die massiven Salzfrachten, die vor allem in die Flüsse eingeleitet werden, haben diverse Auswirkungen. Hierbei seien vor allem die Schädigung von Brückenpfeilern sowie die Verdrängung und Schädigung von Flora und Fauna in Gewässern und die damit verbundene Neuansiedelung salzresistenter Organismen genannt.
<b>Rohstoffe</b>	Kalisalz Steinsalz	Eine Nordsee-Pipeline ist lange diskutiert worden um die Salzfrachten direkt ins Meer zu leiten. Derzeit läuft ein Raumordnungsverfahren um

eine Pipeline zur Oberweser zu errichten und dort die Salzabwässer einzuleiten um damit die Werra zu entlasten.

Eine technische Lösung zur Verminderung der Abfälle, die gleichzeitig ökonomisch darstellbar ist, existiert bisher nicht. Stattdessen sind zur Einhaltung weiterer Grenzwerte eine Eindickung der Salzabfälle und eine anschließende Einstapelung im Untergrund im Rahmen des Masterplans „Salz des Landes Hessen“ geplant. (Quadflieg, 2016)

Folgende Ziele wurden für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft im Cluster „Industriesalze“ identifiziert:

Qualitative Ziele für Cluster MR4 (genaue Quantifizierung noch offen):

- **Reduzierung der Wasserverunreinigung in Grund- und Oberflächenwasser:** Die Gewinnung von Industriesalz, vor allem Kalisalz, führt zu massiven Einträgen von Salzen in Oberflächen- und Grundwasser. Diese rührt von Auswaschungen der Abraumhalden sowie der Reinigung der Salze her. Eine Reduzierung ist aus Umweltsicht dringend geboten. Eine Quantifizierung von Grenzwerten bedarf noch weiterer Forschung.
- **Reduzierung des Primärkaliumeinsatzes:** Das Haupteinsatzgebiet von Kalisalzen sind Düngemittel. Eine Reduzierung des Primärkaliumeinsatzes könnte über den Einsatz anderer Kaliumquellen (Kompost, Holzaschen) erreicht werden. Eine Quantifizierung dieses Ziels bedarf noch weiterer Forschung.

Definition der Ziele noch offen:

Für das Steinsalz bedarf es weiterer Forschung, um die rohstoffspezifischen Charakteristika zu identifizieren und Ziele zu definieren.

### Cluster MR 5 „Sonstige Massenmetalle“: Kriterien und Ziele

Das Cluster MR 5 „Sonstige Massenmetalle“ umfasst die vier Metalle Zink, Blei, Chrom und Mangan. Der Cluster-Vertreter Chrom ist in Kapitel 8.6 näher beschrieben.

	<b>Cluster MR 5</b> (4 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	<b>Sonstige Massenmetalle</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Chrom</b>
<b>Rohstoffe</b>	Zink Blei Chrom Mangan

In diesem Cluster befinden sich vier Massenmetalle, die, bezogen auf den absoluten Verbrauch in Deutschland, weniger gravierende Umweltbelastungen als Aluminium, Stahl und Kupfer (wie beschrieben überwiegend aus der Primärproduktion) aufweisen, aber dennoch nicht vernachlässigt werden dürfen.

Diese vier Metalle tragen jeweils einen vergleichsweise großen Beitrag zum GWP, zum Versauerungspotenzial und zum Humantoxizitätspotenzial bei, da sie als Massenmetalle eine hohe absolute Wirkung in den genannten Kategorien haben.

Die Metalle sind, je nach Anwendung, sehr gut recycelbar und werden bereits im Kreis geführt. Blei ist hier mit dem Recycling aus Blei-Säure-Batterien ein gutes Beispiel, da hier der Kreislauf vor allem in Industrieländern<sup>28</sup> gut geschlossen ist. Mangan und Chrom sind als Legierungsmetalle im Edelstahl anzutreffen, wo sie bei entsprechender Abfallerfassung direkt recycelt werden.

Zink ist in Massenanwendungen wie Zinkblech, Feinzink-Gussprodukten oder Messing ebenfalls gut recycelbar, jedoch entsteht fast die Hälfte des Zinkbedarfs aus der Verzinkung von Eisen- und Stahlprodukten. Deren Recycling lässt Zink stets als Flugasche anfallen, die nur unter hohem Energieeinsatz wieder zurück in den Kreislauf gebracht werden kann.

Eine Verminderung des Einsatzes ist schwierig, weshalb dem Recycling in diesem Cluster eine besondere Bedeutung zukommt. Es muss weiter ausgebaut und technisch besser aufgestellt werden, um beispielsweise die Zinkbeschichtung über hydrometallurgische Verfahren abzutrennen, bevor diese im Hochofen zu Flugasche verbrannt wird. Eine bessere Erfassung und Sortierung sind ebenfalls Ansatzpunkte, um die Verluste an Metall zu minimieren und so einen großen Teil des Bedarfes über Sekundärmaterial zu decken.

Blei nimmt hierbei eine Sonderrolle ein. Aufgrund seiner toxischen Eigenschaften wurde für Blei in der EU das Phase-out eingeleitet. So ist der Einsatz von Blei bereits in vielen Anwendungen im Pkw- und Elektronikbereich untersagt. Mit einer Ausnahmeregelung der EC ist weiterhin die Hauptanwendung Blei-Säure-Batterie (Starterbatterie) im Markt. Die EC lässt in zeitlichen Abständen prüfen, wie lange diese Ausnahmeregelung für Bleibatterien noch Bestand haben kann.

Folgende Ziele wurden für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft im Cluster „Sonstige Massenmetalle“ identifiziert:

<sup>28</sup> In Entwicklungs- und Schwellenländern hat das Recycling von Blei starke Auswirkungen auf die Gesundheit der Arbeiter und Anwohner. Weitere Informationen finden sich in den Dokumenten des Spendenprojektes des Öko-Instituts „Standards für Bleihütten – Für eine starke Umweltbewegung in Afrika“ unter der Projekt-Webseite [www.econet.international](http://www.econet.international)

Qualitative Ziele MR 5 (genaue Quantifizierung noch offen):

- **Absolute Reduzierung des Primärbedarfs:** Der Primärbedarf der Rohstoffe dieses Clusters muss gesenkt werden. Hier können Maßnahmen wie eine Erhöhung des Recyclings wirken. Eine Quantifizierung dieses Ziels bedarf noch weiterer Forschung. Für einige Metalle dieses Clusters, insbesondere Blei, kann es durch die Marktdurchdringung der Elektromobilität und Aufhebung der Ausnahmeregelung für Starterbatterien zu starken Veränderungen des Primärbedarfs kommen.
- **Erhöhung der Recyclingraten:** Für die Metalle dieses Clusters sind höhere Recyclingpotenziale möglich. Eine Quantifizierung dieses Ziels bedarf noch weiterer Forschung.

**Cluster MR 6 „Sonstige Massenrohstoffe“: Kriterien und Ziele**

Das Cluster „Sonstige Massenrohstoffe“ beinhaltet Rohstoffe, die in keines der vorherigen Cluster zugeordnet werden können, da sie nicht zuletzt sehr unterschiedlicher Natur sind. Diese Materialien weisen verschiedenartige Eigenschaften und Charakteristika auf.

	<b>Cluster MR 6</b> (6 Rohstoffe)	Für die sechs Rohstoffe dieses Clusters sind einzelne Untersuchungen notwendig – als erste Priorisierung sollte insbesondere Phosphor bzw. Phosphat näher betrachtet werden. Phosphat, das im Wesentlichen als Mineraldünger eingesetzt wird, ist ein knapper Rohstoff dessen Menge je nach Quelle eine Reichweite zwischen 100 und 400 Jahren aufweist. Er steht, ebenso wie Flussspat, als kritischer Rohstoff auf der Liste der Europäischen Kommission (EC, 2014).
<b>Cluster-name</b>	<b>Sonstige Massenrohstoffe</b>	
<b>Cluster-Repräsentant</b>		Ein weiteres Problem des abgebauten Phosphatgesteins ist die Verunreinigung mit Cadmium und Uran. Diese Schwermetalle werden im Zuge der Düngemittelproduktion nur im Fall von Cadmium bis zum vorliegenden Grenzwert abgetrennt. Uran gelangt über das Düngemittel auf landwirtschaftliche Flächen, akkumuliert dort und/oder gelangt ins Grundwasser.
<b>Rohstoffe</b>	Schwefel Titandioxid Flussspat Baryt Phosphat Spezialsande	Bei den meisten der Rohstoffe dieses Cluster besteht eine vollständige Importabhängigkeit und ein Recycling ist nicht möglich, weshalb die deutsche Wirtschaft hier einer hohen Vulnerabilität ausgesetzt ist, weil diese Rohstoffe in großer Menge benötigt werden.

Qualitative Ziele für Cluster MR 6 (genaue Quantifizierung noch offen):

- **Phosphatrückgewinnung:** Es gibt starke F&E-Anstrengungen zur Phosphatrückgewinnung aus Klärschlamm und Abwässern. Industrielle Umsetzungen in Deutschland stehen noch aus. Mittel- und langfristige Ziele zur Implementierung einer quantitativen Rückgewinnung müssen durch weitere Forschung noch vorbereitet und entwickelt werden.
- **Reduktion des Primärbedarfs von Phosphat:** Phosphat in Form von Düngemitteln belastet Gewässer in Deutschland. Hier kann die Düngemenge noch weiter reduziert werden. Quantifizierte Ziele zur Reduzierung müssen durch weitere Forschung noch erarbeitet werden.

### Definition der Ziele noch offen:

Für Schwefel, Titandioxid, Flussspat, Baryt und die Spezialsande bedarf es weiterer Forschung zu den besonderen Charakteristika und möglichen HotSpots. Werden HotSpots für diese Rohstoffe identifiziert, müssen für diese Ziele definiert werden.

#### **5.1.2. Nicht-Massenrohstoffe**

Von den im Projekt betrachteten 75 abiotischen Rohstoffen wurden 53 Rohstoffe als Nicht-Massenrohstoffe charakterisiert, die einen Bedarf unter 100.000 Tonnen in Deutschland im Jahr 2013 aufweisen.

Nicht-Massenrohstoffe sind in ihrer Gruppe ebenfalls ein bunter Blumenstrauß an Rohstoffen unterschiedlicher Charakteristika wie zum Beispiel potenziell konfliktbehaftete Rohstoffe oder Rohstoffe mit bereits heute hohen End-of-Life-Recyclingraten. Daher wurden die Nicht-Massenrohstoffe nach charakteristischen Kriterien in sechs Cluster untergliedert und zu jedem Cluster ein Cluster-Repräsentant identifiziert. In Kapitel 0 werden auch diese Cluster-Repräsentanten im Rahmen eines Factsheets näher vorgestellt. In der folgenden Abbildung sind die Cluster der Nicht-Massenrohstoffe mit den jeweiligen Cluster-Repräsentanten und zugeordneten Rohstoffen in einer Übersicht dargestellt. Da manche Rohstoffe teilweise nicht eindeutig nur einem Cluster zugeordnet werden konnten, sind in diesem Fall Mehrfachnennungen in verschiedenen Clustern möglich. Dies betrifft teilweise die sogenannten Konfliktrohstoffe bzw. die Rohstoffe mit einem hohen Anteil an Kleinbergbau (Kobalt, Zinn, Gold, Silber, Wolfram). Rohstoffe mit Mehrfachnennungen sind in folgender Abbildung in roter Schrift gekennzeichnet. In den folgenden Unterkapiteln werden die Kriterien für die Clusterauswahl und Rohstoffzuordnung kurz erläutert. Darauf aufbauend werden Ziele für die sechs Cluster der Nicht-Massenrohstoffe vorgestellt.

Abbildung 5-2: Cluster der Nicht-Massenrohstoffe (NMR)

	Cluster NMR 1 (16 Rohstoffe)	Cluster NMR 2 (16 Rohstoffe)	Cluster NMR 3 (6 Rohstoffe)	Cluster NMR 4 (1 Rohstoff)	Cluster NMR 5 (2 Rohstoffe)	Cluster NMR 6 (18 Rohstoffe)
Cluster-name	Seltene Erden	Gut recycelbare Rohstoffe	Konflikte & Kleinbergbau	Besonderes potent. Landschaftsrisiko	Phase-out-Materialien	Sonstige Nicht-Massenrohstoffe
Cluster-Repräsentant	Neodym	Platin	Zinn	Lithium	Cadmium	
Rohstoffe	alle SEE: Praseodym Scandium Europium Terbium Erbium Thulium Yttrium Cer Neodym Samarium Gadolinium Dysprosium Ytterbium Lutetium Lanthan Holmium	Eisen-Metalle (Molybdän, Nickel, Niob)  Nicht-Eisen-Metalle (Magnesium, Kobalt, Zinn)  Edelmetalle (Ruthenium, Rhodium, Palladium, Iridium, Platin, Silber, Gold)  Rhenium Wolfram Cadmium	Kobalt Zinn Silber Gold Tantal Wolfram	Lithium	Cadmium Quecksilber	Graphit Beryllium Gallium Selen Arsen Zirkonium Antimon Bismut Tellur Germanium Strontium Indium Barium Thallium Hafnium Titan Vanadium Osmium

Quelle: Zusammenstellung Öko-Institut e. V.

Eine Mehrfachnennung von Rohstoffen in verschiedenen Clustern ist erlaubt. Die mehrfachgenannten Rohstoffe sind in roter Schrift kenntlich gemacht (Co, Sn, Ag, Au, Cd, W)

### Cluster NMR 1 „Seltene Erden“: Kriterien und Ziele

Das Cluster NMR 1 „Seltene Erden“ umfasst alle 16 Seltenen Erden<sup>29</sup> (Pr, Sc, Eu, Tb, Er, Tm, Y, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Yb, Lu, La, Ho).

	<b>Cluster NMR 1</b> (16 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	<b>Seltene Erden</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Neodym</b>
<b>Rohstoffe</b>	Praseodym Scandium Europium Terbium Erbium Thulium Yttrium Cer Neodym Samarium Gadolinium Dysprosium Ytterbium Lutetium Lanthan Holmium

Dieses Cluster charakterisiert sich zum einen durch eine aktuell niedrige Recyclingrate der Rohstoffe. Die Recyclingraten der Seltenen Erde liegen bei < 1 % (UNEP, 2011). Daher wird der Bedarf an Seltenen Erden heute fast vollständig aus Primärmaterial gedeckt. Die nahezu monopolartige Versorgungsstruktur (über 90 % der Seltenen Erden werden in China gewonnen) führt zudem zu einem hohen Versorgungsrisiko und entsprechender Vulnerabilität der europäischen Wirtschaft.

Zum anderen weisen die Rohstoffe dieses Clusters ein hohes Risiko bei den Arbeitsbedingungen in der Abbauphase und bei der radioaktiven Belastung auf. Bei der Gewinnung der Seltenen Erden entstehen radioaktive und toxisch belastete Tailings<sup>30</sup>, die zu hohen Umweltrisiken führen können und ein ebenfalls hohes Risiko bzgl. der Arbeitsbedingungen beinhaltet. Daher muss ein besonderes Augenmerk auf die Primärgewinnung der Seltenen Erden gelegt werden.

Der Cluster-Repräsentant Neodym wurde im Rahmen dieses Projektes intensiv untersucht und in Kapitel 8.7 tiefergehend betrachtet. Im Rahmen der Szenario-Ergebnisse im Business-As-Usual-Szenario und Rohstoffwende-Szenario wurde deutlich, dass der Bedarf an Neodym in Zukunft voraussichtlich deutlich steigen wird. Getrieben wird dieser steigende Bedarf besonders durch den Einsatz der Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagnete in der Elektromobilität. Die Szenario-Ergebnisse für Neodym sowie Instrumente für eine nachhaltige primäre Neodymgewinnung sind in den Abschnitten 4 und 6 dargestellt.

Folgende Ziele wurden für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft im Cluster „Seltene Erden“ identifiziert:

#### Quantitative Ziele für Cluster NMR 1:

- **Steigerung des Einsatzes von Sekundärmaterial auf 30 % in 2049:** Der Aufbau einer adäquaten Sammel- und Recyclingstruktur ist hierfür unbedingt notwendig.
- **Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT<sup>31</sup>-Produkten um 50 % bis 2049:** Seltene Erden werden in IKT-Produkten eingesetzt wie z. B. in Festplatten, Displays, Bildschirmen oder Lautsprechern.

<sup>29</sup> Mit Ausnahme von Promethium (Pm), da es nicht als natürliches Element vorkommt

<sup>30</sup> Tailings sind schlammartige Rückstände aus der Aufbereitung von Erzen. Sie werden meist in mit Dämmen abgetrennten Becken oder Schlammteichen in der Nähe von Bergwerken oder Aufbereitungsanlagen gelagert.

<sup>31</sup> IKT = Informations- und Kommunikations-Produkte

- **Einsatz von zertifiziertem Primärmaterial: In 2049 soll 80 % des benötigten Primärmaterials aus zertifiziertem Primärmaterial stammen.** Ein mögliches Zertifizierungssystem ist in Kapitel 6.2.5 beschrieben.

**Cluster NMR 2 „Gut recycelbare Rohstoffe“: Kriterien und Ziele**

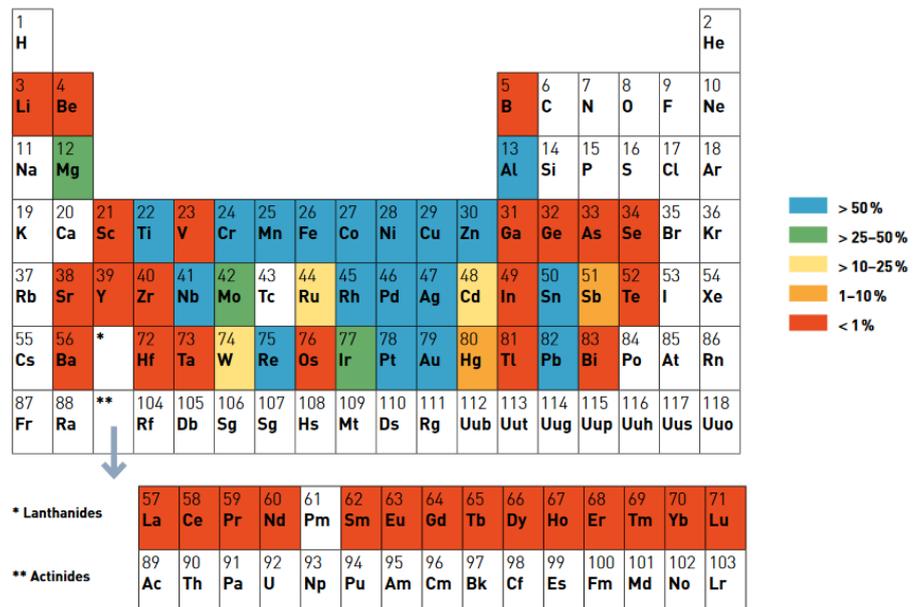
Im Cluster NMR 2 „gut recycelbare Rohstoffe“ gruppieren sich Rohstoffe, die bereits heute hohe EoL-Recyclingraten aufweisen.

	<b>Cluster NMR 2</b> (16 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	<b>Gut recycelbare Rohstoffe</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Platin</b>
<b>Rohstoffe</b>	Eisen-Metalle (Molybdän, Nickel, Niob)  Alle Nicht-Eisen-Metalle (Magnesium, Kobalt, Zinn)  Edelmetalle (Ruthenium, Rhodium, Palladium, Iridium, Platin, Silber, Gold)  Rhenium Wolfram Cadmium

In das Cluster „gut recycelbare Rohstoffe“ fallen zum einen Nickel, Niob, Kobalt, Zinn, Rhodium, Palladium, Platin sowie Gold, Silber und Rhenium, die bereits heute eine End-of-Life-(EoL)Recyclingrate über 50 % aufweisen (siehe Abbildung 4-2 Rohstoffe in blauer Farbe).

Zum anderen gehen in dieses Cluster die Metalle Molybdän, Magnesium sowie Iridium mit einer EoL-Recyclingrate von >25-50 % (grüne Farbe in Abbildung 4-2), und Ruthenium, Wolfram und Cadmium mit einer EoL-Recyclingrate von >10-25 % (gelbe Farbe in Abbildung 4-2). Einen guten Überblick über die EoL-Recyclingraten von 60 Metallen gibt die folgende Abbildung 4-2 der UNEP (2011). Die Farbgebung gibt an, wie hoch die EoL-Recyclingrate des einzelnen Rohstoffs ist – z. B. weist die blaue Farbe auf eine Recyclingrate größer 50 % hin während eine rote Farbgebung für eine EoL-Recyclingrate kleiner 1 % steht.

**Abbildung 5-3: EoL-Recyclingraten für 60 Metalle**



Quelle: UNEP, 2011

Die EoL-Recyclingraten eines Rohstoffs fallen in ihren verschiedenen Anwendungsbereichen unterschiedlich aus, was folgende Abbildung darstellt. Am Beispiel Gold liegt die EoL-Recyclingrate ohne Schmuck bei 15-20 %. Das bedeutet, dass 15-20 % des anfallenden EoL-Materials

(ohne Schmuck) als recyceltes Metall wiederverarbeitet werden. Währenddessen liegt die EoL-Recyclingrate der Hauptanwendung Schmuck und Münzen bei 90-100 %.

**Abbildung 5-4: Geschätzte EoL-Recyclingraten für Edelmetalle in den Haupt-Anwendungssektoren und Relevanz der Hauptanwendungssektoren pro Metall (UNEP, 2011)**

EOL Recycling Rates 1)	Sector-specific EOL recycling rates						Jewel- lery, coins 5)
	Vehicles 2)	Electronics	Industrial applications 3)	Dental	Others 4)		
Ru	5-15		0-5	40-50		0-5	
Rh	50-60	45-50	5-10	80-90		30-50	40-50
Pd	60-70	50-55	5-10	80-90	15-20	15-20	90-100
Ag	30-50	0-5	10-15	40-60		40-60	90-100
Os	no relevant end use sectors						
Ir	20-30	0	0	40-50		5-10	
<b>Pt</b>	60-70	50-55	0-5	80-90	15-20	10-20	90-100
<b>Au</b>	15-20	0-5	10-15	70-90	15-20	0-5	90-100

Farblegende:  
Relevanz der  
Hauptanwendungssektoren  
pro Metall

- > 50%  
**very high**
- > 25-50%  
**high**
- > 10-25%  
**medium**
- 10%  
**low**
- nil (blank)

Quelle: UNEP, 2011; Table E1

- 1) Total without jewellery, coins (no typical end-of-life management for these products)
- 2) Autocatalysts, spark plugs, conductive Ag-pastes, excluding car-electronics
- 3) incl. process catalysts/electrochemical, glass, mirror (Ag), batteries (Ag). In some cases, the available EOL metal is reduced due to prior in-use dissipation (e. g., homogeneous Pt-catalysts).
- 4) incl. decorative, medical, sensors, crucibles, photographic (Ag), photovoltaics (Ag)
- 5) incl. medals & silverware
- \* including metal demand for closed loop systems (e. g., process catalysts, glass and other industrial applications)

Nach der skizzierten Ausgangssituation wurden für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft folgende Ziele für Cluster 2 identifiziert:

Quantitative Ziele für Cluster NMR 2:

- **Erreichen einer erhöhten Recyclingrate:** Die erhöhte Recyclingrate soll in ausgewählten Bereichen erzielt werden. So soll z. B. die Recyclingrate von Gold und Silber im Bereich Elektronik auf 50 % ansteigen ebenso wie die Recyclingrate von Platin und Palladium bei Fahrzeugen auf 80 %.

Qualitative Ziele für Cluster NMR 2 (genaue Quantifizierung noch offen):

- Für die anderen Rohstoffe in diesem Cluster ist ebenfalls eine **Erhöhung der Recyclingrate** bis 2049 möglich. Diese sind aber noch genauer zu quantifizieren.
- Durch das Erreichen einer erhöhten Recyclingrate werden ebenfalls Treibhausgase und andere negative Auswirkungen der Primärgewinnung reduziert.

Diese Ziele geben eine Richtung der Recyclingrate vor, die angestrebt werden soll. Für eine Umsetzung mit konkreten Maßnahmen wird vorab eine Untersuchung empfohlen, die die bisherigen

Hemmnisse einer höheren Recyclingrate analysiert. Die Verluste könnten sowohl in den Prozessabläufen aber auch in den Sammlungsverfahren liegen. Andere Ursachen sind ebenfalls möglich.

Die Rohstoffe Kobalt, Zinn, Silber, Gold und Wolfram (in der Tabelle in roter Farbe gekennzeichnet) zeichnen sich durch weitere besondere Kriterien aus. Aus diesem Grund wurden sie zusätzlich einem weiteren Cluster zugeordnet - Cluster 3 (Konflikte & Kleinbergbau).

### Cluster NMR 3 „Konflikte & Kleinbergbau“: Kriterien und Ziele

Cluster NMR 3 „Konflikte & Kleinbergbau“ adressiert Rohstoffe, die sich durch das Risiko der Konfliktrohstoffe und Risiken des Kleinbergbaus charakterisieren.

	<b>Cluster NMR 3</b> (6 Rohstoffe)	Die Rohstoffe in diesem Cluster sind zum Teil auch in anderen Clustern vertreten (in der Tabelle in roter Farbe dargestellt). Hierzu zählen die Rohstoffe Kobalt, Zinn, Silber, Gold und Wolfram. Tantal ist ausschließlich als „Konflikt & Kleinbergbau“-Rohstoffe charakterisiert.
<b>Cluster-name</b>	<b>Konflikte &amp; Kleinbergbau</b>	In Cluster 3 fallen zum einen Rohstoffe, die sich in ihrer globalen Primärgewinnung dadurch auszeichnen, dass mehr als 5 % im Kleinbergbau gewonnen wird. Hierzu zählen Kobalt, Zinn, Silber, Gold, Tantal und Wolfram. Mit dem Anteil der Kleinbergbaugewinnung wird das Risiko der Arbeitssicherheit, Kinderarbeit, Zwangsarbeit und soziale Sicherheit abgebildet. Liegt der Anteil der Kleinbergbaugewinnung über 5 %, so besteht ein erhöhtes Risiko bezüglich der genannten Auswirkungen.
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Zinn</b>	
<b>Rohstoffe</b>	<b>Kobalt</b> <b>Zinn</b> <b>Silber</b> <b>Gold</b> Tantal <b>Wolfram</b>	Zum anderen weisen Rohstoffe in diesem Cluster ein hohes Konfliktisiko auf. Die Datengrundlage beruht hier auf der Anzahl dokumentierter gewalttätiger Konflikte mit Rohstoffbezug in den größten Abbauländern. Dies betrifft Zinn, Silber, Gold, Tantal und Wolfram.  Die Umsetzung von unternehmerischen Sorgfaltspflichten ist der erste Schritt in die Richtung, dass produzierende und verarbeitende Unternehmen die eingesetzten Rohstoffe auf ihr Konfliktrisiko untersuchen.

Diese Sorgfaltspflichten werden auf Englisch „Due Diligence“ genannt. Bisher beziehen sich die OECD-Leitlinien (OECD, 2013) zur unternehmerischen Sorgfaltspflicht nur auf ausgewählte Konflikt-Rohstoffe (Zinn, Tantal, Wolfram und Gold) und Konflikt-Regionen (insbesondere die „Region der großen afrikanischen Seen“ d. h. im Osten der Demokratischen Republik Kongo und angrenzenden Ländern, vgl. US-Dodd Frank Act, Abschnitt 1502).

Folgende Ziele wurden im Rahmen des Projektes für die Rohstoffe im Cluster „Konflikte & Kleinbergbau“ identifiziert:

#### Quantitative Ziele für Cluster NMR 3:

- Im Jahr 2049 sollen alle deutschen Unternehmen sowohl ihren menschenrechtlichen als auch ökologischen Sorgfaltspflichten im Sinne der OECD-Leitlinien (OECD, 2013) nachkommen. Darüber hinaus sollten sie einen aktiven Beitrag dazu leisten, dass ein verantwortungsvoller Bergbau der jeweiligen Rohstoffe aktiv unterstützt wird. **Dazu sollten sie sich verpflichten, dass mit rund 80 % ein Großteil ihrer Rohstoffe aus zertifizierten Minen stammt.** Die dadurch entstehenden Mehrkosten sollen direkt der

Verbesserung der menschenrechtlichen und ökologischen Bedingungen in den Förderländern zu Gute kommen. Zur praktischen Umsetzung des Lieferkettenmanagements der Erze und Metalle entlang der Wertschöpfungskette stehen eine Reihe von Konzepten zur Verfügung (vollkommene physische Segregation, ein Massenbilanz-Ansatz (Mass-Balance) oder ein sog. „Book and Claim“-System). Die Vor- und Nachteile dieser Ansätze werden an dieser Stelle nicht ausführlich erörtert. Dies ist in Kapitel 6.4.2 näher skizziert. Bereits heute existieren für einige Metalle entsprechende Systeme zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement wie z. B. das iTSCi-System für Zinn. Ziel einer Rohstoffwende muss sein, auch für andere Rohstoffe eine vergleichbare international funktionierende Infrastruktur für ein effizientes Lieferkettenmanagement auszubauen.

Qualitative Ziele NMR 3 (genaue Quantifizierung noch offen):

- Der bestehende **OECD-Ansatz (OECD, 2013) zu unternehmerischen Sorgfaltspflichten (Due Diligence) für Konflikt-Rohstoffe soll um weitere Kriterien zu menschenrechtlichen und ökologischen Themen sowie um weitere Rohstoffe** erweitert werden. Weitere rohstoffspezifische Untersuchungen bezüglich des Konfliktrisikos sowie weiteren menschenrechtlicher Risiken sind notwendig. Dies gilt auch hinsichtlich einer Ausweitung des Geltungsbereichs auf alle Weltregionen.
- Eine Verzahnung von verbindlichen Sorgfaltspflichten und freiwilligen Zertifizierungsmechanismen soll weitergehend ausgearbeitet werden - insbesondere in Richtung der Anerkennung der verschiedenen freiwilligen Initiativen im Rahmen einer verbindlichen Umsetzung der Sorgfaltspflichten.

**Cluster NMR 4 „Besonderes potentiell Landschaftsrisiko“: Kriterien und Ziele**

Cluster NMR 4 „besonderes potentiell Landschaftsrisiko“ zeichnet sich durch einen Rohstoff aus, dessen Gewinnung einen Landschaftseingriff in die besondere Naturlandschaft der Salzseen<sup>32</sup> - überwiegend in Südamerika - aufweist

	<b>Cluster NMR 4</b> (1 Rohstoff)	Mit diesem Cluster wird auf besondere Naturlandschaften in Südamerika abgezielt – im speziellen auf die Salar de Uyuni in Bolivien <sup>33</sup> (siehe Bild unten). Die Gewinnung von Lithium weist eine hohe Flächeninanspruchnahme auf und könnte eine großflächige Zerstörung des einzigartigen Natur- und Lebensraumes nach sich ziehen.
<b>Cluster-name</b>	<b>Besonderes potent. Landschafts- risiko</b>	Die Nachfrage nach Lithium wird durch den Einsatz von Lithium-Ionen Batterien u. a. in der Elektromobilität getrieben und in Zukunft voraussichtlich erheblich ansteigen. Es wird an Substitutionsmöglichkeiten geforscht und getestet – aber eine Lithium-freie Batterie für die Elektromobilität ist mindestens für die nächsten 10 bis 15 Jahren nicht absehbar. Neben den ökologischen Risiken bei der Gewinnung von Lithium, steigt das Risiko der Versorgungssicherheit durch die deutlichen Steigerungsraten des Lithiumbedarfs in den nächsten Jahren. Auch wenn intensive F&E-Vorhaben zum Lithium-Recycling aus Lithium-Ionen-Batterien laufen, ist bislang ein Recycling von Lithium aus Lithium-Ionen-Batterien auf dem europäischen Markt v. a. aus ökonomischen Gründen noch nicht realisiert.
<b>Cluster- Repräsen- tant</b>	<b>Lithium</b>	
<b>Rohstoffe</b>	Lithium	

**Abbildung 5-5: Salar de Uyuni in Bolivien**



Quelle: Öko-Institut e.V. (Stefanie Degreif, 2007)

<sup>32</sup> Die Gewinnung von Lithium findet ebenso aus Erz (z. B. Spodumen) statt.

<sup>33</sup> Bisher ist die Lithium-Gewinnung in der Salar de Uyuni nicht realisiert. Aber der Druck auf die weltweiten Lithium-Vorkommen wird steigen.

Somit sind folgende Ziele für das Cluster „besonderes potentiell Landschaftsrisiko“ identifiziert:

Qualitative Ziele für Cluster NMR 4 (genaue Quantifizierung noch offen):

- **Recycling von Lithium aus den Li-Ionen-Batterien** muss in naher Zukunft realisiert werden: Hierfür sind u. a. weitere F&E-Maßnahmen und voraussichtlich ordnungsrechtliche Vorgaben notwendig.
- **Erarbeiten von Kriterien für einen schonenden Abbau von Lithium:** Für den großflächigen Abbau von Lithium nach Umwelt- und sozioökonomische Kriterien in besonderen Naturlandschaften sind Kriterien mit Stakeholdern zu entwickeln und einzuführen.

**Cluster NMR 5 „Phase-out-Materialien“: Kriterien und Ziele**

In das Cluster „Phase-out-Materialien“ fallen die toxischen Rohstoffe Cadmium und Quecksilber.

	<b>Cluster NMR 5</b> (2 Rohstoffe)	Diese Rohstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass auf ihnen bereits ein besonderes Augenmerk aufgrund ihrer toxischen Eigenschaften liegt. In Zukunft wird eine Reduzierung des Einsatzes dieser Materialien vorangetrieben.
<b>Cluster-name</b>	<b>Phase-out-Materialien</b>	Quecksilber ist ein giftiges Schwermetall, was beim Einatmen der Dämpfe stark toxisch wirkt und Umwelt- und Gesundheitsschäden hervorruft. Für Quecksilber wurde daher in 2013 das Minamata-Übereinkommen <sup>34</sup> entwickelt. Dieser völkerrechtliche Vertrag zielt darauf ab, dass die Emissionen von Quecksilber begrenzt werden sollen. Derzeit fällt Quecksilber in den Kompaktleuchtstoffen noch unter die RoHS <sup>35</sup> -Ausnahmeregelung. Ab 2020 ist es verboten, quecksilberhaltige Produkte wie Leuchtmittel und Thermometer zu produzieren oder zu verkaufen. Zudem dürfen Quecksilber-Abfälle nur unter strengen Auflagen gelagert und entsorgt werden. (BMUB, 2016) Quecksilber wie auch Cadmium fallen beide unter die EU-Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals / Registrierung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe).
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Cadmium</b>	
<b>Rohstoffe</b>	<b>Cadmium</b> Quecksilber	

Das sehr seltene Element Cadmium ist als Cadmiumoxid ein Rohstoff mit sehr hoher Toxizität (siehe auch Kapitel 8.11). In der Europäischen Union ist der Einsatz von Cadmium seit 2011 in Schmuck, Legierungen zum Lötten und PVC aufgrund der hohen Toxizität verboten. Die Cadmium-Verwendung in Elektro- und Elektronikprodukten ist unter RoHS aufgeführt und die Verwendung in Farben und Lacken ist in REACH in der EU-Verordnung 2016/217 (EU, 2016) im Februar 2016 neu begrenzt worden.

<sup>34</sup> Anders als sonst üblich ist das Übereinkommen nicht nach dem Ort der letzten Verhandlungsrunde (Kumamoto) benannt. Es soll an die Minamata-Krankheit erinnern, die ab den 1950er Jahren in der japanischen Hafenstadt Minamata auftrat. Der japanische Chemiekonzern Chisso hatte über viele Jahre quecksilberhaltiges Wasser in die örtliche Bucht ins Meer geleitet und so bei tausenden Menschen massive Quecksilbervergiftungen verursacht, an denen etwa 3000 Menschen starben.

<sup>35</sup> Nach der EU-Richtlinie 2011/65/EU (RoHS = Restriction of Hazardous Substances) ist die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten zu beschränken.

Zudem werden Cadmium<sup>36</sup> und Quecksilber beide in der Altfahrzeug-Richtlinie (2000/53/EG) genannt, die nicht mehr in Werkstoffen und Bauteilen von Fahrzeugen in Verkehr gebracht werden dürfen.

Folgende Ziele wurden für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft für das Cluster „Phase-out-Materialien“ identifiziert:

Qualitative Ziele für Cluster NMR 5:

- **Fortführung von Phase-out-Regulierungen nach dem Vorbild der Minamata Konvention für Quecksilber:** Erarbeitung von Übereinkommen zur Eindämmung der Nutzung von Cadmium und Fortführung der Phase-out-Regulierungen.
- **Finden von geeigneten Senken:** Im Zuge der Phase-out-Phase wird der Rohstoff, der sich bereits auf dem Markt befindet, gesammelt. Für die Lagerung des Rohstoffs müssen geeignete Senken gefunden werden. Untertagedeponien für Sonderabfälle kommen hierfür vor allem in Betracht. Neben dem Vorkommen der Phase-out-Materialien in Produkten müssen auch die weiter produzierenden Rohstoffe, z. B. Cadmium als Nebenprodukt in der Primärzinkproduktion, ordnungsgemäß gelagert werden.

---

<sup>36</sup> Nach Anhang II der EU-Altfahrzeug-Direktive darf Cadmium in Batterien für Elektrofahrzeuge eingesetzt werden. Hier trägt die Kommission im Rahmen des Verfahrens nach Artikel 4 Absatz 2 Buchstabe b) und im Rahmen einer umfassenden Umweltverträglichkeitsprüfung der Verfügbarkeit von Ersatzstoffen sowie der Notwendigkeit Rechnung, die Verfügbarkeit von Elektrofahrzeugen aufrechtzuerhalten.

### Cluster NMR 6 „Sonstige Nicht-Massenrohstoffe“: Kriterien und Ziele

Das Cluster „Sonstige Nicht-Massenrohstoffe“ beinhaltet Rohstoffe, die in keines der vorherigen Cluster zugeordnet werden können. Diese Materialien weisen verschiedenartige Eigenschaften und Charakteristika auf.

	<b>Cluster NMR 6</b> (18 Rohstoffe)	Für diese 18 Rohstoffe sind einzelne Untersuchungen notwendig. Als erste Priorisierung sollte insbesondere Graphit näher betrachtet werden. Graphit wurde in der jüngsten Vergangenheit in der Öffentlichkeit diskutiert, da die Graphitgewinnung große Umweltverschmutzungen und Gesundheitsgefährdungen hervorruft (Whoriskey, 2016). Weiterhin wird Graphit als kritischer Rohstoff bei der Europäischen Kommission (EC, 2014) geführt.
<b>Cluster-name</b>	<b>Sonstige Nicht-Massenrohstoffe</b>	Weitere Rohstoffe in diesem Cluster sind 2014 von der Europäischen Kommission als kritische Rohstoffe identifiziert worden (EC, 2014). Hierzu zählen neben Graphit auch Antimon, Beryllium, Gallium, Germanium und Indium. Die Liste der kritischen Rohstoffe der Europäischen Kommission bezieht sich weder auf ökologische noch auf soziale Kriterien sondern setzt den Fokus auf dem Versorgungsrisiko. Unter REACH fallen aus diesem Cluster die Verbindungen der Rohstoffe Beryllium, Selen, Arsen, Zirkonium, Tellur, Strontium, Barium, Titan und Vanadium.
<b>Cluster-Repräsentant</b>		Rohstoffspezifische Untersuchungen zu ökologischen und sozialen Auswirkungen sind daher unbedingt notwendig.
<b>Rohstoffe</b>	Graphit Beryllium Gallium Selen Arsen Zirkonium Antimon Bismut Tellur Germanium Strontium Indium Barium Thallium Hafnium Titan Vanadium Osmium	<u>Definition der Ziele noch offen:</u>  Für die Rohstoffe in diesem Cluster müssen rohstoffspezifische Analysen zu den jeweiligen Charakteristika durchgeführt und bei Bedarf Ziele für eine Rohstoffwende formuliert werden.

### 5.2. Zusammenfassung rohstoffspezifische Ziele

Die vorgestellten verschiedenen Cluster-Charakteristika verdeutlichen, dass **rohstoffspezifische** Ziele bzw. clusterspezifische Ziele notwendig sind. Die Herausforderungen und Probleme der unterschiedlichen Cluster zeigen sich so unterschiedlich – von sozialen Risiken im Kleinbergbau bis hin zu Risiken der Landschaftsinanspruchnahme – dass verschiedenartige Ziele verfolgt werden müssen. Um diese facettenreichen Ziele zu erreichen, müssen anschließend entsprechende rohstoff- (bzw. cluster-)spezifische Maßnahmen und Instrumente entwickelt werden.

Aus den verschiedenartigen Clusterzielen wird nochmals deutlich, dass ein Dachziel über alle Rohstoffe nicht zielführend ist: Selbst eine übergreifende Reduzierung des primären Gesamtbedarfs ist nicht auf alle Rohstoffe bzw. Cluster zu übernehmen. So wird nach den untersuchten Szenarien „Business-As-Usual“ und „Rohstoffwende“ der primäre Bedarf von Neodym bis 2049 trotz der Einführung einer umfassenden Recyclinginfrastruktur voraussichtlich weiter steigen. Technologiemetalle wie Neodym spielen jedoch eine wichtige Rolle für die Energiewende, d. h. letztlich die massive Reduzierung der Inanspruchnahme von fossilen Energierohstoffen.

Die vorgestellten Cluster der Massen- und Nicht-Massenrohstoffe im Fokus des Projektes bauen auf Expertenwissen und langjährigen Erfahrungen auf. Mit diesen Rohstoffgruppen hat das Öko-Institut erstmals eine Clusterung von Rohstoffen mit ähnlichen Ziel-Charakteristika vorgeschlagen.

Die Rohstoffe in einem Cluster besitzen mindestens einen gemeinsamen HotSpot wie z. B. Risiken der Arbeitssicherheit und Kinderarbeit oder einheitliche besondere Eigenschaften wie die Recyclingfähigkeit. Dabei dürfen die rohstoffspezifischen Charakteristika der einzelnen Rohstoffe in einem Cluster nicht außer Acht gelassen werden. Rohstoffspezifische Analysen sind weiterhin notwendig. Den verschiedenen Clustern der Massen (MR)- und Nicht-Massenrohstoffe (NMR) wurden clusterspezifische Ziele zugeordnet.

Bei manchen Clustern konnte bereits auf eine detaillierte Untersuchung im Rahmen des Projektes zurückgegriffen werden. Hier wurden **erste quantitative Ziele** für die Cluster bzw. einzelne Rohstoffe identifiziert und detaillierte Maßnahmen und Instrumente zur Zielerreichung erarbeitet. Dies wurde für folgende Cluster vorgenommen

- MR 1 „heimische Baurohstoffe“: Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden, Steigerung des hochwertigen Einsatzes von Sekundärmaterial, Reduzierung des absoluten Primärrohstoffbedarfs
- MR 2 „Baustoffe“: Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden, Reduzierung des absoluten Primärbedarfs für Zement
- MR 3 „Hauptmassenmetalle“: Absolute Reduzierung des Primärbedarfs für Stahl
- NMR 1 „Seltene Erden“: Steigerung des Einsatzes von Sekundärmaterial auf 30 %, Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT-Produkten um 50 %, eingesetztes Primärmaterial soll aus 80 % zertifiziertem Primärmaterial bestehen
- NMR 2 „Gut recycelbare Rohstoffe“: Steigerung der Recyclingrate von Gold und Silber im Elektronikbereich auf 50 % und für Platin und Palladium im Fahrzeugbereich auf 80 %
- NMR 3 „Konflikte & Kleinbergbau“: 80 % der importierten Rohstoffe sollen aus zertifizierten Minen stammen

Als konkretes Beispiel kann hier der Cluster-Repräsentant Neodym genannt werden, für den detaillierte Ziele sowie konkrete Maßnahmen und Instrumente erarbeitet wurden wie z. B. die Zertifizierung der primären Gewinnung von Neodym. Diese erarbeiteten Maßnahmen sind im folgenden Kapitel ausgeführt. Für diese konkreten Maßnahmen und Instrumente können die nächsten Schritte zu einer weiteren politischen Ausgestaltung und Implementierung in Angriff genommen werden.

Bei anderen Clustern konnte nicht auf eine solch detaillierte Analyse zurückgegriffen werden - aber **erste qualitative Ziele wurden hier skizziert**. Diese Ziele benötigen noch eine Spezifizierung im

Detail sowie eine Ausarbeitung der konkreten Maßnahmen und Instrumente. Hierzu zählen die Cluster

- MR 2 „Baustoffe“ mit der GWP schonenden Technologie
- MR 3 „Hauptmassenmetalle“ mit der Ausschöpfung des Recyclingpotenzials, Einsparung der Treibhausgase, Zertifizierung der Einhaltung von Umweltstandards bei der Erzgewinnung
- MR 4 „Industriesalze“ mit der Reduzierung der Wasserverunreinigung und der Reduzierung des Primärkaliumeinsatzes
- MR 5 „Sonstige Massenmetalle“ mit der absoluten Primärbedarf-Reduzierung und der Erhöhung der Recyclingraten
- MR 6 „Sonstige Massenrohstoffe“ mit Phosphatrückgewinnung und Reduktion des Primärbedarfs von Phosphat
- NMR 2 „gut recycelbare Rohstoffe“ mit einer weiteren Erhöhung der Recyclingrate und die dadurch anfallenden Treibhausgas-Einsparpotenziale
- NMR 3 „Konflikte & Kleinbergbau“ mit der Erweiterung des OECD-Ansatzes, der Verzahnung der verbindlichen Sorgfaltspflichten mit den Zertifizierungsmechanismen
- NMR 4 „besonderes potentiell Landschaftsrisiko“ mit einer Etablierung des Recyclings von Li-Ionen-Batterien und einer schonenden Lithiumgewinnung
- NMR 5 „Phase-out-Materialien“ mit der Fortführung der Phase-out-Regulierungen und dem Finden von geeigneten Senken

Als Beispiel ist das Cluster NMR 2 „gut recycelbare Rohstoffe“ zu nennen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf innerhalb der Cluster und rohstoffspezifischen Besonderheiten z. B. nach bestehenden Hemmnissen und Barrieren einer besseren EoL-Recyclingrate bei ausgewählten Metallen.

Bei anderen Clustern sind **Forschungen notwendig**, um rohstoffspezifischen Charakteristika und mögliche Hotspots zu identifizieren. Im Falle von relevanten Auswirkungen und HotSpots sind anschließend **Ziele zu definieren**. Bei folgenden Clustern bzw. Rohstoffen bedarf es noch weiterer Forschung:

- MR 1 „heimische Baurohstoffe“ für Gips
- MR 2 „Baustoffe“ für Kalk gebrannt
- MR 4 „Industriesalze“ für Steinsalz
- MR 6 „Sonstige Massenrohstoffe“ für Schwefel, Titandioxid, Flussspat, Baryt und Spezialsande
- NMR 6 „Sonstige Nicht-Massenrohstoffe“ für alle 18 Rohstoffe

Zur Erreichung einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft sollte die Politik die rohstoffspezifische Forschung aktiv fördern, damit nicht nur das ökonomische Versorgungsrisiko betrachtet wird, sondern auch wir unserer Verantwortung nachkommen, die negativen sozialen und ökologischen Auswirkungen unseres Rohstoffbedarfs zu minimieren.

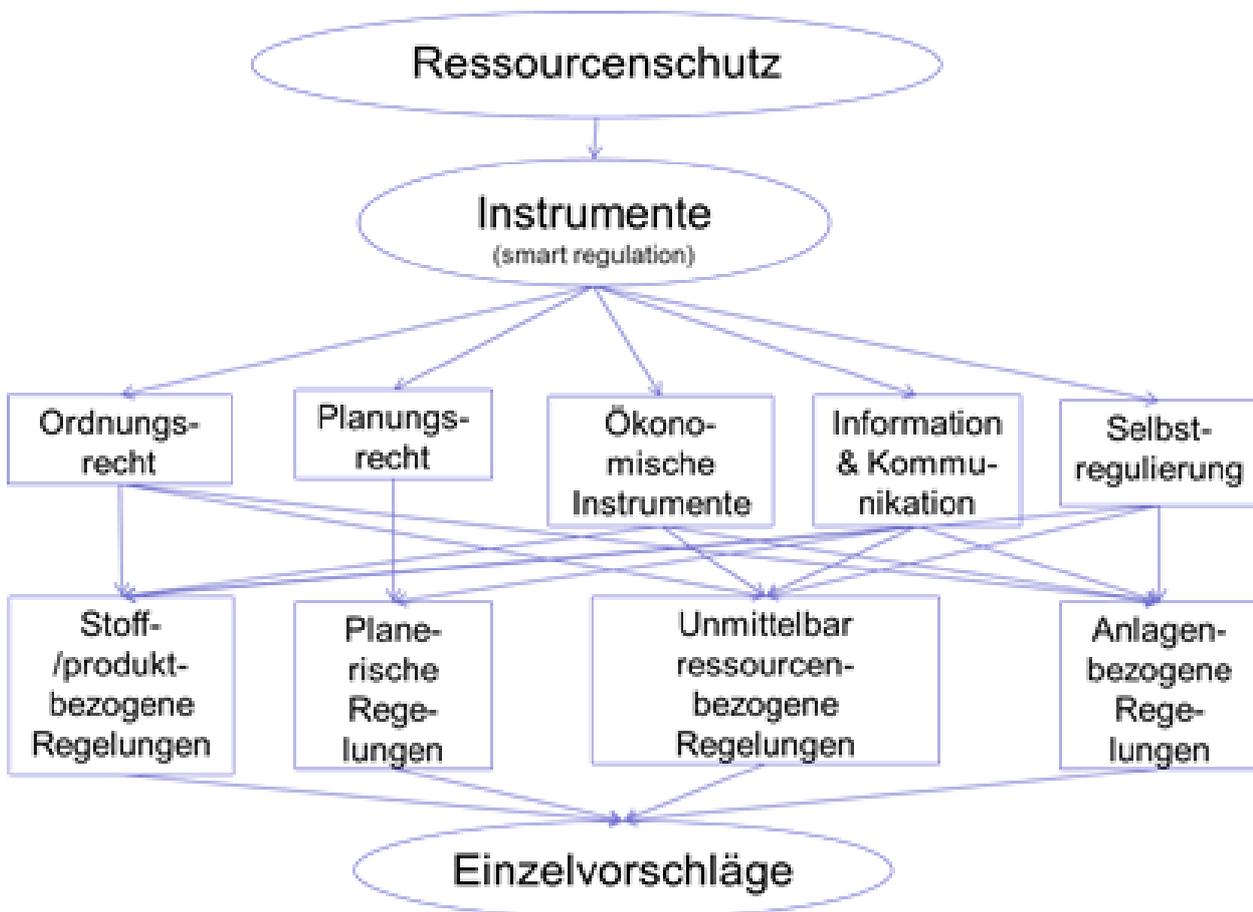
## 6. Ausgewählte skizzierte Maßnahmen und Instrumente für eine Rohstoffwende

### 6.1. Allgemein

In diesem Kapitel werden ausgewählte Maßnahmen und Instrumente skizziert, die als prinzipiell geeignet angesehen werden, um einen Beitrag zur Erreichung der rohstoffspezifischen Ziele im Rahmen der Rohstoffwende (siehe zu den Zielen Kapitel 5) zu leisten. Die Maßnahmen und Instrumente sollen dazu dienen, die identifizierten Hotspots des jeweiligen Rohstoffs anzugehen. Zum Teil wird die Weiterentwicklung von bestehenden Maßnahmen gefordert, zum Teil handelt es sich auch um die Einführung neuer Instrumente und Maßnahmen. Es handelt sich dabei um skizzierte Lösungsvorschläge, deren Ausgestaltung, Auswirkung und Zusammenspiel mit anderen Instrumenten nicht vertieft untersucht werden. Die vorliegenden Maßnahmen und Instrumente sind deshalb als Anregungen zur Entwicklung des bisherigen Regelungsrahmens zu verstehen.

Einen Überblick über die Instrumententypen des Umweltrechts zum Ressourcenschutz bietet die folgende Abbildung.

Abbildung 6-1: Überblick über Instrumententypen zum Ressourcenschutz



Quelle: Sanden/Schomerus/Schulze, Entwicklung eines Regelungskonzepts für ein Ressourcenschutzrecht des Bundes, 2012

## 6.2. Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld Mobilität

### 6.2.1. Maut

#### 6.2.1.1. Netzweite fahrleistungsbezogene Maut für Kraftfahrzeuge

##### Hintergrund

Das Instrument einer fahrleistungsbezogenen Maut für Kraftfahrzeuge (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und Lkw) die auf dem deutschen Straßennetz bewegt werden, ermöglicht zum einen eine verursachergerechte Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur. Daneben können weitere externe Kosten (Unfall-, Umwelt- und Gesundheitskosten) verursachergerecht angelastet werden. Dadurch werden die spezifischen Kilometerkosten erhöht, wodurch Anreize geschaffen werden, Verkehre zu vermeiden, die Auslastung der Fahrzeuge zu erhöhen und öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen (UBA, 2010). Eine Fahrzeugmaut mittels einer Plakette, wie sie in den vergangenen Jahren diskutiert wurde, führt hingegen kaum zu Anreizen möglichst weniger oder kürzere Strecken zurückzulegen oder auf öffentliche Verkehrsmittel umzusteigen und wird hier nicht weiter diskutiert.

Schon heute existiert mit der Lkw-Maut für Fahrzeuge über 12 t zGG (zulässiges Gesamtgewicht), eine auf die Fahrleistung bezogene Straßennutzungsgebühr auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen. Das Instrument einer netzweiten fahrleistungsbezogenen Maut für Kraftfahrzeuge stellt eine Ausweitung der Maut auf das gesamte Straßennetz sowie ein Einbezug der Lkw < 12 t zGG, der leichten Nutzfahrzeuge, der Busse sowie der Pkw und Motorräder dar.

##### Ausgestaltung der Maut

Die konkrete Ausgestaltung der Maut muss bei der Einführung einerseits in Einklang mit der europäischen Gesetzgebung erfolgen, die beispielsweise für die Lkw einen bestimmten Rahmen für die Höhe und die Mautspreizung, also eine umweltbezogene Differenzierung der Mautsätze, beinhaltet. Andererseits müssen Mechanismen entwickelt werden, die Mauteinnahmen zur Errichtung und den Betrieb der Infrastruktur auf die entsprechenden Baulastträger zu allokalieren.

Bei der Entwicklung der technischen Umsetzung der Maut müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Fahrten auf mautfreien Strecken im Ausland müssen als solche erkannt und demzufolge nicht in die Erhebung einbezogen werden;
- Nutzer von im Ausland gemeldeten Fahrzeugen sollten die Möglichkeit haben, ein alternatives Abrechnungsverfahren zu nutzen;
- Die Abrechnung muss bei Wechsel des Fahrzeughalters auch zwischen definierten Abrechnungszeiträumen möglich sein.

Für die Erhebung der abzurechnenden mautpflichtigen Fahrleistung bieten sich sogenannte On-Board-Units (OBU) an. Diese in Fahrzeugen verbauten Geräte würden mit Kartenmaterial ausgestattet und könnten mittels GPS-Erkennung die zurückgelegte Fahrleistung den verschiedenen Straßenkategorien zuordnen und mit gespeicherten Mautsätzen verrechnen, ohne dass ein fahrzeugbezogenes Bewegungsprofil auf dem Gerät festgehalten wird. Zusätzlich wäre es möglich die Höhe der Maut zeitlich zu differenzieren und damit bspw. der unterschiedlichen Schadwirkung von Lärmemissionen in Abhängigkeit der Tageszeit gerecht zu werden. Damit würde auf den Geräten nur die Fahrzeugkategorie und deren spezifische Mautsätze sowie die

erhobene Maut je Straßenkategorie und Zeitfenster gespeichert und z. B. monatlich mittels GSM<sup>37</sup> an die abrechnenden Institutionen übermittelt. Eine Echtzeitdarstellung der je Fahrt anfallenden Maut könnte dem Fahrzeugnutzer die entstehenden Kosten direkt vergegenwärtigen und damit Anreize schaffen, auf unnötige Wege zu verzichten<sup>38</sup>.

Nutzer von im Ausland gemeldeten Fahrzeugen sollten die Möglichkeit haben, ein alternatives Abrechnungsverfahren ohne OBU nutzen zu können. Dies könnte mittels Vignetten umgesetzt werden, die z. B. eine Gültigkeit von einem Tag oder einer Woche besitzen. Die zu veranschlagenden Kosten müssten dabei so angesetzt werden, dass die durchschnittliche Fahrleistung dieser Nutzergruppe abgedeckt und zusätzlicher Abrechnungsaufwand inkludiert ist.

Als Ansatzpunkt für die anzusetzende Höhe der Maut kann die Wegekostenberechnung herangezogen werden (Korn et al., 2014). Je nach Straßenkategorie liegt diese für Pkw im Jahr 2017 zwischen 2 und 5 Cent pro km. Für die nicht aufgeführten Straßenkategorien müssten die Wegekosten vor der Einführung der Maut entsprechend berechnet werden. Zusätzlich zu den aufgeführten Beträgen müssten die Erhebungskosten ermittelt und allokiert werden.

**Tabelle 6-1: Fahrleistungsbezogene Wegekosten nach Fahrzeuggruppen aus der Wegekostenrechnung**

Fahrzeugkategorien	Bundesautobahnen	Mautpflichtige Bundesstraßen	Sonstige Bundesstraßen
	€/vkm	€/vkm	€/vkm
Motorräder	0,014	0,019	0,033
Pkw und Kombi	0,02	0,031	0,05
Lieferwagen	0,023	0,036	0,058
Busse	0,109	0,265	0,373
Lkw bis 12t	0,044	0,074	0,111
Lkw ab 12t	0,137	0,296	0,344
<i>davon Achsklasse 1</i>	0,128	0,217	0,261
<i>davon Achsklasse 2</i>	0,137	0,309	0,353

Quelle: Korn et al., 2014

Zusätzlich sollten die externen Umweltkosten angelastet werden (s. Tabelle 6-2).

<sup>37</sup> GSM = Global System for Mobile Communication („per Mobilfunktechnologie“)

<sup>38</sup> Die Ausgestaltung ist angelehnt an einen Vorschlag von Martin Randelhoff auf der Internetseite „Zukunft Mobilität“ aus dem Jahr 2013 <http://www.zukunft-mobilitaet.net/37760/analyse/datenschutz-fahrleistungsabhaengige-maut-pkw-totalueberwachung/>

**Tabelle 6-2: Fahrleistungsbezogene Umweltkostensätze nach Fahrzeugkategorie und Straßentyp**

Kostensätze Verkehr		Innerorts	Außerorts	Autobahn	Alle Strecken (Ø)
		PKW (Flotte 2010)	Diesel	7,70	4,30
	Benzin	5,90	3,30	4,00	4,50
LKW (Flotte 2010)	LNF (Diesel)	18,60	6,70	8,30	12,90
	LNF (Benzin)	14,90	4,40	5,00	9,70
	SNF (Diesel)	44,60	18,30	18,30	25,10
Bus (Flotte 2010)	Diesel	54,40	25,90	23,40	37,30
Krafträder (Flotte 2010)	KR (Benzin, 4-T)	6,20	2,10	3,10	3,60
	KR (Benzin, 2-T)	6,30	2,20	3,00	3,70

Quelle: UBA, 2014

Die externen Umweltkosten sind stark abhängig vom Kraftstoffverbrauch und den Schadstoffemissionen. Auch hier gibt die Methodenkonvention Anhaltspunkte für die Abschätzung der Höhe der Kosten. Am 01.01.2016 betrug der Anteil der Euro IV bis Euro VI Fahrzeuge bei 72 % und wird zukünftig weiter zunehmen. Demzufolge dürften die externen Kosten bei rund 4 bis 5 ct pro km liegen<sup>39</sup>.

**Tabelle 6-3: Umweltkosten pro Fahrzeugkilometer für verschiedene Fahrzeugtypen in Deutschland (in €-Cent/Fzkm)**

Fahrzeugtyp und Emissionskategorie	Auspuff		Abrieb	Lärm	Lebenszyklus	Gesamt
	THG	nicht THG				
<b>Pkw Benzin (Flotte 2010)</b>						
Euro I	1,7	1,7	0,1	0,7	1,8	<b>6,0</b>
Euro II	1,7	1,2	0,1	0,7	1,8	<b>5,4</b>
Euro III	1,6	0,3	0,1	0,7	1,8	<b>4,5</b>
Euro IV	1,5	0,3	0,1	0,7	1,8	<b>4,4</b>
Euro V	1,4	0,2	0,1	0,7	1,8	<b>4,3</b>
<b>Pkw Diesel (Flotte 2010)</b>						
Euro 0	1,5	3,5	0,1	0,7	2,3	<b>8,1</b>
Euro I	1,3	3,6	0,1	0,7	2,3	<b>8,0</b>
Euro II	1,2	2,8	0,1	0,7	2,3	<b>7,1</b>
Euro III	1,2	2,0	0,1	0,7	2,3	<b>6,3</b>
Euro IV	1,2	1,6	0,1	0,7	2,3	<b>5,8</b>
Euro V	1,1	0,9	0,1	0,7	2,3	<b>5,1</b>

Quelle: UBA, 2014

Die Mautsätze für Pkw einschließlich der Umweltkosten sollten sich demnach je nach Straßenkategorie in der Größenordnung von 6 ct (Benzin, Bundesautobahn) bis 10 ct (Diesel, sonstige Bundesstraßen) zuzüglich der Erhebungskosten bewegen. Bei einer durchschnittlichen Jahresfahrleistung von 13.568 km/a (Fahrleistungserhebung 2014) würde sich eine durchschnittliche Maut in Höhe von 815 bis 1.350 €/a ergeben.

<sup>39</sup> In dieser Abschätzung bleiben überhöhte Luftschadstoffemissionen bei aktuellen Dieselfahrzeugen unberücksichtigt!

Im Gegensatz zu einer auf einzelne Streckenabschnitte (z. B. Autobahnen) beschränkte Maut bietet eine Netzweite Maut den Vorteil, dass sich der Kontrollaufwand tendenziell reduziert. Bei den Kontrollen muss dann lediglich die Existenz einer in Betrieb befindlichen OBU festgestellt werden. Die Bußgelder bei fehlender der oder nicht in Betrieb befindlichen OBU müssen so hoch gewählt werden, dass trotz geringer Kontrollichte keine Anreize bestehen sich der Mauterfassung zu entziehen. Ab dem Jahr 2025 sollten Kraftfahrzeuge im Rahmen der Hauptuntersuchung auf ein funktionsfähiges OBU geprüft werden.

### **Zeitlicher Verlauf für die Umsetzung einer fahrleistungsbezogenen Maut**

Eine zum europäischen Recht konforme Ausgestaltung der Maut einschließlich einer aktualisierten Berechnung der externen Kosten sollte bis zum Jahr 2020 erfolgen. Parallel dazu ist ein Dialogprozess mit gesellschaftlichen Akteuren durchzuführen um die in Hinblick auf den Datenschutz erforderlichen Kriterien und Anforderungen an das Erfassungssystem zu definieren wie bspw. die Einführung einer Datenclearingstelle um die Möglichkeit der Ableitung von Bewegungsprofilen zu verhindern.

Bis zum Jahr 2022 sollten die technischen Anforderungen einschließlich des Schutzes vor Manipulation und Schutz vor Fremdzugriff an die OBU festgelegt werden, damit diese bei den neu zugelassenen Fahrzeugen standardmäßig installiert werden können. Bis zum Jahr 2024 sollte die Infrastruktur und Institutionen für die Erhebung der Maut fertiggestellt werden so dass ab dem Jahr 2025 mit der Erfassung der Maut begonnen werden kann. Für Fahrzeuge im Bestand sollte im Jahr 2024 die Möglichkeit bestehen die Fahrzeuge mit einer OBU nachzurüsten, so dass eine funktionsfähige OBU ab 2025 ein Bestandteil der Hauptuntersuchung darstellt. Für sehr alte Fahrzeuge, für die das nachrüsten mit einer OBU nicht möglich ist, sollte für die Anfangszeit eine alternative Übergangslösung beantragt werden können (Bspw. Ablesen und Abrechnen der Zählerstände bei den HU, pauschale oder mit Zählerständen registrierte Vignette). Für ausländische Fahrzeuge sollte bis 2025 ein System entwickelt werden, bei dem die Nutzer bspw. online oder an Tankstellen Tages- oder Wochenvignetten beziehen können und durch Informationen an den grenzüberschreitenden Straßen auf die Mautpflicht hingewiesen werden.

#### **6.2.1.2. Mautspreizung**

Das Instrument der Mautspreizung stellt eine Ergänzung zu den unter Abschnitt 6.2.1.1 aufgeführten Ausführungen dar. Die Mautsätze der fahrleistungsbezogenen Maut sollen so gestaltet sein, dass dadurch die von den konkreten Fahrzeugen verursachten Umweltkosten internalisiert werden. Allein dadurch werden Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten wie bspw. Elektro- oder Brennstoffzellenfahrzeug aufgrund von geringeren innerstädtischen Lärmemissionen und Emissionen von Luftschadstoffen mit niedrigeren Mautsätzen beaufschlagt als verbrennungsmotorische Fahrzeuge.

Zusätzlich können die Mautsätze darüber hinaus nach Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter gespreizt werden. Dabei gibt es verschiedene Optionen:

Eine **aufkommensneutrale**<sup>40</sup> **Spreizung** begünstigt alternative Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten gegenüber konventionellen Fahrzeugen, wobei die Höhe der Mindereinnahmen, welche von der Fahrleistung der Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten abhängt, von den konventionellen Fahrzeugen zu tragen ist. Mit diesem Ansatz wird jedoch das Konzept der verur-

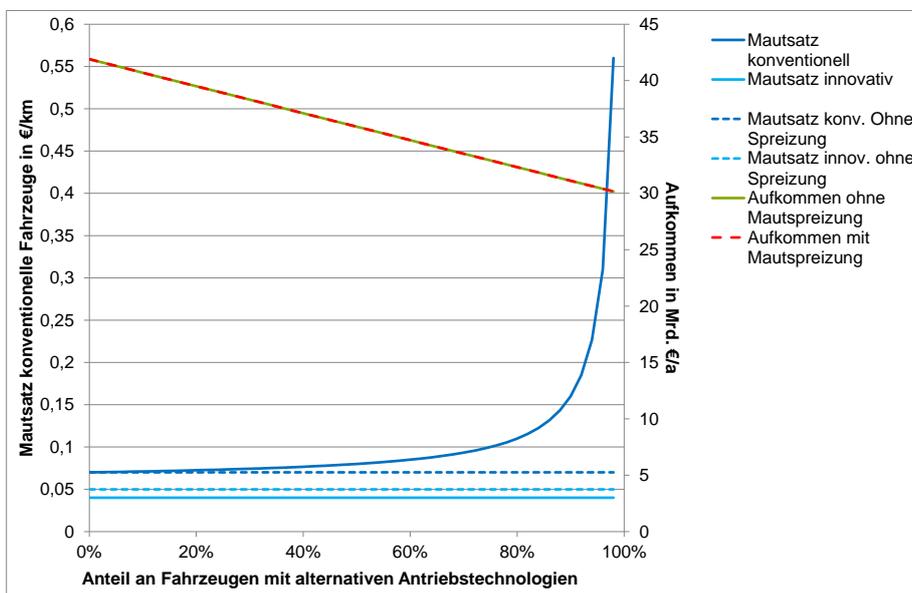
---

<sup>40</sup> Der Begriff „Aufkommensneutral“ ist in dem Sinne zu verstehen, dass durch die Mautspreizung dieselben Einnahmen generiert werden wie ohne Mautspreizung. Durch die Förderung alternativer Antriebskonzepte sinken jedoch mit zunehmender Marktdurchdringung die externen Kosten und damit auch die Mauteinnahmen.

sachergerechten Maut außer Kraft gesetzt, da Nutzer konventioneller Fahrzeuge über die dann höhere Maut mehr bezahlen als sie an externen Kosten verursachen. Je höher der Anteil innovativer Fahrzeuge ist desto stärker weichen die zu zahlende Maut von den verbrennungsmotorischen Fahrzeugen von den von Ihnen verursachten externen Kosten ab und desto größer wird der Anreiz, auf Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechnologien zu setzen.

Das folgende Beispiel 1 verdeutlicht dies vereinfachend anhand zweier angenommener Mautsätze von 7 ct/km (verbrennungsmotorische Pkw) und 5 ct/km (Pkw mit alternativen Antriebstechnologien) und einer Mautspreizung für letztere von 1 ct/ km.

**Abbildung 6-2: Aufkommensneutrale Mautspreizung von 1 ct/km: Mautsätze und Aufkommen für konventionelle Pkw (Annahme: Mautsatz 7 ct/km) und Pkw mit alternativen Antriebstechnologien (Annahme: Mautsatz 5 ct/km) in Abhängigkeit der Marktdurchdringung alternativer Antriebstechnologien**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Durch die Mautspreizung von 1 ct/km ergeben sich für den Nutzer eines Fahrzeuges mit alternativem Antrieb eine durchschnittliche jährliche Kostenreduktion von 133 €/a. Mit zunehmender Marktdurchdringung der alternativen Antriebstechnologien steigt der Kostenvorteil für Halter von Pkw mit alternativen Antriebstechnologien gegenüber konventionellen Fahrzeugen an.

**Tabelle 6-4: Beispiel 1: Kostenvorteil von Pkw mit alternativen Antriebskonzepten gegenüber konventionellen Pkw in €/a**

Anteil alternative Antriebstechnologie	€/a
10 %	148
20 %	166
30 %	190
40 %	222
50 %	266
60 %	333
70 %	443
80 %	665
90 %	1.330

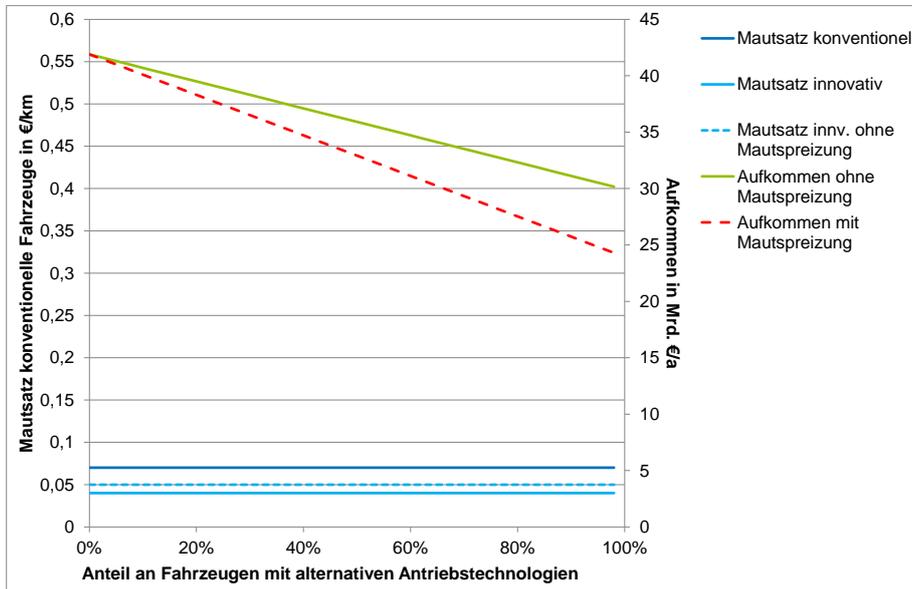
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Da mit steigender Marktdurchdringung gleichzeitig die Kosten der Pkw mit alternativen Antriebskonzepten fallen und die notwendige Förderung dadurch geringer ausfallen dürfte, scheint dieser Ansatz wenig sinnvoll.

Eine **nicht aufkommensneutrale Spreizung**, bei welcher Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten nicht die vollständigen von Ihnen verursachten Umweltkosten begleichen, stellt eine weitere Option der Ausgestaltung der Mautspreizung dar. Mit diesem Ansatz sinkt das Mautaufkommen mit zunehmenden Fahrleistungsanteilen der Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten. Mit einer zunehmenden Durchdringung werden also geringer Anteile der externen Kosten internalisiert bzw. zunehmend Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten subventioniert.

Beispiel 2 verdeutlicht dies in folgender Abbildung. Hier werden konstante Mautsätze sowie eine konstante Mautspreizung unterstellt.

**Abbildung 6-3: Nicht aufkommensneutrale Mautspreizung von 1 ct/km: Mautsätze und Aufkommen für konventionelle Pkw (Annahme: Mautsatz 7 ct/km) und Pkw mit alternativen Antriebstechnologien (Annahme: Mautsatz 5 ct/km) in Abhängigkeit der Marktdurchdringung alternativer Antriebskonzepte**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Die Kostenvorteile für Pkw mit alternativen Antriebskonzepten bleiben in diesem Beispiel auch bei zunehmender Marktdurchdringung konstant, sind aber weniger stark ausgeprägt als bei dem Ansatz der aufkommensneutralen Mautspreizung.

Da innovative Technologien insbesondere in der Phase der Markteinführung besondere Anreize notwendig machen und eine Kostendegression erwartet werden kann ist es fraglich, ob eine Subvention bei einem hohen Marktanteil noch notwendig ist.

Bei einer Einführung einer fahrleistungsabhängigen Maut sollte deshalb zur Förderung alternativer Antriebskonzepte eine Mautspreizung vorgenommen werden. Um die rückläufigen Einnahmen zu kompensieren sollte diese mit Erreichen relevanter Marktanteile, z. B. 25 %, kontinuierlich zurückgefahren werden, sofern Kostenabschätzungen zu diesem Zeitpunkt ergeben, dass hinsichtlich eines Gesamtkostenvorteils aus Nutzerperspektive dadurch einen Kostenvorteil für verbrennungsmotorische Fahrzeuge ergibt.

**Zeitlicher Verlauf für die Umsetzung einer Mautspreizung**

Bis zum Jahr 2024 sollten Kostenanalysen durchgeführt werden, um die sinnvolle Höhe einer Mautspreizung für Fahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten zu ermitteln und einen geeigneten Ansatz für eine Degression zu bestimmen. Die Mautspreizung sollte dann mit der Einführung der fahrzeugbezogenen Maut im Jahr 2025 umgesetzt werden.

Ein kontinuierliches Monitoring sollte sicherstellen, dass mit zunehmendem Anteil an Fahrzeugen mit alternativen Antriebskonzepten die nicht internalisierten externen Kosten eine zu bestimmende Höhe nicht überschreiten.

### 6.2.2. CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte

Mit der europäischen Gesetzgebung zu den CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerten steht ein Instrument zur Verfügung, welches neben Energieeffizienz von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen auch alternative Antriebskonzepte adressiert.

Der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwert beschränkt schon heute die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Neuzulassungen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen in Europa.

- Aktuell liegt der Grenzwert bei 130 g/km (Pkw) bzw. 175 g/km (LNF 2017)
- Ab 2021 sinkt der Grenzwert auf 95 g/km (Pkw) bzw. 147 g/km (LNF)

Bis zum Jahr 2023 werden Elektrofahrzeuge mehrfach angerechnet. Überschreiten die Hersteller ihren spezifischen Flottengrenzwert werden Strafzahlungen in Höhe von bis zu 95 €/g pro Fahrzeug fällig. Dadurch entsteht ein starkes Preissignal, welches ein Anreiz für Energieeffizienz und den Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antriebskonzepten ist. Der Flottengrenzwert bezieht sich derzeit auf den NEFZ (Fahrzyklus). Da in den vergangenen Jahren beobachtet werden konnte, dass sich die Kraftstoffverbräuche im NEFZ kontinuierlich verringert haben, die realen Verbräuche jedoch kaum ist in den kommenden Jahren eine Umstellung auf den realen WLTP-Fahrzyklus vorgesehen. Fahrzeuge deren Emissionen ausschließlich in der Kraftstoffbereitstellung entstehen wie batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) oder H<sub>2</sub>-Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) werden mit Null Emissionen angerechnet.

Mit der Ausgestaltung der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte nach dem Jahr 2021 steht also kurzfristig ein Instrument zur Verfügung, mit dem ein direkter Einfluss auf die Zusammensetzung der Neuzulassungen genommen werden kann, ohne dass eine konkrete Technologie vorgegeben wird. Der Vorteil an dem Instrument der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte ist, dass die Grenzwerte theoretisch bis auf 0 g/km verringert werden können.

Wie Klimaschutzszenarien zeigen, ist mittel- bis langfristig ein Ausstieg aus dem Einsatz verbrennungsmotorischer Fahrzeuge erforderlich um Klima- und Energieeffizienzziele zu erfüllen. Das Ziel für Deutschland, die Emissionen im Verkehrssektor bis zum Jahr 2030 um 38 % zu reduzieren (Bundesregierung, 2016), ist mit der aktuellen Zielgröße von 6 Millionen Elektrofahrzeugen beispielsweise nicht erfüllbar (NPE, 2011). Um die Zielerreichung sicher zu stellen wird ein Grenzwert der Neuzulassungen in 2030 von 20 g/pkm (nach NEFZ) vorgeschlagen.

Für schwere Nutzfahrzeuge existiert derzeit kein Flottengrenzwert. Die Komplexität ist bei schweren Nutzfahrzeugen ungleich größer, da diese für unterschiedliche Einsatzzwecke verwendet werden (mit unterschiedlichen Aufbauten versehen sind) sowie Chassis und Aufbauten von unterschiedlichen Herstellern stammen können. Als ersten Schritt wurde jedoch das Modellierungstool VECTO erarbeitet, mit dem zukünftig eine Basis für einen Vergleich der Kraftstoffverbräuche gegeben sein wird. Von Seiten der EU wird beabsichtigt, in einem ersten Schritt ein Monitoring der Kraftstoffverbräuche einzuführen und darauf aufbauend mittelfristig eine Regulierung zu erarbeiten.

#### Vorschlag für die Ausgestaltung der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte

Die Fortschreibung der Pkw-Flottengrenzwerte für den Zeitraum nach 2021, die in den nächsten Jahren festgelegt wird, sollte so ausgestaltet werden, dass im Jahr 2030 die durchschnittlichen Emissionen der Neuzulassungen in Deutschland **20g/km** nicht überschreiten.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist in den kommenden Jahren ein System zur Erhebung und dem Monitoring der Verbrauchswerte zu erstellen. Darauf aufbauend sind im Anschluss Unter-

suchungen durchzuführen, wie hoch ein geeigneter Grenzwert gesetzt werden sollte. Da auch bei konventionellen Fahrzeugen noch erhebliche Effizienzpotenziale von rund 30 % bestehen, muss der Flottengrenzwert für schwere Nutzfahrzeuge kontinuierlich um mindestens diesen Anteil reduziert werden um den Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antriebskonzepten zu forcieren.

### 6.2.3. Sonstige Instrumente zum Bedürfnisfeld Mobilität (Bundesmobilitätsplan)

#### Hintergrund

Der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) stellt ein Instrument der Verkehrsinfrastrukturplanung auf Bundesebene dar und beinhaltet sowohl die Bestandsnetze als auch Aus- und Neubauprojekte auf Straße, Schiene und Wasserstraße. Im Jahr 2016 wurde der neue BVWP 2030 verabschiedet. Dabei wurden auf Basis einer Prognose bezüglich der Verkehrsentwicklung Einzelprojekte bewertet und in verschiedene Dringlichkeitskategorien eingruppiert. Trotz eines höheren Anteils (69 %) der eingeplanten Finanzmittel für den Erhalt der Bestandsnetze als in den vorangegangenen Plänen ist auch im neuen BVWP eine Summe für den Neubau von fast 100 Mrd. € bis zum Jahr 2030 eingeplant.

Oftmals wird der BVWP für eine nicht ausreichend verkehrsträgerübergreifende und integrierte Planung kritisiert<sup>41</sup>. Statt eine übergreifende Netzentwicklungsstrategie zu entwickeln, wird eine Reihe von Einzelprojekten bewertet. Weitere Kritikpunkte sind eine mangelnde Bürgerbeteiligung, eine Überschätzung des Nutzens (z. B. regionale wirtschaftliche Entwicklung in der Kosten-Nutzen-Analyse) und die sich in der Vergangenheit ergebene lückenhafte Realisierung der Projekte des vordringlichen Bedarfs.

#### Maßnahme

Der Bundesverkehrswegeplan sollte deshalb weiterentwickelt werden hin zu einem verkehrsträgerübergreifenden und integrierten Bundesmobilitätsplan. Ziel soll ein Infrastruktursystem sein, mit welchem Mobilität gewährleistet und Verkehr reduziert wird. Damit soll die Prämisse der Infrastrukturplanung angepasst werden: statt der Bereitstellung einer Infrastruktur, die für die Erbringung der prognostizierten Verkehrsaufwände erforderlich ist, sollte der Fokus des Aus- und Neubaus der Infrastruktur bewusst in Hinblick auf die Verlagerung von Güter- und Personenverkehr hin zu Verkehrsträgern mit einer hohen Energieeffizienz, geringen Treibhausgasemissionen und niedrigen Ressourceninanspruchnahme und die Vermeidung von Verkehren gelegt werden. Dabei sind die europäischen verkehrspolitischen Mittel- und Langfristziele (Weißbuch Verkehr)<sup>42</sup> zu berücksichtigen.

Mit der Umsetzung eines integrierten Mobilitätsplanes sollte insbesondere angestrebt werden, die bestehende Infrastruktur effizienter zu nutzen und einen Ausbau auf das notwendige Maß zu beschränken. In der Planung sollten stets Maßnahmen zur Erhöhung der Kapazität durch eine Optimierung des Verkehrsflusses (z. B. durch Geschwindigkeitsbegrenzungen, Verkehrsleitsysteme) oder ähnliche Maßnahmen vorrangig betrachtet werden.

Der Bundesmobilitätsplan sollte klare und langfristige Ziele zur Vermeidung und Verlagerung, zur Emissionsminderung (Luftschadstoffe und Lärm), zur Dekarbonisierung sowie zur Endenergie-

<sup>41</sup> BUND: Bundesverkehrswegeplan 2030: Infrastrukturplanung fehlgeleitet; 01. Dezember 2016 <https://www.bund.net/themen/aktuelles/detail-aktuelles/news/bundesverkehrswegeplan-2030-infrastrukturplanung-fehlgeleitet/>

<sup>42</sup> WEISSBUCH Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:DE:PDF>

verbrauchsreduktion im Verkehrsbereich beinhalten. Dabei sollten Klimafolgenabschätzung von Infrastrukturplanungen unter Einbezug möglicher Verkehrsverlagerungseffekte von Infrastrukturausbau und -erhalt durchgeführt werden sowie die Klimafolgen und die Ressourceninanspruchnahme des Infrastrukturbaus selbst berücksichtigt werden<sup>43</sup>.

#### 6.2.4. Asphaltrecycling

Derzeit erzeugt die Asphaltwirtschaft eine jährliche Menge von ca. 43 Mio. t Asphalt. In diesem Asphalt werden ca. 10 Mio. t Altasphalt verarbeitet.<sup>44</sup> Um bei der Sanierung des bestehenden deutschen Straßennetzes den Verbrauch von neuem Asphalt zu vermindern, sollte das Asphaltrecycling gestärkt werden (siehe Abschnitt 4.1.1). So sind zur Erreichung des Rohstoffwende-Szenarios Maßnahmen notwendig, mit denen das Asphaltrecycling von derzeit 25 % auf 75 % gesteigert werden kann. Das Potenzial zum Einsatz von Recyclingmaterialien wird insbesondere auf der Ebene der Gemeindestraßen sowie bei Land- und Kreisstraßen nicht ausgeschöpft.<sup>45</sup> Ein Grund liegt in dem Risiko beim Einsatz von Recyclingmaterialien, dass öffentliche Auftraggeber nicht übernehmen wollen. Das Risiko rührt aus der größeren Heterogenität des Recyclingmaterials im Vergleich zu Primärmaterial und den damit möglichen Qualitätsunterschieden in den Bauleistungen. Allerdings kann diesem Risiko durch eine erhöhte Güte- und Qualitätssicherung begegnet werden.<sup>46</sup> Vor diesem Hintergrund sollten folgende Maßnahmen zur Verbesserung des Asphaltrecyclings angegangen werden:

- Vergaberechtliche Vorgaben in den Ländern und Gemeinden zum Einsatz von Recyclingasphalt bei der Erneuerung von Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen.
- Die Vorgabe von Maximalrecyclingraten für Asphalt in den technischen Regelwerken. So spiegeln die technischen Regelwerke aktuelle und spezifische wissenschaftliche Erkenntnisquellen und geben den Stand der Technik wieder. Dieser Stand ist von Unternehmen bei der Erneuerung von Asphaltdecken einzuhalten. Maßgeblich ist in diesem Fall die Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO)<sup>47</sup>. Die RStO regeln die Standardfälle bei Neubau und Erneuerung für den standardisierten Oberbau von Verkehrsflächen innerhalb und außerhalb geschlossener Ortslagen. Sie dienen der Schaffung und Beibehaltung eines Befestigungsstandards für Fahrbahnen und sonstigen Verkehrsflächen des Straßenverkehrs durch Anwendung technisch geeigneter und wirtschaftlicher Bauweisen. Sie berücksichtigen vor allem die Funktion der Verkehrsfläche, die Verkehrsbelastung, die Lage der Verkehrsfläche im Gelände, die Bodenverhältnisse, die Bauweise und den Zustand einer zu erneuernden Verkehrsfläche sowie die Bedingungen, die sich durch die freie Strecke oder die geschlossene Ortslage ergeben.

Als Beispiel können die Vorgaben des Landes Baden-Württemberg zum Maximalrecycling in den Ergänzungen zu den Technischen Vertragsbedingungen im Straßenbau Baden-Württemberg (ETV-StB-BW) genannt werden. Nach guten Erfahrungen in Pilotprojekten – hat das Land für seine Landesstraßen das Maximalrecycling zur Regelbauweise erklärt. Dazu wurde in der ETV-StB-BW der Mindestanteile für Altgranulat vorgegeben. Dieser liegt

<sup>43</sup> Bürgerdialog Klimaschutzplan 2050: Erstellung eines integrierten Bundesmobilitätsplanes und Sicherstellung der Erreichung der strategischen Umweltziele des BVWP 2015 (Bundesverkehrswegeplan)

<sup>44</sup> European Asphalt Pavement Association (2013)

<sup>45</sup> Bergmann, Bleher, Jenseit, Ressourceneffizienzpotenziale im Tiefbau (2015), S. 120.

<sup>46</sup> Bergmann, Bleher, Jenseit, Ressourceneffizienzpotenziale im Tiefbau (2015), S. 120.

<sup>47</sup> Die "Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen" (RStO), Ausgabe 2012, werden von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen herausgegeben.

für Asphalttrag- und -binderschichten bei mindestens 75 Ma% bis Ma90 %, für Asphaltdeckschichten bei mindestens 40 Ma% bis Ma50 %.<sup>48</sup>

### 6.2.5. Zertifiziertes Primär-Neodym

Die Gewinnung mineralischer Rohstoffe hat neben Auswirkungen auf die Umwelt auch Effekte auf die wirtschaftliche und soziale Entwicklung der Herkunftsregion. Eine Zertifizierung der Einhaltung sozialer und ökologischer Standards in der Primärgewinnung ist ein geeignetes Instrument zur Sicherstellung einer nachhaltigen Primärgewinnung. Hierbei wird nicht das Produkt zertifiziert sondern die Rohstoffgewinnung in dem Herkunftsland und/oder die Verarbeitung des Erzes. Ca. 95 % der geförderten jährlichen Gesamtmenge von Neodym wird in China unter nicht umweltgerechten Standards gewonnen und verarbeitet (Schüler et al., 2015), es findet auch illegaler Abbau statt. Somit wird auch der niedrige Marktpreis für Neodym in China bestimmt. Andere Förderer, wie z. B. die australische Lynas Corporation (Betreiber der Seltene-Erden-Mine am Mount Weld in Australien), versuchen bei dem niedrigen Preis rentabel zu sein, indem sie die Erzverarbeitung nach Malaysia „exportieren“, wo sie unter niedrigsten Umweltstandards und katastrophalem Abfallmanagement stattfindet. In den USA (Mountain Pass) wurden Seltene Erden in einer nachhaltigen Produktion gewonnen. Aufgrund der gesunkenen Preise musste die Produktion dieser Mine eingestellt werden. Es wäre daher eine weitgehende Abstimmung bzw. ein Abkommen auf internationaler Ebene zu empfehlen, um ein machbares Zertifizierungsverfahren zu entwickeln und zu etablieren. Somit kann eine Verbesserung der Förderungs- und Erzverarbeitungsbedingungen bzw. die Reduzierung negativer Umweltauswirkungen während der Förderung und der Erzverarbeitung erreicht werden.

Einer der drei quantitativen Ziele für Cluster NMR 1 „Seltene Erden“ ist der Einsatz von zertifiziertem Neodym-Primärmaterial, so dass in 2049 80 % des benötigten Neodyms aus zertifiziertem Primärmaterial stammen. Mit einer Zertifizierung erhalten Verwender und Konsumenten die Möglichkeit, die importierten Rohstoffe und Produkte einordnen zu können. Entsprechend der World Trade Organization (WTO) werden bei einer Zertifizierung die Hersteller, Anwender und Endproduktkonsumenten mit einbezogen. Eine entsprechende Zertifizierung hat den Vorteil, dass die Anwendung nicht nur auf der Ebene der Europäischen Union möglich wäre, sondern auch als ein international transparentes Verfahren gesehen werden kann, welches die kritischen Punkte der Förderungskette und des Abfallmanagements am jeweiligen Herkunftsort identifiziert.

Die Kriterien der Zertifizierung sollten die wesentlichen (ökologischen) Umweltbelastungen berücksichtigen, welche sich während der Förderung und Verarbeitung ergeben:

- Neben der Entstehung großflächiger Tagebaue und voluminöser Abraumhalden bei der Förderung benötigt das Verarbeiten des Ausgangsmaterials große Mengen an Wasser und Chemikalien. Durch die chemische Ähnlichkeit der Seltenen Erden bestehen die geförderten Ausgangsminerale immer aus komplexen Mischungen diverser Seltener Erden, welche aufwendig aufzutrennen sind. Übrig bleiben große Mengen toxischer Schlämme.
- Eine relevante radioaktive Belastung entsteht durch das üblicherweise im Erz vorhandene Thorium, welches durch die Verarbeitung zusätzlich im Abfallprodukt angereichert wird. Die entstehenden toxisch belasteten Schlämme weisen daher zusätzlich einen erhöhten Gehalt an Thorium auf und müssen unter Beachtung relevanter Strahlenschutzbestimmungen entsprechend zwischen- sowie endgelagert werden. Die gegenwärtige Lagerung der Schlämme erfolgt allerdings überwiegend in Tailings – mit Dämmen abgetrennten Becken oder Schlammteichen – ohne eine ausreichende bautechnische Absicherung. Es wird kein langfristiges Abfallkonzept

<sup>48</sup> Robert Zimmermann 2014

erarbeitet, die erforderlichen Strahlenschutzbestimmungen werden weder bei der Lagerung noch beim Recycling erfüllt.

- Während der Förderung und Verarbeitung sowie Abfalllagerung entstehen weiterhin Emissionen auf dem Luft- und Wasserpfad, wie Staub und saure Gase oder toxische Sickerwässer aus den Tailings. Ein Dammbuch verbunden mit Austritt toxischer Schlämme ist durchaus möglich und im globalen Bergbau ein immer wieder auftretendes Ereignis.

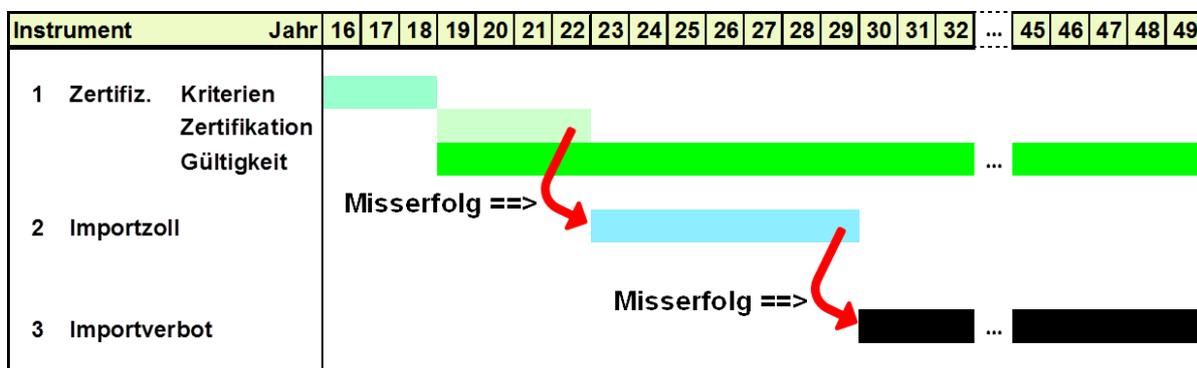
### Abgestuftes Verfahren

Als Grundlage für die Ableitung der Kriterien für die Zertifizierung sind die entsprechenden EU-Richtlinien heranzuziehen, welche die kritischen Bereiche der Umweltbelastung behandeln. Die Kriterien der Zertifizierung müssen zudem umsetzbar und praktikabel sein, weshalb eine „Abstufung“ der einzuhaltenden Kriterien vorgeschlagen wird: Zertifikat „Yellow Neodymium“ und Zertifikat „Green Neodymium“.

Es wird vorgeschlagen, zunächst im Rahmen eines partizipativen Prozesses, die Kriterien für „Yellow Neodymium“ und „Green Neodymium“ zu vereinbaren sowie die administrativen Fragen. In der Zeitzuordnung wird ein abgestuftes Verfahren in der Durchführung der Maßnahme vorgeschlagen: die freiwillige Zertifizierung, die Importzölle und das Importverbot. Bei mangelndem Erfolg der freiwilligen Zertifizierung sollte zunächst der Importzoll und bei weiterem Misserfolg das Importverbot ergriffen werden. Somit wird gewährleistet, dass sich das Handlungsinstrument im Rahmen der auf dem Markt herrschenden Bedingungen etablieren kann, bei fehlendem Erfolg aber eine restriktivere Maßnahme rechtzeitig zum Einsatz kommt.

Wie aus Abbildung 6-4 ersichtlich ist, betrüge die Vorbereitungszeit für die Maßnahme der Zertifizierung („Yellow“ und „Green Neodymium“) 3 Jahre (ab 2016) und die Zertifizierung könnte ab 2019 (ohne zeitliche Einschränkung) erfolgen. Sollte die freiwillige Zertifizierung nach 4 Jahren nicht mit dem erwünschten Erfolg verbunden sein, wäre ein Importzoll z. B. von 250 % des Einkaufspreises auf nicht zertifizierte Seltene Erden und von 125 % des Einkaufspreises auf „Yellow“-Qualität ab dem Jahr 2023 einzuführen. Nach Vorlaufzeit von insgesamt 14 Jahren, welche ausreichen sollte um die Wirksamkeit beider Maßnahmen zu zeigen, käme bei fehlendem Erfolg als letzte Option das Importverbot nicht nachhaltig erzeugter Seltener Erden und der daraus erzeugten Produkte aus Seltenen Erden ab 2030 zum Einsatz.

Abbildung 6-4: Abgestuftes Verfahren beim Einsatz der Instrumente



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e.V.

## Zertifikat „Yellow Neodymium“

„Yellow Neodymium“ sollte die Etablierung strengerer Emissionskriterien bei der Förderung/Verarbeitung und während der Abfallzwischenlagerung (Luft und Wasserpfad) fordern. Vorzuweisen wäre: die Herkunft des Rohstoffes (Ausschluss illegaler Tagebaue), das Abfallmanagement mit definierten Emissionskriterien auf dem Luft- und Wasserpfad, Gewährleistung der geomechanischen Stabilität der Lagerstätten. Die entsprechenden Genehmigungen, Pflichten, Anforderungen und Grenzwerte sollten eingeführt werden. Folgende EU-Richtlinien könnten sinnvollerweise als kriterialer Maßstab herangezogen werden. Sollten EU-Standards angewendet werden, schreibt die EU Mining Waste Directive 2006/21/EC die Verfüllung der Tagebaue und der Tailings, einen nachhaltigen Einschluss dieser Tailings (dauerhafte Abdeckung) und eine finanzielle Vorsorge für das Abfallmanagement vor.

**Das Abfallmanagement** orientiert sich an der Richtlinie über die Bewirtschaftung von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie EU Mining Waste Directive (2006/21/EG) und dazu verabschiedeten Durchführungsmaßnahmen, wobei die nationale zuständige Behörde gemeinsam mit dem Auditor die Kontrolle über die jeweilige Umsetzung der Maßnahmen und Einhaltung der Grenzwerte ausführt. Das **übergeordnete Ziel** wäre dabei, die negativen Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit infolge der Bewirtschaftung von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie zu vermeiden oder weitest möglich zu reduzieren. Demnach würde der Bereich Abfallmanagement und Anlagen des Abfallmanagements beinhalten:

- Beschreibung der erwarteten physikalischen und chemischen Eigenschaften der kurz- und langfristig abzulagernden Abfälle und deren Stabilität; Beschreibung der Ablagerung
- Inventarisierung von Neu- und Altanlagen mit Gefahrenpotenzial für die Umwelt, welche sich auf dem Gebiet der Förderstätte befinden.
- Sicherheitsmanagement der Entsorgungseinrichtungen, welcher Ermittlung/Bewertung großer Risiken und Notfallplanung zur Vermeidung der Folgen bei schweren Unfällen (System für das Sicherheitsmanagement, Notfallpläne für Unfälle) beinhaltet.
- Gestattung der Einleitung mineralischer Abfälle, sei es in fester oder flüssiger Form oder als Schlamm, in aufnehmende Gewässerkörper, die nicht zu diesem Zweck angelegt wurden, nur unter der Voraussetzung, dass der Betreiber die einschlägigen Bedingungen bestimmter Richtlinien erfüllt. (orientiert zusätzlich an 76/464/EWG - Verschmutzung der Gewässer, 80/68/EWG - Verschmutzung des Grundwassers)

Die **Genehmigungen, Pflichten, Anforderungen und Grenzwerte** sollten sich an folgenden Grundbestimmungen halten

- Genehmigungspflicht für Abfallentsorgungseinrichtungen und Abfallbewirtschaftungsplan - regelmäßige Übermittlung von Informationen über die Bewirtschaftung von Abfällen (2009/358/EG)
  - Name und Anschrift der Einrichtung und der zuständigen Genehmigungsbehörde,
  - Basisinformationen über die erteilte Genehmigung (Erteilungsdatum, Gültigkeitsdauer, Kategorie der Abfallentsorgungseinrichtung,
  - Kurze Beschreibung der Anlage und Angaben zur Art des Abfalls und der Überwachungs- und Kontrollverfahren.
- Anforderungen an geotechnische Stabilität, Gewässer- und Umweltschutz der Entsorgungseinrichtungen: notwendige Maßnahmen zur Vermeidung einer Verschlechterung des gegenwärtigen Wasserzustands (entsprechend der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG)

- Potenzial der Sickerwasserbildung und Schadstoffgehalt während der Betriebs- und Nachsorgephase;
  - Auffangen und Behandeln des verschmutzten Wassers und Sickerwassers so, dass die für eine Einleitung in Gewässer erforderliche Qualität erreicht wird;
  - geeignete Maßnahmen zur Vermeidung oder zur Verringerung von Staub- und Gasemissionen;
  - Sicherung der Dammstabilität.
- Ergänzung der technischen Anforderungen für die Charakterisierung der Abfälle (2009/360/EG)
    - Art des Abfalls und seine vorgesehene Behandlung;
    - geotechnisches Verhalten des Abfalls;
    - geochemische Eigenschaften und geochemisches Verhalten des Abfalls.
- Festlegung der Kriterien für die Einstufung von Abfallentsorgungseinrichtungen (2009/337/EG)
    - Festlegung der Grenzwerte entsprechend dem Typ der Abfallentsorgungseinrichtung (Art der freigesetzten Schadstoffe);
    - Einstufung nach ausgehender potentieller Gefährdung während und am Ende der Betriebsphase;
    - Versagen während des ganzen Lebenszyklus verhindern: Kurz- oder langfristig ernste Gefahr für die menschliche Gesundheit oder ernste Gefahr für die Umwelt wegen des Verlusts der physikalischen Stabilität oder wegen nicht ordnungsgemäßen Betriebs einer Abfallentsorgungseinrichtung.
- Ergänzung der Begriffsbestimmung „Inertabfälle“ (2009/359/EG) – verhindern, dass die Abfälle nicht „willkürlich“ wiederverwertet werden (*„keine Gefahr, dass sich die Abfälle in einem Maße zersetzen oder auflösen oder anderweitig verändern, dass die Umwelt oder die menschliche Gesundheit beeinträchtigt werden könnte“*)

### Zertifikat „Green Neodymium“

Das Zertifikat „Green Neodymium“ sollte zusätzlich die Einhaltung weiterer EU-konformer Abfallmanagementanforderungen, wie in der neuen EU-Richtlinie vorgesehen, in Gang setzen. Dazu gehört die Entwicklung nachhaltiger Deponiekonzepte, welche auch die Thoriumanreicherung berücksichtigen – demnach ist keine Abfallverwendung oberhalb 35 ppm Th möglich. Ein weiterer Bestandteil der EU-Anforderungen ist die Einführung finanzieller Vorsorge zur Endlagerung. Zusätzlich zu den Kriterien für „Yellow-Neodymium“ wären daher die Einhaltung EU-konformer Abfallmanagement-Anforderungen und der Bestimmungen des Strahlenschutzes entsprechend 2013/59/EURATOM umzusetzen sowie eine finanzielle Vorsorge einzuplanen:

- Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung: Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates („Extraktion seltener Erden aus Monazit“), welche Monitoring der Aktivitätskonzentration in anfallenden Abfällen vorsieht.
  - Bezogen auf die Abfallverwertung: Grenzwert der effektiven Dosis für die Exposition der Bevölkerung auf 1 mSv im Jahr gesetzt – dem entspricht eine Aktivitätskonzentration von ca. 0,14 Bq/g (ca. 35 ppm) Thorium - anfallende Abfälle zur Verwertung dürfen den Grenzwert nicht überschreiten.

- Bezogen auf die Arbeitssicherheit und Strahlenschutz: Grenzwert der effektiven Dosis für Beschäftigte 1,8 Bq/g (ca. 440 ppm) - entspricht dem Schutzwert von 10 mSv/a für beruflich Exponierte.
- Unter anderem schreibt die *EU Mining Waste Directive 2006/21/EC* die Verfüllung der Tagebaue und der Tailings, einen nachhaltigen Einschluss dieser Tailings (dauerhafte Abdeckung) und eine finanzielle Vorsorge für das Abfallmanagement vor (Orientierung an die technischen Leitlinien für die Festsetzung der finanziellen Sicherheitsleistung nach (2009/335/EG)).

*„Der Betreiber einer für die mineralgewinnende Industrie tätigen Abfallentsorgungseinrichtung sollte verpflichtet werden, eine angemessene finanzielle Sicherheitsleistung nach Verfahren, die im Zertifizierungsverfahren festzulegen sind, zu hinterlegen oder etwas Gleichwertiges, um sicherzustellen, dass alle aus der Genehmigung erwachsenden Verpflichtungen erfüllt werden, einschließlich der Verpflichtungen im Zusammenhang mit der Stilllegung der Abfallentsorgungseinrichtung und der Nachsorge.“*

### Importzölle

Die Einführung von Importzöllen (2. Stufe) sollte im Fall der problematischen Umsetzung der Zertifizierung (1. Stufe) erfolgen. Die Importzölle sollen einen robusten Anreiz zur Förderung nachhaltiger Produkte im Sinne der Preiserhöhung darstellen, wobei die Preise genügend hoch sein müssen, um der ökologischen Wahrheit zu entsprechen. Für „Yellow Neodymium“ wird ein Importzoll in Höhe von 125 % des Einkaufspreises vorgeschlagen, für „rotes Neodym“ (ganz ohne Einhaltung von Standards) 250 %. Die durch Importzölle gewonnenen finanziellen Mittel könnten zur Förderung der finanziell nicht abgedeckten „Maßnahmen“, wie Absicherung der Bergbaualllasten innerhalb der EU oder Pilotprojekte für den nachhaltigen Bergbau Seltener Erden innerhalb der EU (Skandinavien etc.), dienen. Aufgrund des relativ kleinen Erzeuger- und Anwenderkreis und der längeren Vorlaufzeit sind Importzölle relativ leicht umsetzbar und kontrollierbar.

### Importverbot

Sollten die zwei oben vorgestellten Maßnahmen nicht mit dem erwünschten Erfolg verbunden sein, wäre ein Importverbot (3. Stufe) einzuführen, welches die Rohstoffe und neodymhaltige Produkte betrifft, bei deren Gewinnung und beim Abfallmanagement entsprechende Standards der EU nicht eingehalten werden. Eine solche Maßnahme ist nur auf der EU Ebene umsetzbar. Die Beispiele aus den Konsumproduktstandards letzter Zeit zeigten eine gute Wirksamkeit dieser Maßnahme. Nachteilig ist allerdings, dass im Fall von Neodym derzeit lediglich ein einziger Lieferant (China) auf dem Markt dominiert und die Option eines Recyclings durch lange Vorlaufzeiten frühestens nach 10 Jahren relevant wird.

### Lieferkette-Optionen

Die Lieferketten-Optionen legen fest, wie die zertifizierten Rohstoffe je nach dem Produzent in der Lieferkette zu kombinieren sind. In Kapitel 6.4.2 werden die verschiedenen Zertifizierungsoptionen detailliert beschrieben). Für die Zertifizierung von Neodym sind folgende Ansätze zu präferieren:

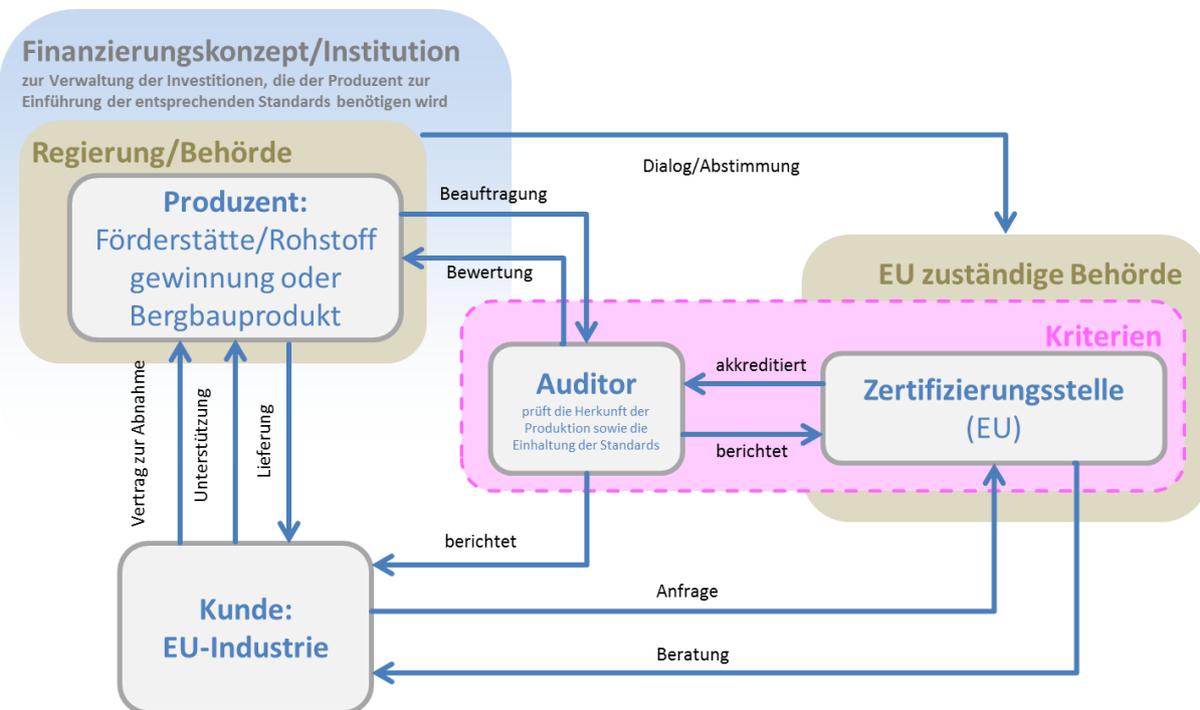
- „Identity preserved“ – der von einem Produzenten nachhaltig erzeugte, verarbeitete und transportierte Rohstoff wird entlang der gesamten Lieferkette getrennt vom konventionell erzeugten Rohstoff geführt.

- „Segregation“ – eine Mischung vom gleichen Rohstoff unterschiedlicher nachhaltiger Produzenten ist möglich. Wenn sinnvoll und erforderlich, wären die nachhaltigeren Produzenten außerhalb China zu präferieren.

### Konzept des Zertifizierungsverfahrens

Für die Zertifizierung ist ein entsprechendes Zertifizierungsverfahren (Bsp. siehe Abbildung 6-5) zu entwickeln, welche Kriteriensetzung und die Preisabsprache beinhalten sollte und die Akteure – den Rohstoffproduzenten, den Kunden (EU-Industrie), den Auditor und die Zertifizierungsstelle der EU - einbezieht. Der Produzent verpflichtet sich zur Einhaltung von umweltrelevanten Mindeststandards, ist für die Liefergarantie und die interne Kontrolle verantwortlich und beantragt die Zertifizierung bei der Zertifizierungsstelle. Der Abnehmer kann zum Teil die Beratung und die technologische Unterstützung für den Produzenten leisten. Bei den Rohstoffbezügen soll er auf die Mindeststandards achten und er ist im Dialog mit der Zertifizierungsstelle (Erfahrungsaustausch, Interessenvermittlung). Die Zertifizierungsstelle unterliegt der zuständigen EU-Behörde, welche zusammen mit dem Produzenten und dem Abnehmer den unabhängigen Auditor bestellt. Der Auditor wird mit der Prüfung der Produktion und der Einhaltung der Standards vom Produzenten beauftragt. Über ein Abkommen auf internationaler Ebene zwischen der Regierung des Herkunftslandes des Produzenten (zuständig für die Lizenzierung usw.) und der EU wäre weiterhin ein Finanzierungskonzept zu entwickeln und die verantwortliche Institution zu bestimmen, welche für die zur Umsetzung der Standards erforderlichen Finanzierung verantwortlich ist.

Abbildung 6-5: Mögliches Konzept der Zertifizierung



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

### 6.3. Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld Arbeiten & Wohnen

Die Bedürfnisfelder Arbeiten & Wohnen sind ressourcenseitig geprägt durch Massenbaustoffe wie Sand, Kies, Beton oder Stahl. Im Rahmen von Deutschland 2049 werden im Cluster „Heimische Rohstoffe“ Kies und im Cluster „Massenmetalle“ Eisen/Stahl als Repräsentanten betrachtet. Grundlegendes Ziel für die Massenrohstoffe in den Bedürfnisfeldern ist die Verbrauchsreduzierung. Zwei wesentliche Aspekte hierfür sind die Lebensdauererweiterung von Gebäuden und die Verwendung von Recyclingbaustoffen anstelle von Primärmaterialien. Hinzu kommt die weniger materialintensive Bauweise von Mehrfamilienhäusern im Vergleich zu Einfamilienhäusern.

In den nachfolgenden Kapiteln werden ausgewählte Maßnahmen und Instrumente vorgestellt, die dazu beitragen sollen, die Ziele in den Bedürfnisfeldern Arbeiten & Wohnen zu erreichen. Dabei werden die Themen Arbeiten und Wohnen gleichermaßen angesprochen, d. h. eine Unterscheidung der Maßnahmen und Instrumente ist nicht notwendig.

#### 6.3.1. Gebäude-Check

##### Allgemeines Ziel des Gebäude-Checks

Durch den Erhalt von Gebäuden kann ein wichtiger Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet werden. Dafür gilt es, die Lebens- und Nutzungsdauer von Wohngebäuden (WG) und Nichtwohngebäuden (NWG) zu verlängern, damit der Neubau und somit die damit verbundene intensive Rohstoffentnahme aufgeschoben und damit zeitlich stark gestreckt wird. Vor diesem Hintergrund wird nachfolgend der „Gebäude-Check“ als eine Maßnahme und ein Beitrag zum besseren Erhalt von Gebäuden und somit zur Ressourcenschonung vorgestellt.

##### Das Instrument Gebäude-Check

Die **Grundidee** des Gebäude-Checks besteht darin, dass der bauliche Zustand von Wohngebäuden (WG) und Nichtwohngebäuden (NWG) verpflichtend geprüft werden soll.<sup>49</sup> Dies beinhaltet zunächst die rechtzeitige Durchführung von angemessenen Gebäude-Checks, die den Eigentümern zeigen, wo wesentliche Schwachstellen sind. Weiterhin sollen Empfehlungen von baulichen Maßnahmen zum Bestandserhalt ausgesprochen werden, die die Lebensdauer von WG und NWG entscheidend verlängern. Das Instrument ist eindeutig als Anreiz und Hilfestellung des Staates an die Gebäudeeigentümer zu verstehen, rechtzeitig wichtige Maßnahmen zum Bestandserhalt der Gebäude zu ergreifen.

Der Gebäude-Check für WG und NWG hat **zwei wesentliche Bestandteile**:

- Eingangsscheck Statik (bei Verdacht auf Mängel muss unbedingt ein Statiker hinzugezogen werden).
- Prüfung, was für den Bestandserhalt prioritär notwendig ist (Dach, (Außen)wände, Wasser(ab)leitungen, elektr. Leitungen, Risse, Dichtigkeit, Feuchtigkeit, Schwamm, Absenkungen, sonstige bauliche Mängel).

Weitere Inhalte des Gebäude-Checks sind:

- konkrete Empfehlungen von Maßnahmen zum Bestandserhalt:
  - Priorisierung der Maßnahmen,

---

<sup>49</sup> Im Gegensatz zu z. B. Pkws gibt es für Gebäude bislang keine verpflichtenden regelmäßigen Untersuchungen.

- Zeitschiene für Umsetzung der Maßnahmen,
  - einfache Kostenschätzung der Maßnahmen.
- Vorschläge für ökologische Alternativen bei der Materialauswahl der Umsetzungsmaßnahmen.
  - Entwicklung eines Bewertungsschemas (z. B. mit einer kombinierten (Farb)skala von A bis H: A = keine Maßnahmen empfohlen bis H: Maßnahmen äußerst dringend empfohlen).

Zuständig für die Entwicklung des Gebäude-Checks und die Prüfung ist die öffentliche Hand, die wiederum geeignete Fachprüfer für die Durchführung des Gebäudechecks akkreditiert. Die Entwicklung des Gebäude-Checks im Detail sollte bis beispielsweise dem Jahr 2020 erfolgen. Danach können die ersten Checks durchgeführt werden und die Ausstellung entsprechender Prüfzertifikate erfolgen. Es wird empfohlen, dass die Kosten des Gebäude-Checks (für Einfamilienhäuser kann pro Einheit von einigen hundert Euro ausgegangen werden, bei z. B. größeren Bürogebäuden entsprechend mehr).<sup>50</sup> von der öffentlichen Hand übernommen werden. Es ist davon auszugehen, dass von den Empfehlungen der Prüfer zu prioritären Instandhaltungen wichtige ökonomische Impulse für das Handwerk usw. generiert werden. Bei Hausverkäufen oder Vermietungen ist das Zertifikat zum Gebäude-Check verbindlich transparent zu machen.

Generell müssen alle Gebäude nach einem zeitlichen Intervall verpflichtend geprüft werden. Beim Verkauf eines NWG (genauso auch bei Nutzungsänderung eines NWG) und eines WG muss ein gültiger Gebäude-Check vorliegen (also evtl. ein Check vorgezogen werden). Beim Neubau von WG können die Zeitschritte für die Durchführung des Gebäude-Checks wie folgt angesetzt werden: eine erste Prüfung nach 30 Jahren, nachfolgend dann alle 10 Jahre. Bei NWG sollten die Zeitschritte für die Prüfung kürzer angelegt werden.

Die wesentliche Zahl an Gebäuden stellen jedoch die Bestandsgebäude dar. Für die Einführung des Gebäude-Checks ist folgende Vorgehensweise angedacht:

- Stufenweise Prüfung der Bestandsgebäude,
- gestaffelt nach Alter, die ältesten Gebäude zuerst,
- Vorgabe eines Zeitraums von z. B. 5 – 10 Jahren innerhalb dessen für eine Alterskategorie der Gebäudecheck werden muss,
- bis z. B. 2025 sollen alle Gebäude, die vor 1918 gebaut worden sind ein Prüfzertifikat des Gebäude-Checks haben,
- bis zu einem bestimmten Stichjahr, z. B. 2045; soll der komplette Gebäudebestand geprüft und mit einem Gebäude-Check ausgestattet sein.

Eine mögliche Variante wäre, die Vergabe von KfW-Krediten an den Gebäude-Check zu koppeln. Die Zinskonditionen eines KfW-Kredits sind dann abhängig von der Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen im Gebäude-Check zum Bestandserhalt. Bessere Zinskonditionen kämen dann zum Tragen, wenn durch die Maßnahmen größere Verbesserungen im Bewertungsschema des Gebäude-Checks von z. B. G nach B im Vergleich zu einer Verbesserung von nur G nach E erzielt werden.

---

<sup>50</sup> Eine sinnvolle Staffelung der Gebührensätze für den Gebäudecheck ist vor Einführung der Maßnahme mit Fachleuten auszuarbeiten.

### 6.3.2. Betonrecycling

#### Ausgangslage

Die Gewinnung von mineralischen Primärbaustoffen verursacht Eingriffe in Naturhaushalt und Landschaftsbild. Mit Blick auf Kies, dessen Ressourcenschonung bei der vorliegenden Betrachtung von Recyclingbeton im Mittelpunkt steht, stellt am Standort einer Kiesgrube bei Langen in Südhessen der Konflikt zwischen der Erweiterung der Fläche für Kiesabbau und dem Schutz des Bannwaldes ein prägnantes Beispiel dar. Neben obigen Konfliktpotenzialen bestehen auch konkurrierende Flächennutzungsansprüche z. B. mit der landwirtschaftlichen Nutzung. Hinzu kommt Kritik von Anwohnern wegen mangelndem Immissionsschutz und Schwertransporten als weitere mögliche lokale Problematik.

Diese möglichen Konflikte können dazu führen, dass die Erweiterung von Abbauflächen sowie neue Abbauflächen auf erheblichen Widerstand stoßen können. Hinzu kommt, dass abiotische Rohstoffe generell nicht erneuerbar, also begrenzt sind. Dies gilt insbesondere für Ballungsräume, wo eine hohe Nachfrage nach dem Primärbaustoff Kies bei gleichzeitig hoher Flächennutzungskonkurrenz besteht.

Vor diesem Hintergrund spielt die Verwendung von Recyclingbeton (RC-Beton) zur Schonung von Primärkiesvorkommen eine wichtige Rolle. Beim Recyclingbeton ersetzen aufbereitete mineralische Bauabfälle die Verwendung von Primärkies im Beton.

#### Maßnahmen zur Steigerung der Verwendung von Recyclingbeton

In Deutschland wird bislang nur ein sehr geringer Anteil des Betons durch Recyclingbeton abgedeckt. (Im Hochbau liegt der Anteil des Recyclingbetons bei <1 %; siehe Kapitel 4.2.3) Erfahrungen aus der Schweiz zeigen, dass 90 % des Betons beim Hochbau (Gebäude) von den Qualitätsanforderungen her geeignet sind, durch RC-Beton ersetzt werden zu können: dies eröffnet von dieser Seite her ein großes Einsatzpotenzial. In der Schweiz werden immerhin 7 % der Betonnachfrage mit RC-Beton gedeckt (Stand 2013). Um die Verwendung von RC-Beton zu erhöhen, werden nachfolgend Maßnahmen in verschiedensten Bereichen vorgestellt. Weitere Details zur Intensivierung der Verwendung von Recyclingbeton und zu einzelnen Maßnahmen finden sich in (Ifeu, 2016).

- **Maßnahme:** Einsatz von RC-Beton im Hoch- und Tiefbau verpflichtend für alle öffentlichen Ausschreibungen (Bund, Länder, Kommunen) in allen zugelassenen Anwendungsbereichen (z. B. keine Spann- und Leichtbetone, Beschränkungen bei Druckfestigkeitsklassen).
- **Maßnahme:** RC-Beton als ein Kriterium für die Förderung von Bauvorhaben mit Mitteln aus der öffentlichen Hand.
- **Maßnahme:** Verwendung von RC-Beton als Kriterium der Zertifizierung für nachhaltiges Bauen nach DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen).

Bislang wird Altbeton (Liefertyp 1) als Recyclingmaterial für RC-Beton verwendet. Andererseits wird Bauschutt aus Ziegelmauerwerk im Unterschied zu anderen Bauschuttmaterialien kaum als Recyclingmaterial für Straßenbau (Frostschuttschicht, Schottertragschicht) verwendet. Hier fehlt auch bei untergeordneten Einsatzbereichen die Akzeptanz. Der Einsatz von Bauschutt aus Ziegelmauerwerk für RC-Beton wäre daher zu befürworten.

- **Maßnahme:** zukünftig für RC-Beton auch Verwendung von Liefertyp 2 (nach geltendem Regelwerken möglich; bis zu 30 % des Recyclingmaterials aus Mauerwerksbruch (Mauerziegel, Klinker)).

Die Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton lässt nur einen begrenzten Anteil an Recyclingmaterial im Beton zu.

- **Maßnahme:** generelle Erhöhung der Anteile an Recyclingmaterial im Beton als bislang durch die Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton zugelassen.

Beim Einsatz von Beton generell, aber auch insbesondere für die Verwendung und Akzeptanz von Recyclingbeton stellen die Transportdistanzen für Kies bzw. das Recyclingmaterial einen wichtigen (Kosten)faktor dar.

- **Maßnahme:** Erschließung von Bauschuttzubereitungsanlagen in Stadtnähe bzw. in der Nähe von Ballungsräumen für kurze Transportdistanzen.

Mit Blick auf die Kosten von RC-Beton im Vergleich zu Primärbeton spielen verschiedene Aspekte eine Rolle. Um die Verwendung von RC-Beton gegenüber Primärbeton zu fördern, können die Kosten für Primärbeton erhöht werden; siehe hierzu die Primärbaustoffsteuer für Kies in Kapitel 6.3.5. Der Kostenfaktor Transport und die Reduktion der Transportdistanzen beim RC-Beton wurde bereits oben angesprochen. Eine weitere Möglichkeit den RC-Beton zu fördern besteht darin, eine mögliche Alternative zum Recycling von Bauschutt, nämlich die Ablagerung von Bauschutt auf Deponien, zu verteuern.

- **Maßnahme:** Höhere Ablagerungskosten von Bauschutt auf Deponien, da nur so die Einsparungen der Entsorgungskosten einen wichtigen Faktor in Grenzkostenüberlegungen darstellen.

### 6.3.3. Reform Grunderwerbssteuer zur Flächenverbrauchssteuer

Mit dieser Maßnahme wird auf eine Grunderwerbssteuer mit ökologischer Lenkungswirkung gezielt.

Heute wird die Grunderwerbssteuer auf Grund des Grunderwerbssteuergesetzes erhoben und fällt bei Erwerb eines Grundstücks an. Die Bemessungsgrundlage der Grunderwerbssteuer ist der Kaufpreis des Grundstücks. Diese Ländersteuer ist nicht mit der Grundsteuer zu verwechseln. In 2013 wurden deutschlandweit 8,38 Mrd. Euro Grunderwerbssteuer eingenommen. Die Höhe der Grunderwerbssteuer ist je nach Bundesland unterschiedlich. Der Steuersatz liegt zwischen 3,5 % (z. B. Bayern und Sachsen) und 6,5 % (z. B. Schleswig-Holstein).

Kritik an der derzeitigen Bemessungsgrundlage liegt darin, dass lediglich der Kaufpreis als Bemessungsgrundlage dient. Da die Grunderwerbssteuer in % auf den Kaufpreis anfällt, werden Grundstücke auf „der Grünen Wiese“ weniger belastet als Grundstücke im Innenbereich. Wird ein Grundstück mit Bestandsgebäude erworben, wird der Wert dieses Bestandsgebäudes praktisch mit besteuert. Somit ist der Käufer eines bebauten Grundstücks benachteiligt gegenüber dem Käufer eines unbebauten Grundstücks. Die derzeitige Steuer bemisst sich nicht an den erworbenen qm sondern nur am Kaufpreis.

Im Rahmen der Rohstoffwende Deutschland 2049 wird eine ökologische Reform der Grunderwerbssteuer vorgeschlagen. Es soll eine Ablösung der Grunderwerbssteuer durch eine Flächenverbrauchssteuer erzielt werden, so dass die Bemessungsgrundlage die qm des erworbenen Grundstücks sind. Weiterhin könnten weitere Abschläge (ggf. Befreiung von Steuern) bei inner-

städtischen, bereits verbauten Grundstücken (Einsatz als Instrument der Stadtentwicklung) als Anreiz gesetzt werden. (Difu, 2001)

#### 6.3.4. Festsetzung einer Mindestgeschossflächenanzahl im Bebauungsplan

Bereits nach geltendem Baurecht kann eine Kommune im Bebauungsplan das Maß der baulichen Nutzung festlegen und damit regeln, mit welcher Intensität Flächen bebaut und versiegelt werden dürfen (§ 9 Abs. 1 Nr. 1 BauGB i.V.m. § 16 Baunutzungsverordnung – BauNVO). Das Maß der baulichen Nutzung ist dabei der Oberbegriff für unterschiedliche städtebauliche Parameter, mit denen die Dichte und die Höhenentwicklung der Bebauung bestimmt werden. Diese gleichrangigen Parameter umfassen nach § 16 Absatz 2 BauNVO:

- Grundflächenzahl (GRZ) oder Größe der Grundflächen der baulichen Anlagen (GR),
- Geschossflächenzahl (GFZ) oder Größe der Geschossfläche (GF),
- Baumassenzahl (BMZ) oder Baumasse (BM),
- Zahl der Vollgeschosse (Z),
- Höhe baulicher Anlagen (HA).

Wird im Bebauungsplan das Maß der baulichen Nutzung festgelegt, so muss in jedem Fall eine Grundflächenzahl oder die Größe der Grundflächen der baulichen Anlagen festgesetzt werden. Die Kommune kann im Bebauungsplan aber auch ein Mindestmaß für die Geschossflächenzahl (GFZ) festlegen (vgl. § 16 Absatz 4 BauNVO). Die GFZ gibt an, wie viel Quadratmeter Geschossfläche je Quadratmeter anrechenbarer Grundstücksfläche zulässig sind (§ 20 Absatz 2 BauNVO).

#### 6.3.5. Primärbaustoffsteuer

Bislang werden in Deutschland keine Steuern auf den Abbau von Primärbaustoffen (wie z. B. Bausand, Baukies, Natursteine, Lehm, Gips, Schiefer, Dolomit oder Kalkstein) erhoben. Mit der Primärbaustoffsteuer soll der Preis für Kies erhöht werden. Damit soll ein deutlicher Anreiz geschaffen werden, die Primärrohstoffvorkommen an Kies zu schonen und den Einsatz von Recyclingbaustoffen zu befördern.

Baustoffsteuern unterschiedlicher Art sind ein weit verbreitetes Instrument; sie existieren in 15 EU-Staaten. Dazu zählen u. a. die „aggregates levy“ in Großbritannien, die „gravel tax“ in Schweden, die „raw materials tax“ in Dänemark, die „payments for mineral extraction“ in Tschechien und die „mineral extraction charge“ in Polen. (Bahn-Walkowiak et al., 2010; Ludewig, Meyer, 2012)

Untersucht man die Aspekte der ausländischen Regelungen im Hinblick auf ihre Übertragbarkeit auf Deutschland, so finden sich unterschiedliche Ansatzpunkte für die Steuererhebung. Während z. B. in Großbritannien, Schweden und Dänemark die Kiesmenge als Ansatzpunkt dient, ist es in Tschechien und Polen der Wert des abgebauten Rohstoffs. Als Argumente für die jeweiligen Ansatzpunkte lassen sich anführen: Für den **Mengenansatz** spricht, dass dieser möglichst früh in der Wertschöpfungskette anknüpft und keine Annahme des letztlichen Endverkaufspreises getroffen werden muss. Ferner führt er zu keinen Auswirkungen auf weitere, den Wert beeinflussenden Kostenfaktoren, wie z. B. die Vermarktung. Für den **Wertansatz** spricht, dass die Steuer gegen einen Wertverlust durch Inflation abgesichert ist, und nicht indiziert werden muss.

Die Steuerungswirkung einer Kiessteuer hängt dabei nicht nur von der Steuerhöhe ab, sondern von zahlreichen weiteren Rahmenbedingungen, wie z. B. der Einbeziehung weiterer Primärbaustoffe, wie Sand, Naturstein, Lehm, etc. Auch das Ziel der Steuer und die Rahmenbedingungen

sind von Bedeutung. So dient die Steuer in Großbritannien/Nordirland dazu, die externen Kosten des Kiesabbaus einzupreisen, wie die Umweltauswirkungen der Extraktion, des Transports der Baustoffe, einschließlich Lärm, Staub, Erderschütterungen, visuelle Landschaftseingriffe etc. In Schweden wurde die Kiessteuer durch weitere Maßnahmen flankiert, wie einer Verschärfung der Konzessionsverfahren für den Kiesabbau und des Ziels der Senkung des Primärkiesbedarfs. (EEA, 2008)

Für die Einführung einer Primärbaustoffsteuer in Deutschland wird eine Verbrauchssteuer mit Lenkungszweck vorgeschlagen. Ziel der Steuer soll es sein, die Entnahme des Primärbaustoffs Kies zu verringern und dadurch einen sparsamen Umgang mit Rohstoffen und eine verstärkte Verwendung von Sekundärbaustoffen zu fördern. Als Eckpunkte für die Ausgestaltung einer Kiessteuer in Deutschland sind zu nennen: Die Steuer sollte auf Bundesebene eingeführt werden. Der Bundesgesetzgeber verfügt über die notwendige Gesetzgebungskompetenz und eine solche Steuer wäre verfassungsrechtlich zulässig. (Keimeyer et al., 2013)

Als Anknüpfungspunkt für die Steuerpflicht sollte die Abgabe an den ersten Zwischenhändler (Eingang in den Wirtschaftskreislauf) gewählt werden. Denn dann besteht ein übersichtlicher Kreis an Steuerpflichtigen, wodurch der Vollzug der Steuer vereinfacht wird. Weiterhin sollte die Steuerpflicht auf inländisch abgebauten als auch importierten Kies eingeführt werden. Schließlich sollte die in einigen Bundesländern existierende Feldes- und Förderabgabe für Sand und Kies abgeschafft werden, um ein Nebeneinander zu einer Bundes-Primärbaustoffsteuer zu vermeiden. Weiterhin ist eine weitergehende Prüfung noch notwendig um zu klären, ob weitere Primärbaustoffe wie Bausand etc. ebenfalls in eine Bundes-Primärbaustoffsteuer einbezogen werden sollten.

### 6.3.6. Verbesserungen im Raumplanungsrecht

Bei Baukies, der sich nicht zur Herstellung von feuerfesten Produkten eignet (Quarkies<sup>51</sup>), den meisten Sanden, Anhydrit- und Gipsstein sowie Kalkstein und Naturstein sind die Vorschriften des Bundesberggesetzes (BbergG) nicht einzuhalten. Denn weder handelt es sich um grundeigene Bodenschätze im Sinne des § 3 Abs. 4 BbergG noch sind diese als bergfreie Bodenschätze im Sinne des § 3 Abs. 3 BbergG einzustufen. Auch ein fachplanerisches Planfeststellungsverfahren nach Abgrabungs- oder Landesnaturschutzgesetz für die Extraktion der oben genannten Rohstoffe, in dem u. a. der Bedarf für den Abbau festgestellt wird, wird nicht durchgeführt.

Selbst wenn die genannten Rohstoffe dem Bergrecht unterliegen würden, findet eine Planrechtfertigung oder Feststellung des Bedarfs im bergrechtlichen Planfeststellungsverfahren nicht statt, da es sich um eine gebundene Entscheidung ohne planerischen Gestaltungsspielraum handelt. Somit sind für die planungsrechtliche Steuerung des Abbaus dieser Rohstoffe die allgemeinen raumplanerischen Vorschriften maßgeblich. Diese fokussieren aber in § 2 Abs. 2 Nr. 1 i.V.m. § 2 Abs. 2 Nr. 4 Raumordnungsgesetz bislang nur auf die Sicherung und Ausbeutung vorhandener Rohstoffvorkommen, ohne den Schutz bzw. die Schonung von Ressourcen einzubeziehen.<sup>52</sup> Nach dem Gesetzestext in § 2 Abs. 2 Nr. 1 Satz 4 ROG sind bei der Planung „regionale Entwicklungskonzepte und Bedarfsprognosen der Landes- und Regionalplanung (...) einzubeziehen“. Um-

<sup>51</sup> Die Eignung wird, wenn es sich um eine quartärzeitliche Lagerstätte handelt, durch den Segerkegel-Test gemäß EN 993 Teil 12 und, wenn der SK-Wert 26 erreicht oder überschritten wird, durch eine Bestimmung des Quarz- und Quarzidgehaltes ermittelt, und zwar für die Kornfraktion kleiner 0,6 mm nach der Röntgenbeugungsmethode und für die Kornfraktion 0,6 - 20 mm nach der optischen Klaubemethode. Bereits bei einem Quarz- und Quarzidgehalt von 80 und mehr Gewichtsprozent ist die Eignung für die Feuerfestproduktion gegeben.

<sup>52</sup> In der Rohstoffstrategie der Bundesregierung aus dem Jahr 2010, S. 12 werden die bundesrechtlichen Grundlagen für die Rohstoffgewinnung in Deutschland die Gesetze des deutschen Raumplanungssystems: Baugesetzbuch, Raumordnungsgesetz des Bundes und Landesplanungsgesetze der Länder als ausreichend angesehen.

stritten ist, ob daraus folgt, dass der Bedarf eines Rohstoffs bei der Planung zu berücksichtigen ist; siehe zu dem Streit (Schomerus et al., 2012, S. 200 ff.).

Um die Ressourcenschonung im Raumordnungsrecht zu verankern, sollten folgende Änderungen im Raumordnungsrecht in Erwägung gezogen werden:

4. Umstellung auf bedarfsorientierte Rohstoffsicherung,
5. Verlängerung der Planungshorizonte für rohstoffbezogene Ausweisungsplanungen und
6. Pflicht zur Vorerkundung und Optimierung der Lagerstätten.

Zu 1: Zur nachhaltigen Planung der Rohstoffsicherung von Primärbaustoffen sollte nicht das Angebot maßgeblich sein, sondern vielmehr der Bedarf des Rohstoffs. Der Abbau von Lagerstätten sollte dem unabweisbaren Bedarf angepasst und auf das Notwendige reduziert werden. Bei der Planung wäre dann zu prüfen, ob der beantragte Abbau von Primärbaustoffen, wirklich benötigt wird und ob es nicht anderweitige betriebliche Bezugsmöglichkeiten gleicher Qualität gibt. Die dazu notwendige Änderung des Grundsatzes der Raumordnung müssten in § 2 Abs. 2 Nr. 4 ROG vorgenommen werden.

Zu 2: Die Planungshorizonte der rohstoffbezogenen Ausweisungsplanungen sollten verlängert werden, mittelfristig sollte der Planungshorizont mindestens ca. 10 bis 15 Jahre betragen. Dies könnte durch Aufnahme der Planungshorizonts in einem neuen Satz in § 2 Abs. 2 Nr. 4 Satz 4 ROG erfolgen. (Schomerus et al., 2012)

Zu 3: Die Vorerkundung und Optimierung der Lagerstätten sollte unter Berücksichtigung des Ressourcenschutzes erfolgen. Bislange wird der Begriff der „vorsorgenden Sicherung“ im Raumordnungsrecht (§ 2 Abs. 2 Nr. 4 Satz 4 ROG) nur als „Zugriff auf Ressource“ verstanden. Das Ziel in § 2 Abs. 2 Nr. 4 Satz 4 ROG sollte ergänzt werden, um die Betonung des umweltrechtlichen Vorsorgeprinzips. (Schomerus et al., 2012)

Die Änderungen der beiden vorgenannten Punkte 2 und 3 könnten in § 2 Abs. 2 Nr. 4 Satz 4 ROG wie folgt umgesetzt werden: „Es sind die räumlichen Voraussetzungen für die am voraussichtlichen Bedarf der nächsten fünfzehn Jahre orientierte vorsorgende Sicherung sowie für die geordnete und am voraussichtlichen Bedarf orientierte Aufsuchung und Gewinnung von standortgebundenen Rohstoffen zu schaffen.“ (Schomerus et al., 2012)

#### **6.4. Maßnahmen und Instrumente im Bedürfnisfeld IKT**

Die im Folgenden ausgeführten Maßnahmen und Politikinstrumente nehmen Bezug auf das in Abschnitt 4.1.4 ausgeführte Bedürfnisfeld Information und Kommunikation (IKT). Zur Veranschaulichung auf welcher Stufe das jeweilige Instrument ansetzt wird, ist in Abbildung 6-6 eine Vereinfachung der Wertschöpfungskette eines IKT-Produktes dargestellt.

**Abbildung 6-6: Vereinfachte globale Wertschöpfungskette eines IKT-Produktes**


Quelle: Schleicher et al. (forthcoming), basierend auf Manhart et al., 2016 und Hütz-Adams, F., 2012.

Aus der beispielhaften Hotspot-Analyse für Neodym und Zinn (siehe Abschnitte 4.2.1 und 4.2.2), lässt sich die Notwendigkeit effektiver Instrumente auf der Stufe des Rohstoffabbaus ableiten. Daran setzt die Förderung von Zertifizierungsinitiativen zu nachhaltigem Bergbau an (Abschnitt 6.4.2). Daran anknüpfend setzt auch das Instrument der unternehmerischen Sorgfaltspflichten („Due Diligence“) an, das u. a. eine Risikoanalyse zu menschenrechtlichen (und im besten Falle auch ökologischen) Risiken entlang der gesamten Wertschöpfungskette (bzw. gegebenenfalls abschnittsweise wie z. B. von der Mine bis zur Schmelze: „Upstream“ oder von der Schmelze bis zum Endprodukt „Downstream“) fordert (Abschnitt 6.4.1). Abschließend wird auf die Nutzungsphase von IKT-Produkten eingegangen, insbesondere auf Maßnahmen zur Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT-Produkten (Abschnitt 6.4.3).

#### 6.4.1. Unternehmerische menschenrechtliche Sorgfaltspflichten („Due Diligence“)

Sorgfaltspflichten (engl. „Due Diligence“) sind in Deutschland Kernbestand des Zivilrechts und geben Aufschluss darüber, inwieweit jeder Mensch und auch jedes Unternehmen Rücksicht auf die Rechte anderer nehmen muss. Tabelle 6-5 zeigt zwei Beispiele von Sorgfaltspflichten.

**Tabelle 6-5: Beispiele bestehender Sorgfaltspflichten**

##### Sorgfaltspflicht des Arbeitgebers

Diese umfasst alle Vorkehrungen zum Schutze von Leben und Gesundheit seiner Arbeitnehmer, bei der Regelung seines Geschäftsbetriebs [...].

Vgl. auch Fürsorgepflicht (des Arbeitgebers) (§ 618 I BGB, § 62 I HGB), Arbeitsschutz.

##### Sorgfaltspflicht bei einer Aktiengesellschaft

Die Mitglieder des Vorstands und des Aufsichtsrats müssen die Sorgfalt eines ordentlichen und gewissenhaften Geschäftsleiters anwenden; im Streitfall müssen sie den Beweis dafür erbringen, sonst sind sie zu Schadensersatz verpflichtet (§§ 93, 116 AktG).

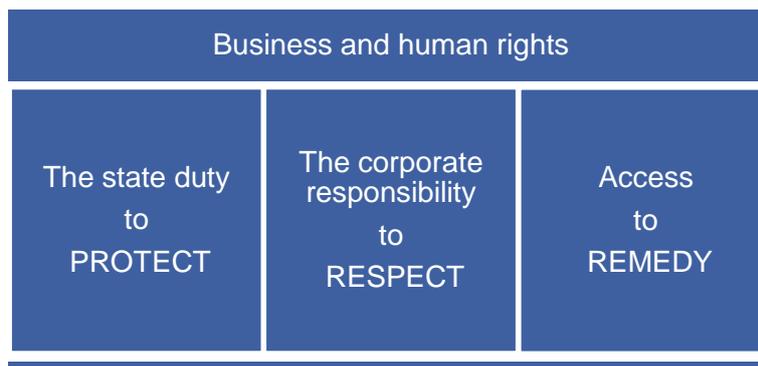
Vgl. auch Sorgfalt in eigenen Angelegenheiten, Fahrlässigkeit.

Quelle: Tür, M (2016), Berwanger, J.; Wichert, J., 2016

Dies zeigt, dass das Prinzip der Sorgfaltspflichten für Unternehmen in einigen Bereichen etabliert ist. Bei der Nichteinhaltung von Sorgfaltspflichten bezieht sich die Rechtsprechung bisher auf Kriterien wie der Vorhersehbarkeit und Intensität des Schadens, die Beherrschbarkeit der Gefahrenquelle und die Zumutbarkeit von Maßnahmen der Gefahrenabwendung. Vergleichsweise neu hingegen ist die Anwendung des Prinzips auf den Bereich der Menschenrechte. Welche Anforderungen die menschenrechtliche Sorgfaltspflicht an Unternehmen stellt, wie weitreichend sie ist und welche Folgen bei Nichteinhaltung drohen ist bisher aber nicht abschließend geklärt (Grabosch, R.; Scheper, C., 2015).

Die OECD beschreibt die menschenrechtliche Sorgfaltspflicht als „on-going, proactive and reactive process through which companies can ensure that they respect human rights” (OECD, 2013). Im Jahr 2008 erarbeitete der UN-Sonderbeauftragte für Unternehmen und Menschenrechte, John Ruggie (Ruggie, 2013), unter Einbezug weiterer Akteure die drei Säulen „Protect, Respect, Remedy” (Schutz, Achtung, Abhilfe). Dieses Werk formuliert Erwartungen an Staaten, Unternehmen und andere gesellschaftliche Akteure in Bezug auf Menschenrechte in der Wirtschaft, zeigt auf, welche Rolle welcher Akteur einnimmt, und grenzt die Verantwortlichkeiten ab (UN, 2010). Abbildung 6-7 zeigt die drei Säulen.

**Abbildung 6-7: Protect, Respect, Remedy – Die drei Säulen von Ruggie**



Quelle: Schleicher et al., 2017 basierend auf UN, 2010

Zur Umsetzung des Rahmenwerks von Ruggie wurden die UN-Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte formuliert (engl. Guiding Principles on Business and Human Rights - Implementing the United Nations “Protect, Respect and Remedy” Framework). Diese enthalten gegliedert nach den drei Säulen insgesamt 31 Prinzipien. Mit der Resolution 17/4 vom Juni 2011 verabschiedete der Menschenrechtsrat die Leitprinzipien.

Zur Umsetzung der UN-Leitprinzipien in Bezug auf die sogenannten Konfliktminerale Zinn, Tantal, Wolfram und Gold (3TG) hat die OECD im Jahr 2011 *Leitsätze für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht zur Förderung verantwortungsvoller Lieferketten für Minerale aus Konflikt- und Hochrisikogebieten* veröffentlicht. Diese Leitsätze beziehen sich auf die Lieferkette der genannten mineralischen Rohstoffe und begründen sich aus den Umständen der Mineralgewinnung, dem -handel und dessen Umschlag. Sie adressieren die rohstoffbezogenen, menschenrechtlichen Risiken wie zum Beispiel die Finanzierung oder Begünstigung der Konfliktumstände in der Region der Großen Seen in Afrika. Unternehmen sind unabhängig von ihrer Stellung oder ihren Einflussmöglichkeiten nicht dagegen gefeit durch ihr unternehmerisches Handeln direkt oder indirekt an negativen Auswirkungen beteiligt zu sein. Die Leitsätze empfehlen Unternehmen daher, eine risikobasierte Herangehensweise, um ihre menschenrechtliche Sorgfaltspflicht zu erfüllen: Dazu

sollten sie zunächst mögliche Risiken erkennen und dann Maßnahmen ergreifen, diese zu vermeiden oder abzuschwächen. Die Leitlinien empfehlen dazu eine fünf-stufige Vorgehensweise, die als „Five-Step Framework“ bezeichnet wird:

1. Einführung von robusten Unternehmensmanagementsystemen (“Establish strong company management systems”),
2. Identifikation und Analyse von menschenrechtlichen Risiken in der Wertschöpfungskette (“Identify and assess risk in the supply chain”),
3. Entwurf und Umsetzung einer Strategie den identifizierten Risiken entgegenzutreten (“Design and implement a strategy to respond to identified risks“),
4. Ausführung unabhängiger Audits durch unbeteiligte Dritte an (“Carry out independent third-party audit of supply chain due diligence at”) den identifizierten Punkten der Wertschöpfungskette (“identified points in the supply chain”),
5. Bericht über die Folge angemessener Sorgfaltspflichten entlang der Wertschöpfungskette („Report on supply chain due diligence.“) (OECD, 2013).

Die prominenteste und gleichzeitig einzige gesetzlich verpflichtende Umsetzung des Prinzips der Sorgfaltspflichten wurde im Jahr 2010 von der US-amerikanischen Administration im sogenannten Dodd-Frank-Act<sup>53</sup>, implementiert, der einen Abschnitt (1502) zu Konfliktrohstoffen enthält. Dieser beinhaltet verpflichtende Sorgfaltspflichten für Unternehmen, die am US-amerikanischen Börsenhandel teilnehmen. Demzufolge müssen diese Unternehmen jährlich berichten, ob ihre Produkte die Konfliktrohstoffe Zinn, Tantal, Wolfram oder Gold aus der Demokratischen Republik Kongo oder benachbarten Ländern beinhalten. Wenn dem so sein sollte, müssen sie einen Bericht anfertigen (lassen), der alle Maßnahmen beschreibt, die angestellt wurden, damit der Verkauf des abgebauten Materials weder zur Konfliktfinanzierung noch zu anderen Menschenrechtsverletzungen beiträgt. Unternehmen die beweisen können, dass keiner dieser Rohstoffe einen Bezug zu Konflikten in der DR Kongo haben bzw. der Nachbarländer dürfen ihre Produkte als „konfliktfrei“ auszeichnen.

Im Allgemeinen ist weithin akzeptiert, dass der Ansatz des Dodd-Frank Acts auch zu unerwünschten Nebeneffekten geführt hat. Es wurde unter anderem kritisiert, dass der Ansatz das Risiko zu einem de-facto Embargo von Rohstoffen aus der Region führen kann, welches die ökonomische Stabilisierung der Nachkriegsgebiete behindert. Des Weiteren stimulieren Zertifizierungen im Sinne einer „Konfliktfreiheit“ in der Regel keine nötigen Investitionen in die Zentralafrikanische Region. Auf der anderen Seite hatte der Dood-Frank Act eine Signalwirkung für ganze globale Branchen, für die es heute üblich ist die Zulieferer nach Herkunft der Rohstoffe sowie Arbeits- und Menschenrechtsbedingungen zu fragen (vgl. Manhart & Schleicher, 2013).

Im März 2016 entwarf die Europäische Union einen eigenen Politikansatz zu Konfliktmineralien, der Ende 2016 schließlich vom Parlament sowie dem Rat für 2017 angekündigt wurde. Allerdings zielt dieser ebenfalls verpflichtende Ansatz auf Importeure von Rohstoffen und nicht auf Downstream-Akteure ab („von der Schmelze bis zum Endprodukt“), Sorgfaltspflichten nachzukommen. Außerdem sind Kleinstunternehmen (z. B. Juweliere) von der Regulierung befreit.

Parallel erarbeitet die OECD derzeit eine Erweiterung der Leitlinien, welche sich auf weitere Rohstoffe als die sogenannten Konfliktrohstoffe beziehen soll. Im Sinne einer Rohstoffwende auf dem Weg zu einem nachhaltigen Bergbau sind diese Aktivitäten zu begrüßen. Wie die Analyse der HotSpots für Zinn (vgl. Abschnitt 4.2.2) und Neodym (letzteres ist kein sog. „Konfliktrohstoff“) zeigt,

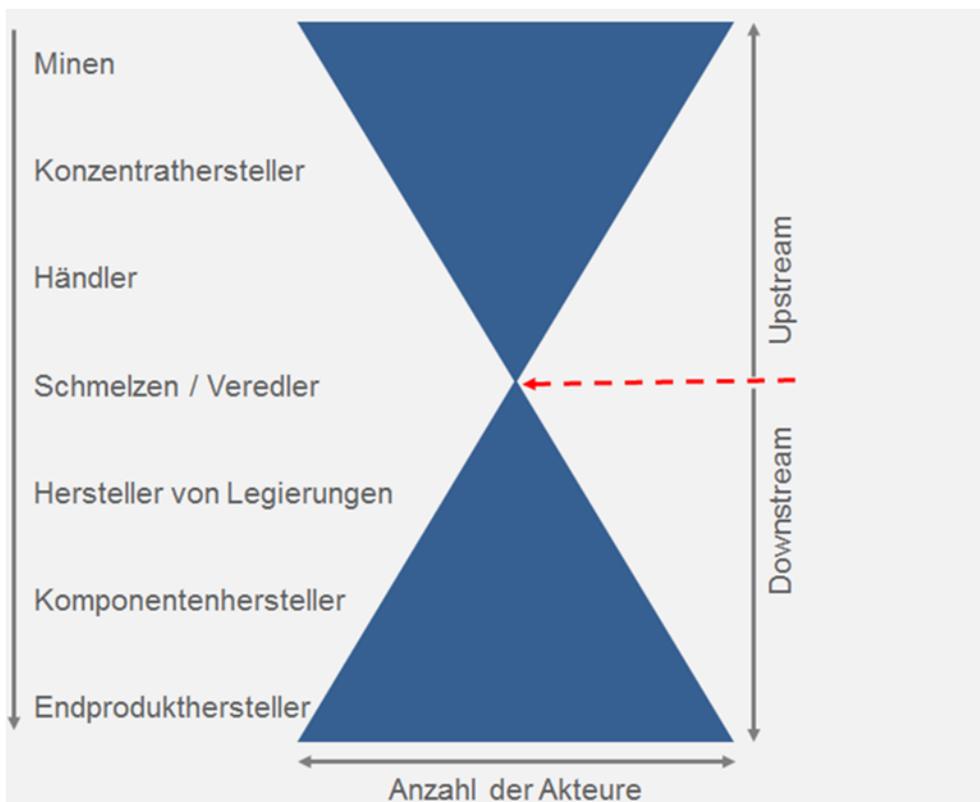
<sup>53</sup> Voller Titel: Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act.

sind unternehmerische Sorgfaltspflichten in der Wertschöpfungskette als Grundlage dafür angebracht, um sowohl soziale als auch ökologische Risiken sowie Abhilfe effektiv adressieren zu können (z. B. in Form anerkannter und eingebetteter Zertifizierungsinitiativen, vgl. Abschnitt 6.4.2).

### 6.4.2. Zertifizierungsansätze und Lieferkettenmanagement

Die Zertifizierung von Rohstoffen zielt zum einen darauf ab, den Rohstoffabbau in den zugehörigen Erzminen nach klar definierten sozialen und ökologischen Kriterien zu garantieren. Des Weiteren spielen aber auch unterschiedliche Formen des Lieferkettenmanagements im Zusammenhang mit der Zertifizierung der Rohstoffe eine wichtige Rolle. Zur allgemeinen Orientierung zeigt Abbildung 6-8 eine vereinfachte Wertschöpfungskette von typischen Produkten der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Diese umfasst im sogenannten „Upstream“-Bereich die Stufen von den Minen zu den Schmelzen sowie im „Downstream“-Bereich die Stufen von der Schmelze bis zum Endprodukt.

**Abbildung 6-8: Wertschöpfungskette von IKT-Produkten mit mineralischen Rohstoffen**



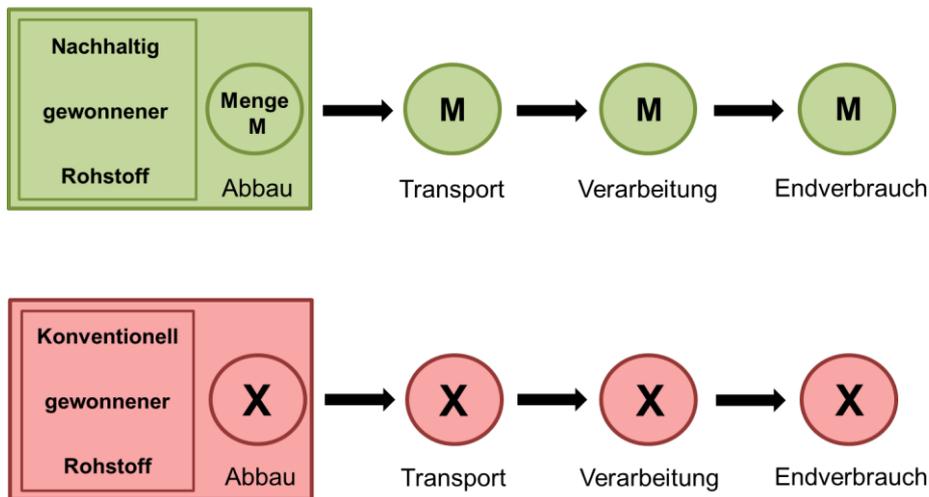
Quelle: Schleicher et al., 2017 forthcoming

#### 6.4.2.1. Grundlegende Prinzipien der Zertifizierung in Lieferketten

In diesem Kapitel werden darüber hinaus noch einmal grundlegende Zertifizierungsinstrumente des Lieferkettenmanagements dargestellt.

Zunächst wird die Lieferketten-Option „Identity Preserved“ (IP) dargestellt, bei der nachhaltig erzeugte, verarbeitete und transportierte Rohstoffe entlang der gesamten Lieferkette getrennt vom konventionell erzeugten Rohstoff geführt werden (vgl. Abbildung 6-9).

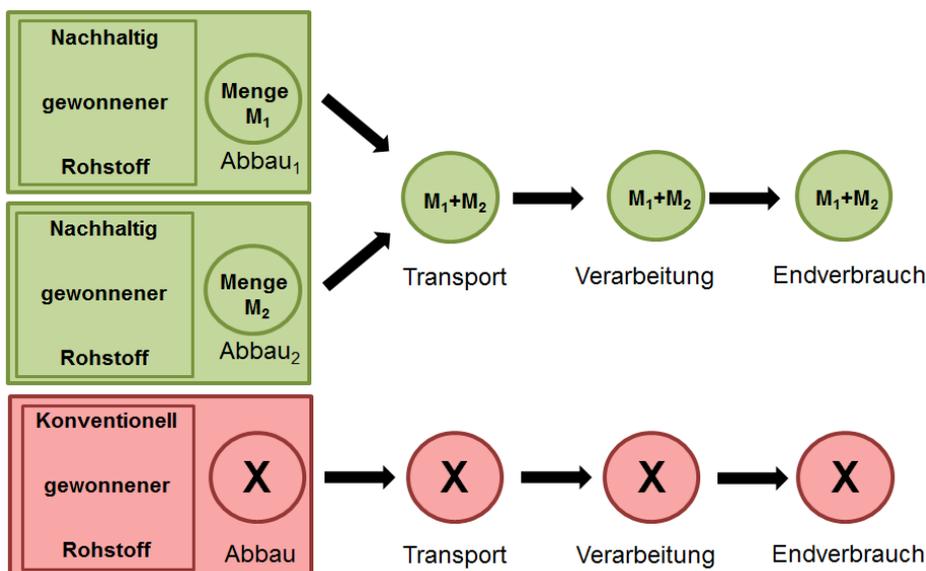
**Abbildung 6-9: Schematische Darstellung der Lieferketten-Option Identity Preserved (IP)**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Im Gegensatz zu Identity Preserved ist bei der sogenannten „Segregation“ eine Mischung vom gleichen Rohstoff unterschiedlicher Produzenten erlaubt (vgl. Abbildung 6-10).

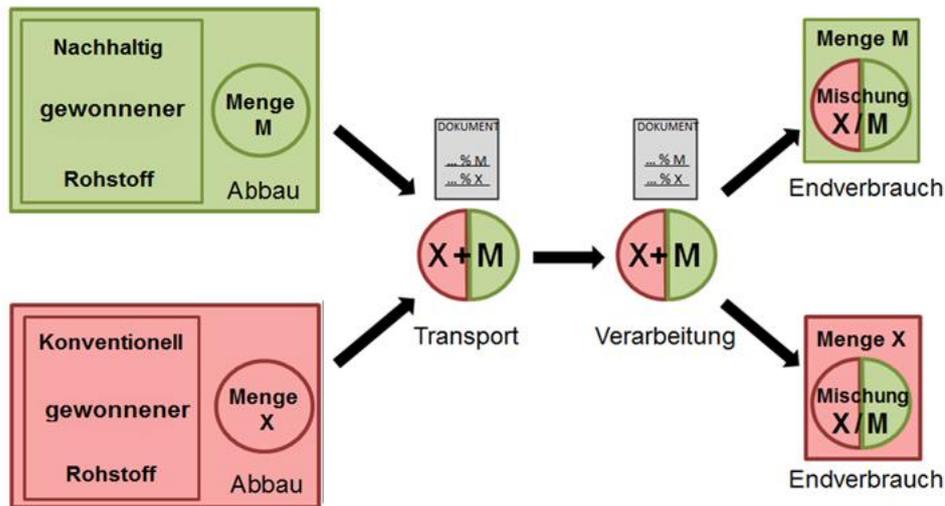
**Abbildung 6-10: Schematische Darstellung der Lieferketten-Option Segregation (S)**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Bei der Lieferketten-Option „Mass Balance“ findet entlang der Lieferkette eine Mischung von konventionellem und nachhaltig produziertem Rohstoff statt (vgl. Abbildung 6-11). Hier muss auf jeder Stufe der Lieferkette dokumentiert werden, welche Anteile an nachhaltig gewonnenem Rohstoff enthalten sind.

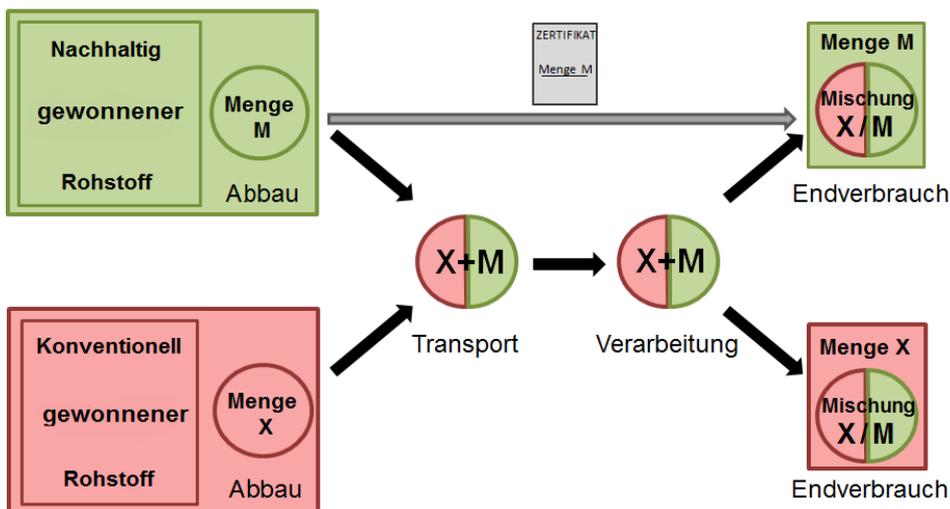
Abbildung 6-11: Schematische Darstellung der Lieferketten-Option Mass Balance (MB)



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Schließlich beinhaltet „Book&Claim“ (vgl. Abbildung 6-12) keine Verfolgung und Dokumentation des nachhaltigen Rohstoffes entlang der Lieferkette (wie dies etwa bei der Mass Balance Methode erfolgt). Vielmehr bestimmt ein Zertifikat die Menge an nachhaltig geförderten Rohstoff in der Mischung am Ende der Wertschöpfungskette.

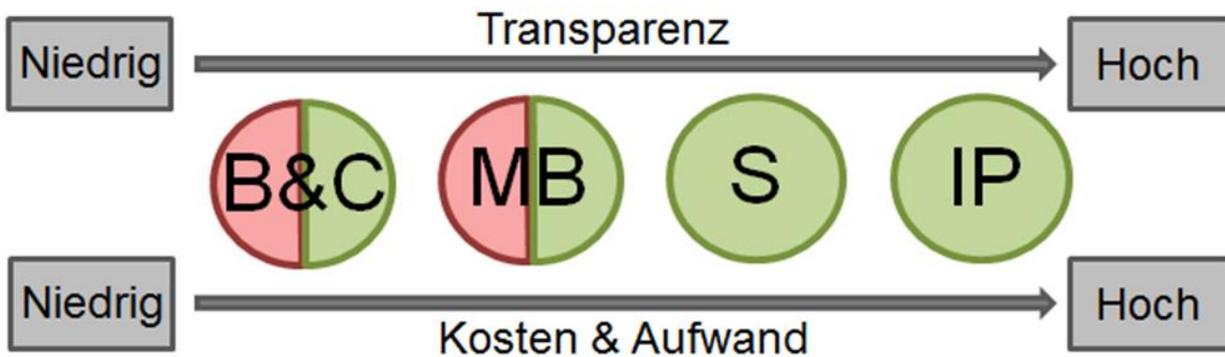
Abbildung 6-12: Schematische Darstellung der Lieferketten-Option Book&Claim (B&C)



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Jedes der vier dargestellten Instrumente hat allgemein spezifische Vor- und Nachteile (vgl. Abbildung 6-13).

**Abbildung 6-13: Vergleich von Kosten/Aufwand und Transparenz der vier Lieferketten-Optionen**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Während die Kosten und der Aufwand des „Book&Claim“-Ansatzes (B&C) im Vergleich zu den anderen am geringsten sind, liegt dessen Schwäche in der geringen Transparenz entlang der Lieferkette. Da im Mass Balance-Ansatz (MB) auf jeder Stufe der Lieferkette dokumentiert werden muss, welcher Anteil an nachhaltigem Rohstoff in der Mischung enthalten ist, erhöhen sich Transparenz und Kosten. Die Segregation (S) zwischen nachhaltigem und konventionellem Rohstoff erhöht die Transaktionskosten abermals, führt aber zu einer weiteren Erhöhung der Transparenz in der Kette. Am transparentesten, aber auch am teuersten ist die Variante, in welcher der nachhaltige Rohstoff vollkommen vom konventionellen getrennt behandelt wird (Identity Preserved).

Im Folgenden werden nun Initiativen dargestellt, die auf unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette ansetzen sowie von unterschiedlichen Ansätzen des Lieferkettenmanagements Gebrauch machen.

#### 6.4.2.2. Beispiel 1: „Fairmined“-Initiative für Gold

Ein typisches Beispiel für einen Zertifizierungsstandard, welcher an der Mine direkt ansetzt ist der „Fairmined-Ansatz“ für Gold. Dieser besteht aus den folgenden vier übergeordneten Anforderungen und Unteranforderungen (Fairmined, 2016):

1. Organisationsentwicklung
  - a. Garantierter Mindestpreis
  - b. Zusätzliche Prämie
  - c. Gestärkte Organisationen
  - d. Stabile und langfristige Handelsbeziehungen
  - e. Legaler und formalisierter Kleinbergbau
2. Soziale Entwicklung
  - a. Keine Verbindung zu Konfliktsituationen
  - b. Keine Kinderarbeit

- c. Gleichberechtigung von Mann und Frau
  - d. Wohlergehen der Gemeinde
3. Umweltschutz
- a. Kleinbergbau mit geringen Umweltauswirkungen
  - b. Sicherer und reduzierter Gebrauch von Chemikalien
  - c. Schutz der Wasserversorgung
  - d. Positive Umweltbilanz
4. Arbeitsbedingungen
- a. Vereinigungsfreiheit der ArbeiterInnen
  - b. Stabile Arbeitsplätze
  - c. Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz

Die erste Version des Standards entstand 2009. Dieser wurde im Jahr 2014 überarbeitet (Version 2.0). Mittlerweile wird der Standard nach eigenen Angaben von Kleinbergleuten, der Goldindustrie, Regierungen und der Zivilgesellschaft als ein stabiler und zuverlässiger Standard angenommen (Fairmined, 2016).

#### **6.4.2.3. Beispiel 2: Zertifizierung von Konfliktmineralien (3TG) aus der DR Kongo und angrenzenden Ländern**

Wie in Abschnitt 6.4.1 gezeigt sind Unternehmen, die am US-amerikanischen Aktienmarkt gelistet sind nach dem Dodd-Frank Act, Abschnitt 1502, verpflichtet ihren unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Bezug auf die Lieferkette der sogenannten Konfliktrohstoffe Zinn, Tantal, Wolfram und Gold nachzukommen. Aufgrund der Handelsbeziehungen mit US-amerikanischen Herstellern sind damit aber auch weltweit zahlreiche Zulieferbetriebe betroffen. Sie müssen sich faktisch ebenfalls an die Vorgaben halten, um nicht Gefahr zu laufen, ihre Kunden in den USA zu verlieren. Vor diesem Hintergrund hat das in Großbritannien ansässige International Tin Research Institute (ITRI) die sogenannte Tin Supply Chain Initiative (iTSCi) ins Leben gerufen (vgl. 6.4.2.4). Im Rahmen dieser Initiative können Erze aus der DR Kongo und angrenzenden Ländern, die nachgewiesenermaßen keine Verbindung mit Konflikten und anderen Menschenrechtsverletzungen aufweisen, zertifiziert werden und weltweit an Schmelzen verkauft werden. Zum aktuellen Zeitpunkt deckt das Programm die (Konflikt-)Rohstoffe Zinn, Wolfram und Tantal ab.

Dabei greift das iTSCi-System auf ein pragmatisches Kennzeichnungssystem (engl. „bag-and-tag“) zurück: In einem ersten Schritt werden die Rohstoffe, die aus einer „konfliktfreien“ Mine gewonnen wurden, in Säcke abgefüllt („bags“), versiegelt und mit einer Identifikationsnummer („tags“) versehen. Anhand dieser Nummern können die Säcke auf nachgelagerten Stufen der Lieferkette wieder eindeutig zurückverfolgt werden. Es ist diesem einfachen, pragmatischen Ansatz zu verdanken, dass dieses System bei Weitem den größten Marktanteil aller Handelssysteme zu den Konfliktmineralien aus der Region der großen afrikanischen Seen hat. Damit ist iTSCi derzeit eines der wenigen existierenden Zertifizierungssysteme für Konfliktmineralien aus der DR Kongo und Nachbarländern, das den Anforderungen des Dodd-Frank Act genügt (5-Step Framework, vgl. Abschnitt 6.4.1). Dennoch wird das iTSCi-System aus folgenden Gründen immer wieder kritisiert (vgl. Manhart et al., 2016):

- Es gibt zahlreiche dokumentierte Fälle, in denen bis dato unbenutzte blanko iTSCi-Siegel auf dem regionalen Schwarzmarkt gehandelt wurden (UN Group of Experts on the DR of the Congo 2015).
- Bislang konzentriert sich das iTSCi-System nur auf die Rückverfolgbarkeit sowie Evaluierung von Konfliktrisiken in der Region. Weitergehende Entwicklungsziele wie grundlegende Gesundheits- und Sicherheitsstandards, Rücksicht auf lokale Gemeinschaften sowie faire Arbeitslöhne sind nicht enthalten.
- Immer wieder wurden die hohen Kosten kritisiert, die mit einer Verwendung des iTSCi Systems einhergehen (Manhart & Schleicher, 2013).

Alternative weitergehende Zertifizierungssysteme wurden oder werden derzeit weiterentwickelt. Dazu zählt insbesondere auch die sogenannte Certified Trading Chains Initiative (CTC). Diese konnten bislang jedoch keine nennenswerten Marktanteile an zertifizierten Rohstoffen in der Region erreichen.

#### **6.4.2.4. Beispiel 3: Zertifizierung von Schmelzen**

Im Zuge der Bemühungen den Anforderungen des US Dodd-Frank Act (Abschnitt 1502) zu genügen und die Verwendung von Konfliktmineralien zu vermeiden gründeten die Electronic Industry Citizenship Coalition (EICC) gemeinsam mit der Global e-Sustainability Initiative (GeSI) im Jahr 2011 das Conflict Free Smelter Programme (CFS). Es geht von der Annahme aus, dass die Komplexität der Wertschöpfungskette von Konfliktmineralien auf der Stufe der Schmelzen vergleichsweise gering ist (vgl. Abbildung 6-8 roter Pfeil). Dies betrifft vor allem die Anzahl der Schmelzen von Zinn, Tantal und Wolfram, die im Vergleich zu den unzähligen (u. a. auch informell arbeitenden) vorgelagerten Bergleuten und Händlern von Erzen einerseits sowie der nachgelagerten produzierenden Industrien, überschaubar ist. Alle diese Schmelzen sind registriert und auf den Rohstoffmärkten bekannt.

Im Rahmen des CFS-Programms können sich Schmelzen als „konfliktfrei“ zertifizieren lassen. Dazu müssen diese jährlich nachweisen, dass alle Lieferungen in den vorangegangenen 12 Monaten entweder nicht aus Konfliktregionen stammen oder eine Zertifizierung wie etwa jener von iTSCi vorgenommen wird. Entsprechend der Kennzeichnung „Conflict Free Smelter“ können deren Produkte gemäß der Definition des Dodd-Frank Acts als „konfliktfrei“ bezeichnet werden.

Einerseits werden diese Zertifizierungssysteme benötigt, um die Vorgaben des Dodd-Frank Acts umzusetzen. Auf der anderen Seite sind sie jedoch insofern als problematisch zu bewerten, als dass der Status einer „konfliktfreien Schmelze“ einfach dadurch erreicht werden kann, indem auf den Kauf von Erzen aus der Region der großen afrikanischen Seen vorständig verzichtet wird. Dieser Anreiz wiederum kann sich zu einem faktischen Embargo von Erzen aus der Region entwickeln, das mit erheblichen negativen Effekten verbunden sein kann. Deshalb legen die Autoren dieser Studie wesentlichen Wert darauf, dass im Sinne einer Rohstoffwende Initiativen zum nachhaltigen Bergbau in der Zielregion aktiv unterstützt werden, zu Beispiel im Sinne der unten vorgestellten Initiative „Solutions for Hope“.

#### **6.4.2.5. Beispiel 4: Initiative Solutions for Hope (SfH) für Tantal**

Die „Solutions for Hope“-Initiative wurde im Jahr 2011 von Motorola Solutions und AVX Corporation, einem Hersteller von Elektronikbauteilen, angekündigt (Manhart & Schleicher, 2013). Es handelt sich um ein Pilotprojekt, das sich darum bemüht, konfliktfreies Tantal aus der DR Kongo zu gewinnen.

Das Projekt bedient sich eines geschlossenen Systems in der Lieferkette, das nur mit bestimmten Minen, Schmelzen und Komponentenherstellern zusammenarbeitet. Diese wurden zu Beginn des Projektes ausgewählt. Die Minen befinden sich in Nordkatanga in der DR Kongo (Mai Baridi, Kisengo and Luba). Die Minenkonzessionen werden von Mining Minerals Resources (MMR) gehalten, die mit der Vereinigung der Kleinbergleute Kongos (Coopérative Des Artisanaux Miniers du Congo) zusammenarbeitet. MMR legt nach eigenen Angaben Wert auf eine sicherere und effizientere Abbaubedingungen.

Des Weiteren bedient sich die Solutions-for-Hope (SfH) – Initiative des iTSCi-Prozesses zur Nachverfolgung der Mineralien in der Lieferkette (siehe Abschnitt 6.4.2.3) sowie des Conflict Free Smelter Programs (siehe Abschnitt 6.4.2.4).

#### **6.4.2.6. Beispiel 5: The Conflict Free Tin Initiative (CFTI) für Zinn**

Die Conflict Free Tin Initiative (CFTI) wurde als Bergbauprogramm für Zinnerze im Jahr 2012 ins Leben gerufen. Die Minen der Initiative liegen in Süd-Kivu (Kalimbi). Bei der Gründung des Pilotprojekts spielte das Niederländische Außenministerium eine tragende Rolle. Am Ende der Wertschöpfungskette stehen Partnerunternehmen wie Alpha, Blackberry, Fairphone, HP, Motorola Solution, Microsoft (ehem. Nokia) und Royal Philips Electronics. Auf vorgelagerten Wertschöpfungsstufen partizipieren die folgenden Unternehmen: AIM Metals & Aloys, Malaysia Smelting Corporation Berhad (MSC), Traxys und Tata Steel. Von NGO Seite wird die Initiative sowohl von PACT als auch von ITRI (International Tin Research Institute) unterstützt.

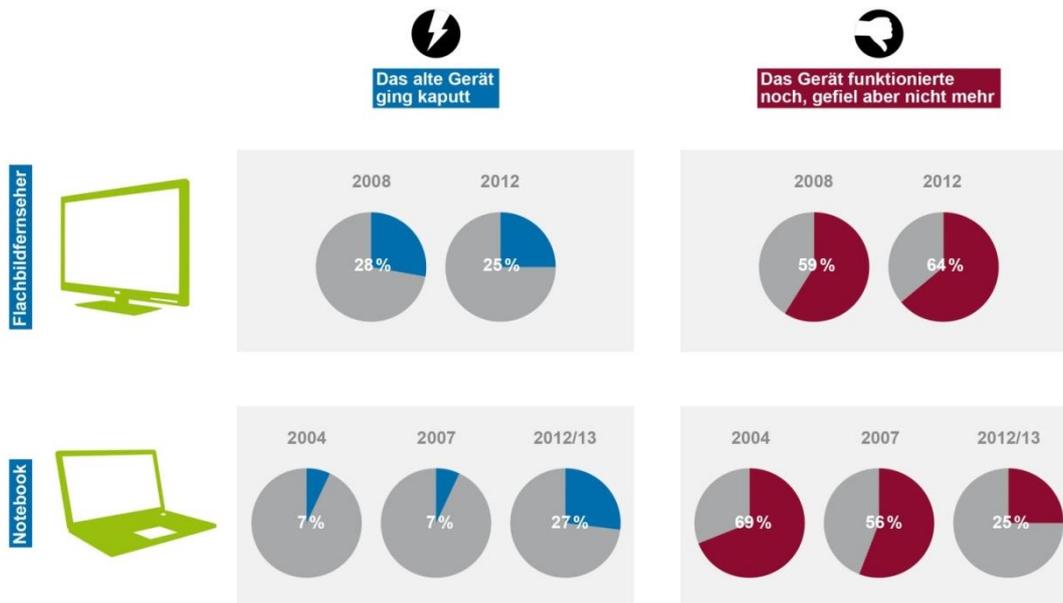
#### **6.4.2.7. Fazit**

Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft (Deutschland 2049), sind beide Instrumente (1) unternehmerische Sorgfaltspflichten und (2) Rohstoffzertifizierung in Kombination mit einem zielführenden Lieferkettenmanagement einander komplementäre Bausteine. Dabei ist zu beachten, dass je nach Rohstoff(-cluster) maßgeschneiderte Instrumente zum Einsatz kommen. Die vorangegangenen Abschnitte zeigen auf, wie komplex die Lieferkettensysteme sein können und zielen darauf ab, aufzuzeigen, in welche Richtung eine zielgerichtete Rohstoff(-cluster) spezifische Politik aussehen könnte. Dabei ist aber zu betonen, dass zentrale Fragestellungen (z. B. die Frage der Freiwilligkeit bzw. rechtlichen Verbindlichkeit) Gegenstand zukünftiger Forschungsprojekte sein sollte. Einen wirksamen Impuls auf den globalen Rohstoffmärkten in Richtung Nachhaltigkeit dürften jedoch nur kombinierte Rohstoff(-cluster) spezifische Ansätze entfalten. Ein typisches Beispiel dafür stellt der US amerikanische Dodd-Frank Act dar, der Sorgfaltspflichten verbindlich fordert. Komplementär kann sich aber in der Lieferkette nur eine Veränderung manifestieren, wenn auch die ökonomischen Rahmenbedingungen geschaffen werden, d. h. Downstream-Akteure (Unternehmen, Konsumenten) bereit sind in menschenrechtlich und ökologische Standards zu investieren und den damit verbundenen höheren Preis zu bezahlen.

#### **6.4.3. Lebens-/Nutzungsdauerverlängerung der IKT-Produkte**

Die Verlängerung der Lebens- bzw. Nutzungsdauer von Produkten, insbesondere im Industrie- und Dienstleistungszweig der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) war in den vergangenen Jahren Gegenstand weitreichender Debatten in der ressourcenpolitischen Landschaft in Deutschland (Stichwort: „Strategien gegen Obsoleszenz“, Prakash et al., 2016). Auf dieser Grundlage sollen im Folgenden einige Analysen und Instrumente zur Verlängerung der Lebensdauer von IKT-Produkten vorgestellt werden. Eine detaillierte Analyse sowie Maßnahmen sind Prakash et al., 2016 zu entnehmen.

**Abbildung 6-14: Gründe für den Austausch von Fernsehgeräten und Notebooks – Defekte und Wunsch nach Innovationen**



Quelle: Prakash et al. 2016

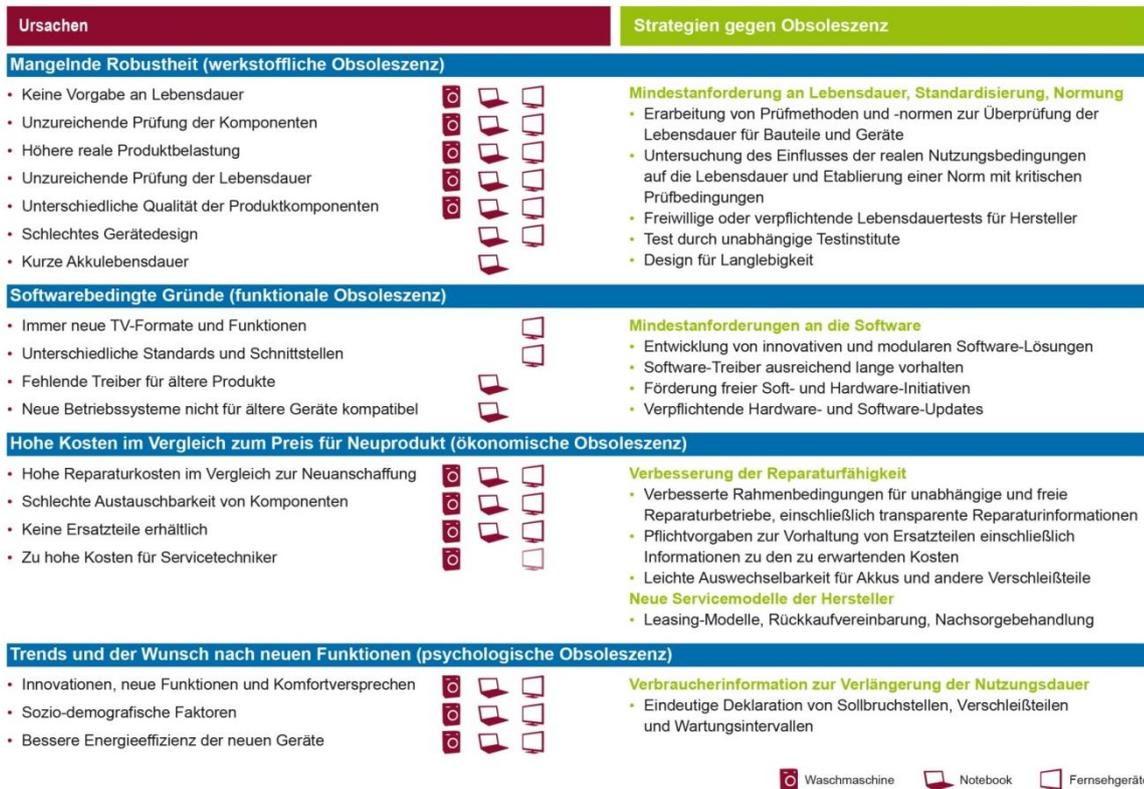
Wie Abbildung 6-14 zeigt sind die Gründe für einen Austausch der Geräte weniger, dass die Geräte nicht mehr funktionieren sondern deutlich mehr, dass sie Geräte den Nutzern nicht mehr gefielen, obgleich sie noch funktionierten. Obsoleszenz ist damit nicht nur ein werkstoffliches (Werkstoffliche Obsoleszenz: technischer Defekt) oder funktionales Themenfeld (Funktionale Obsoleszenz: Das Gerät erfüllt seine Funktion nicht mehr) sondern betrifft ganz zentral auch psychologische Aspekte (Psychologische Obsoleszenz: z. B. Modetrends). Darüber hinaus spielen ökonomische Randbedingungen eine große Rolle, etwa wenn die Kosten einer Reparatur die Kosten eines vergleichbaren Neugeräts übersteigen (Ökonomische Obsoleszenz).

Aus diesem Grund sollten Politikinstrumente entsprechend der vier genannten Dimensionen Einfluss nehmen. Allgemein lassen sich diese wie folgt zusammenfassen (Prakash et al., 2016):

- Erarbeitung von Prüfmethode und Normen zur Messung und Abschätzung der Lebensdauer von IKT-Produkten,
- Verpflichtende Lebensdauererests für IKT-Produkte,
- Verbesserung der Marktüberwachung dazu,
- Test durch unabhängige Testinstitute,
- Mindestanforderungen an die Software (z. B. Modularität),
- Verbesserung der Reparaturfähigkeit (z. B. Akkus in Smartphones),
- Förderung neuer Servicemodelle der Hersteller (z. B. Leasing),
- Psychologische Obsoleszenz umkehren („Kulturwandel“).

Auch hier sind nur kombinierte Maßnahmen vielversprechend. In Abbildung 6-15 werden deshalb zu jeder Dimension der Obsoleszenz passende Maßnahmen vorgestellt.

**Abbildung 6-15: Übersicht: Strategien gegen Obsoleszenz – Ursachen für die verkürzte Nutzung von Geräten und Möglichkeiten der Gegensteuerung**



Quelle: Prakash et al., 2016

Das detaillierte Maßnahmenpaket ist Prakash et al., 2016 zu entnehmen.

## 7. Die Agenda zur Rohstoffwende bis 2049

Eine Rohstoffwende ist unbedingt notwendig, da die Nachfrage von Rohstoffen weiter steigen wird. Die Rohstoffnachfrage ist u. a. bedingt durch den notwendigen Ausbau der Infrastruktur für Verkehr, Wohnen, Arbeit und Freizeit. Aber auch neuer Wohnraum und die großen Transformationen der Energie- und Verkehrswende benötigen Massenmaterialien aber auch besondere Technologiemetalle, die vielfach mit hohen Umwelt- und Sozialrisiken gefördert werden.

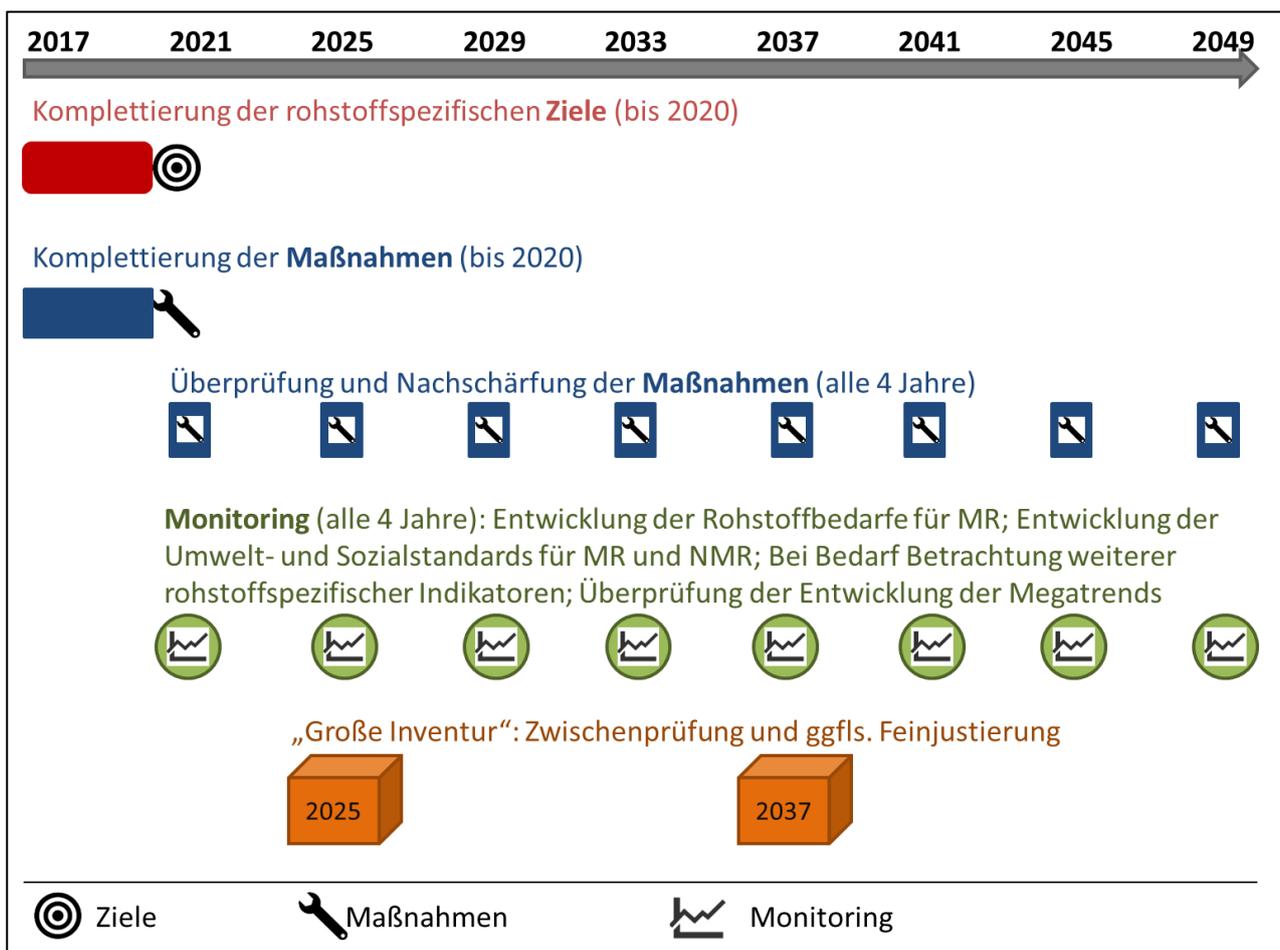
Die Agenda zur Rohstoffwende gibt einen Überblick über die notwendigen Schritte zu einer Rohstoffwende 2049 in Deutschland.

Die Anstrengungen, negative ökologische und soziale Auswirkungen der primären Rohstoffnachfrage zu minimieren, müssen gegenüber den letzten Jahrzehnten beschleunigt und intensiviert werden. Dabei müssen Effizienzgewinne schneller erschlossen und auch völlig neue Wege eingeschlagen werden. Hierunter zählt z. B. die Lebensdauererlängerung von Wohn- und Nichtwohngebäuden, die u. a. mit Hilfe eines Gebäude-Checks (siehe Kapitel 6.3.1.) erreicht werden soll. Ebenso ist die Einführung einer Primärbaustoffsteuer auf Kies eine Maßnahme, um das Recycling von Beton zu unterstützen (siehe Kapitel 6.3.2.).

Die methodische Vorgehensweise und Ergebnisse des Projektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“ zeigen, dass rohstoffspezifische Ziele erforderlich sind, die ambitioniert angestrebt werden müssen, um eine Rohstoffwende bis 2049 zu erreichen. Die Ziele sind unterschiedlich je nach adressierten Rohstoffen und Bedürfnisfeldern. Noch offene Ziele müssen über die Agenda konkretisiert, priorisiert und ebenfalls mit Instrumenten adressiert werden. (eine Zusammenfassung der rohstoffspezifischen Ziele und ihr Ausarbeitungsgrad ist in Kapitel 5.2. dargestellt). Für die bereits identifizierten Ziele wurden in „Rohstoffwende Deutschland 2049“ erste ambitionierte Maßnahmen und Instrumente entwickelt. (siehe Kapitel 6.)

In der folgenden Graphik ist die Agenda für eine Rohstoffwende in Deutschland in 2049 visualisiert.

**Abbildung 7-1: Die Agenda für eine Rohstoffwende in Deutschland in 2049**



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e. v.

Die rohstoffspezifischen Ziele müssen bis 2020 komplettiert werden. Aufbauend auf den bereits identifizierten Zielen im Rahmen des Projektes sind weitere quantitative und qualitative Ziele zu adressieren und anschließend zu priorisieren. Dazu zählt u. a. die Betrachtung weiterer Bedürfnisfelder wie z. B. Energiewirtschaft. Mit der Erarbeitung von rohstoffspezifischen Zielen geht die Konkretisierung und Komplettierung von Maßnahmen für die Zielerreichung einher. Die Maßnahmen sind ebenfalls bis 2020 zusammenzutragen. Alle vier Jahre sollten die Maßnahmen überprüft und bei Bedarf nachgeschärft werden.

Weiterhin ist ein regelmäßiges Monitoring alle vier Jahre durchzuführen. Hierunter fallen Überprüfungen zu den Rohstoffbedarfen für Massenrohstoffe genauso wie die Entwicklung der Umwelt- und Sozialauswirkungen bei der Primärgewinnung der nachgefragten Massen- und Nicht-Massenrohstoffe. Auch können bei Bedarf weitere rohstoffspezifische Indikatoren mit in die Betrachtung aufgenommen werden. Eine Überprüfung der Entwicklung der Megatrends fällt ebenso in das Monitoring: Bevölkerungsentwicklung, Fortschritt der Energie- und Verkehrswende, Technologiesprünge, nennenswerte Veränderungen der Nachfragemuster ebenso wie die Entwicklung der Recyclingquoten müssen regelmäßig überprüft werden.

Bis zum Zieljahr der Rohstoffwende 2049 sollten zwei „große Inventuren“ durchgeführt werden – in 2025 und 2037. Darunter ist eine umfassende Zwischenprüfung der rohstoffspezifischen HotSpots, rohstoffspezifischen Ziele, rohstoffspezifischen Maßnahmen, unterstellten Megatrends sowie bereits erzielten Fortschritte zu verstehen. Bei Bedarf können die einzelnen Parameter angepasst werden, um das Ziel der Rohstoffwende in Deutschland in 2049 zu erreichen.

Wer ist gefragt, diese Agenda auszuführen?

Wie bei den Maßnahmen und Instrumenten ausführlich dargestellt, sind verschiedene Entscheidungsträger und Akteure für die Implementierung und Umsetzung von Maßnahmen verantwortlich. Dies beginnt bei den Kommunen und Bundesländern z. B. hinsichtlich der Erschaffung und Instandhaltung einer rohstoffsparenden Infrastruktur für Verkehr, Wohnen, Arbeiten und Freizeit.

Auch die Bundesländer tragen Verantwortung für einen nationalen nachhaltigen Rohstoffbedarf und können Maßnahmen für eine Rohstoffwende ergreifen. Beispielsweise kann eine Erneuerung der Berechnungsgrundlage der Grunderwerbssteuer ein kompakteres Bauen unterstützen und somit die Flächeninanspruchnahme und Rohstoffbedarf reduzieren.

Die Bundesebene ist für zahlreiche Maßnahmen, Instrumente und strategische Entwicklungen bei zahlreichen Rohstoffen unmittelbar zuständig. Impulse für rohstoffschonendes Bauen, eine ressourceneffiziente Energie- und Verkehrswende sowie Impulse für faire globale Rohstoffketten werden auf Bundesebene eingespeist. Das BMUB zeigt im Rahmen von ProgRess II (Deutsches Ressourceneffizienzprogramm) wo für eine nachhaltige Nutzung und den Schutz von Rohstoffen angesetzt werden soll z. B. bei einer Steigerung des Einsatzes von Recycling-Baustoffen.

Die Europäische Union ist ein wichtiger Spieler bei der Setzung von europaweiten Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft und des Recyclings sowie der Stärkung von Ressourcenaspekten im Produktdesign (ecodesign-Richtlinie). Die negativen sozialen Auswirkungen der primären Rohstoffgewinnung von Konfliktmineralien hat sie nun in den Blick genommen und einen Politikansatz zur Sorgfaltspflicht angekündigt. Eine Erweiterung auf weitere Rohstoffe sowie den Blick auf die Umweltauswirkungen sollten die nächsten Schritte sein. Bei internationalen Abkommen und Verhandlungen mit anderen Weltregionen ist eine starke EU von großer Bedeutung.

Die Wirtschaft in Deutschland ist ebenso ein wichtiger Faktor bei der Erschließung zusätzlicher Recyclingpotenziale (z. B. Betonrecycling, Gipsrecycling, Recycling Massen- und Technologiemetallen etc.). Weiterhin sind die entsprechenden Branchen und ihre Unternehmen wichtige Motoren für Innovationen zur Rohstoffeffizienz (z. B. rohstoffsparende Produktion wie das Celiment) und zur Entwicklung neuer rohstoffschonender Technologien.

Das Öko-Institut wird gemäß seines Leitbildes die Rohstoffwende 2049 aktiv begleiten und vorantreiben und durch die zahlreichen Projektergebnisse und Erkenntnisse aus unterschiedlichen

Konstellationen stets neue Impulse und Vorschläge in die Debatte einbringen. Weiterhin soll die Rohstoffwende 2049 zukünftig verstärkt in europäischen und internationalen Debatten kommuniziert und vermittelt werden, um auch in anderen Ländern vergleichbare Aktivitäten zur umwelt- und sozialverträglichen Rohstoffpolitik beizutragen.

## Literaturverzeichnis

Agenda 21, Rio Declaration, 1992: AGENDA 21: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung, Rio de Janeiro. Juni 1992.  
[http://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda\\_21.pdf](http://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf)

Bahn-Walkowiak et al., 2010: Bahn-Walkowiak, Bettina / Bleischwitz, Raimund / Sanden, Joachim: Einführung einer Baustoffsteuer zur Erhöhung der Ressourceneffizienz im Baubereich, MaRess-Paper 3.7, Wuppertal, 2010. [http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRess\\_AP3\\_7.pdf](http://ressourcen.wupperinst.org/downloads/MaRess_AP3_7.pdf)

BBSR, 2015: Held, Tobias; Waltersbacher, Matthias (2015): Wohnungsmarktprognose 2030. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn

BGR; 2015: Huy, Dieter; Andruleit, Harald; Babies, Hans-Georg; Elsner, Harald; Homberg-Heumann, Doris; Meßner, Jürgen; Röhling, Simone; Schauer, Michael; Schmidt, Sandro; Schmitz, Martin; Szurlies, Michael; Wehenpohl Bernard; Hofrichter, Wolfgang, Tallig, Annegret: Deutschland – Rohstoffsituation 2014.  
[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

BIO IS, 2013 BIO Intelligence Service; Towards an overall measurement methodology of the carbon and energy footprints of the ICT sector, Final Report prepared for European Commission, DG CNECT, in association with Fraunhofer IZM and Öko-Institut

BMUB, 2016: Die Minamata-Konvention – das weltweite Übereinkommen zu Quecksilber. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
<http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheit-chemikalien/gesundheit-und-umwelt/die-quecksilberkonvention-der-vereinten-nationen/> zuletzt abgerufen am 09.11.2016

Buchert et al., 2017: Buchert, M.; Sutter, J.; Alwast, H.; Schütz, N.; Weimann, K.: Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten, Öko-Institut e.V. in Kooperation mit Prognos AG und Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Auftraggeber Umweltbundesamt (laufend).

Buchert et al., 2016: Klimaschutzpotenziale des Metallrecyclings und des anthropogenen Metalllagers. Buchert, M.; Bulach, W.; Stahl, H.

Bundesregierung, 2016; „Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung“

Deilmann et al., 2014: Deilmann, Clemens; Krauß, Norbert; Gruhler, Karin; Reichenbach, Jan: Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau; im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); Endbericht Juli 2014  
[https://www.ioer.de/fileadmin/internet/IOER\\_Projekte/PDF/FB\\_E/Endbericht\\_REP.pdf](https://www.ioer.de/fileadmin/internet/IOER_Projekte/PDF/FB_E/Endbericht_REP.pdf)

Destatis, 2015: Statistisches Bundesamt (Destatis) (2015): Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden

Destatis, 2017: Statistisches Bundesamt. Definition „Rohstoffproduktivität“ <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Glossar/Rohstoffproduktivitaet.html>

Difu, 2001: Apel, D.; Böhme, C.; Meyer, U.; Preisler-Holl, L.; Szenarien und Potenziale einer nachhaltig flächensparenden und landschaftsschonenden Siedlungs-entwicklung. Deutsches Institut für Urbanistik im Auftrag des Umweltbundesamts. Berlin

DLR Leitstudie, 2012: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik, Abt. Systemanalyse und Technikbewertung, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE) (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Leitstudie. Im Auftrag des BMU. Stuttgart, Kassel, Teltow

Dorner et al., 2012: Dorner, U.; Franken, G.; Liedtke, M.; Sievers, H.: Artisanal and Small-Scale Mining (ASM), POLINARIS working paper no. 19. Hannover, 2012, [http://www.polinares.eu/docs/d2-1/polinares\\_wp2\\_chapter7.pdf](http://www.polinares.eu/docs/d2-1/polinares_wp2_chapter7.pdf)

EC, 2014: Europäische Kommission: Report on Critical Raw Materials for the EU – Critical Raw Materials Profiles. 2014. <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11911/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>

EEA, 2008: Effectiveness of environmental taxes and charges for managing sand, gravel and rock extraction in selected EU countries, EEA-Report 02/2008, Kopenhagen. [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2008\\_2](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_2)

European Commission (2010 und 2014): Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials

EU, 2016: Verordnung (EU) 2016/217 der Kommission vom 16. Februar 2016 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich Cadmium. <http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0217&from=DE> zuletzt abgerufen am 09.11.2016

Fairmined, 2016: Offizielle Internetseite des Fairmined Gold Standards, <http://www.fairmined.org/de/the-fairmined-standard/> (Zugriff am 15.11.2016).

Fraunhofer IBP, 2013: Hoier, Anna; Erhorn, Hans (2013): Energetische Gebäudesanierung in Deutschland Studie Teil I: Entwicklung und energetische Bewertung alternativer Sanierungsfahrpläne. Fraunhofer-Institut für Bauphysik Institutsleitung. Stuttgart

Glöser et al., 2015: Raw material criticality in the context of classical risk assessment. In: Resources Policy, 44/2015, p. 35-46

Grabosch, R.; Scheper, C., 2015: Die menschenrechtliche Sorgfaltspflicht von Unternehmen. Politische und rechtliche Gestaltungsansätze, Friedrich Ebert Stiftung, online verfügbar als pdf unter <http://library.fes.de/pdf-files/iez/11623-20150925.pdf>

Helbig et al. (2016): How to evaluate raw material vulnerability – An overview. In: Resources Policy, 48/2016, p. 13-24

HIK, 2014: Conflict Barometer, Heidelberg Institute for International Conflict Research, 2014, [https://www.hiik.de/de/konfliktbarometer/pdf/ConflictBarometer\\_2014.pdf](https://www.hiik.de/de/konfliktbarometer/pdf/ConflictBarometer_2014.pdf)

Ifeu, 2016: Untersuchungs- und Demonstrationsvorhaben zur Intensivierung der Verwendung von aufbereitetem Bauschutt als Betonzuschlagsstoff; Knappe F., Reinhardt J., Schorb A., Theis S.; im Auftrag des Umweltministerium Baden-Württemberg; Februar 2016.

INICA, 2007: Natural Resources and Trade Flows in the Great Lakes Region, Phase 1 Report. Initiative for Central Africa BP 4654, Kigali, Rwanda; 2007 <http://www.estellelevin.com/wp-content/uploads/2013/12/INICA-2007-NaturalResourcesTradeFlows.pdf>

ka-news.de, 2011: Kiesabbau in der Region: Her mit dem Kies! URL: <http://www.kanews.de/region/karlsruhe/Karlsruhe~/Kiesabbau-in-der-Region-Her-mit-dem-Kies;art6066,660908>; zuletzt abgerufen am 10.10.2016.

Klimaschutzszenario 2050: Öko-Institut e.V.; Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI (2014): Klimaschutzszenario 2050. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Korn et al., 2014: Korn, Michael; Leupold, Andreas; Niederau, Arnold; Schneider, Christiane; Hartwig, Karl-Hans; Scheffler, Raimund: „Berechnung der Wegekosten für das Bundesfernstraßennetz sowie der externen Kosten nach Maßgabe der Richtlinie 1999/62/EG für die Jahre 2013 bis 2017“, 2014

Ludewig, Meyer, 2012: Ludewig, Damian / Meyer, Eike: FÖS-Diskussionspapier – Ressourcenschonung durch die Besteuerung von Primärbau-stoffen, FÖS (Hrsg., 2012), im Internet unter: <http://www.foes.de/pdf/Diskussionspapier%20Baustoffsteuer.pdf> (so am 25.04.2016).

Manhart, A.; Schleicher, T., 2013: Conflict minerals – An evaluation of the Dodd-Frank Act and other resource-related measures, Öko-Institut e.V.; [http://www.resourcefever.eu/publications/reports/Conflict\\_minerals\\_Aug\\_2013\\_Manhart\\_Schleicher.pdf](http://www.resourcefever.eu/publications/reports/Conflict_minerals_Aug_2013_Manhart_Schleicher.pdf)

Manhart et al. 2016: Manhart, A.; Blepp, M.; Fischer, C.; Graulich, K.; Prakash, S.; Priess, R.; Schleicher, T.; Tür, M.: Resource Efficiency in the ICT Sector, Final Report, November 2016, [https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Resource\\_Efficiency\\_ICT\\_summary.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Resource_Efficiency_ICT_summary.pdf)

Moss et al., 2013: Moss, R.L.; Tzimas, E.; Willis, P.; Arendorf, J.; Tercero Espinoza, L.: Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector. Luxembourg, 2013. [http://www.oakdenehollins.co.uk/media/308/Critical\\_Metals\\_Decarbonisation.pdf](http://www.oakdenehollins.co.uk/media/308/Critical_Metals_Decarbonisation.pdf)

Naevdal, Eric (2012): Safe Minimum Standard. Berkshire Publishing Group. <https://www.frisch.uio.no/publikasjoner/pdf/Safe-minimum-standard-SMS.pdf>

NPE, 2011: Nationale Plattform Elektromobilität (Hrsg.: Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO)) : „Zweiter Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität“, Bonn 2011

NRC, 2008: Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy. Washington D.C.

OECD, 2009: Guide to measuring the information society, 2009, Annex 1B: OECD definitions of the information economy sectors.

OECD, 2013: OECD-Leitsätze für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht zur Förderung verantwortungsvoller Lieferketten für Minerale aus Konflikt- und Hochrisikogebieten, online verfügbar als pdf unter <http://bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/oecd-leitsaetze-fuer-die-erfuellung-der-sorgfaltspflicht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

Öko-Institut et al., 2003: Buchert, Matthias; Fritsche, Uwe; Jenseit, Wolfgang; Rausch, Lothar; Deilmann, Clemens; Schiller, Georg; Siedentop, Stefan; Lipkow, Adrian (2003): Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Verknüpfung des Bereiches Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich „Öffentliche Infrastruktur“. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Öko-Institut e.V.; Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden (IÖR); TU Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau. Darmstadt, Dresden

Prakash et al., 2016: Prakash, S.; Dehoust, G.; Gsell, M.; Schleicher, T.; Stamminger, R.; Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“; UBA Texte 11/2016; [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_11\\_2016\\_einfluss\\_der\\_nutzungsdauer\\_von\\_produkten\\_obsoleszenz.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_11_2016_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_obsoleszenz.pdf)

Prognos et al., 2014: Schlesinger, Michael et. Al; Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose; Projekt Nr. 57/12 Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie; Prognos; EW; GWS; 2014, Basel; Köln; Osnabrück

Repenning et al., 2015: Repenning, Julia; Emele, Lukas; Blanck, Ruth; Böttcher, Hannes; Dehoust, Günter; Förster, Hannah et al. (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Hg. v. Öko-Institut. Berlin.

Ruggie, 2013: Just Business: Multinational Corporations and Human Rights, W.W. Norton, New York, 2013.

Schleicher et al., 2017 (forthcoming): Machbarkeitsstudie zur Integration von sozialen Aspekten in den Blauen Engel am Beispiel eines Tablet-PCs im Rahmen des Projektes „Weiterentwicklung Blauer Engel Programm durch neue Umweltzeichen und Dynamisierung bestehender“; Gröger, J.; Brommer, E.; Graulich, K.; Schleicher, T.; Stratmann, B.; in Zusammenarbeit mit Jepsen, D.; et al. Öko-Institut e.V. in Ko-operation mit Institut für Ökologie und Politik (Ökopol) GmbH (in Bearbeitung), Auftraggeber: Umweltbundesamt (UBA).

Schomerus et al., 2012: Schomerus, Thomas / Sanden, Joachim / Schulze, Falk, Entwicklung eines Regelungskonzepts für ein Ressourcenschutzrecht des Bundes, UBA 1/2012, Dessau-Roßlau.

Schüler et al., 2015: Schüler, Doris / Schleicher, Tobias / Jenseit, Wolfgang / Degreif, Stefanie / Buchert, Matthias: Substitution of critical raw materials in permanent magnets in wind turbines and electric vehicles, and in phosphors and LEDs for lighting. Im Auftrag des Joint Research Centre in Petten; September 2015

UBA, 2010: Umweltbundesamt: PKW-Maut in Deutschland? Eine umwelt- und verkehrspolitische Bewertung. April 2010  
(<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3929.pdf>)

UBA, 2014: Best-Practice-Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmeherzeugung ([https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba\\_methodenkonvention\\_2.0\\_-\\_anhang\\_b\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba_methodenkonvention_2.0_-_anhang_b_0.pdf))

UN, 2010: United Nations: The UN “protect, Respect and Remedy” Framework for Business and Human Rights. September 2010 <https://business-humanrights.org/sites/default/files/reports-and-materials/Ruggie-protect-respect-remedy-framework.pdf>

United Nations, 2010: The UN "Protect, Respect and Remedy" Framework for Business and Human Rights. Background. September 2010. Online verfügbar als pdf unter <http://198.170.85.29/Ruggie-protect-respect-remedy-framework.pdf>

UNEP, 2013: Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Reuter, M. A.; Hudson, C.; van Schaik, A.; Heiskanen, K.; Meskers, C.; Hagelüken, C. [http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metal\\_Recycling\\_Full\\_Report.pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metal_Recycling_Full_Report.pdf)

UNEP, 2013b: Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure; Summery booklet; [https://issuu.com/unep/docs/unep\\_summarybooklet\\_2b\\_130911\\_web](https://issuu.com/unep/docs/unep_summarybooklet_2b_130911_web)

UNEP, 2011: Recycling Rates of Metals. A Status Report. Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Buchert, M.; Hagelüken, C.; Reck, B.; Sibley, S.; Sonnemann, G. URL: [http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metals\\_Recycling\\_Rates\\_110412-1.pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metals_Recycling_Rates_110412-1.pdf).

Walz, R.; Bodenheimer, M.; Gandenberger, C., 2016: Kritikalität und Positionalität: Was ist kritisch für wen – und weshalb? In: Kritische Metalle in der großen Transformation. Exner, A.; Held, M.; Kümmerer, K. (Hrsg.), Springer Verlag: Berlin, Heidelberg

Wagner et al., 2007; Wagner, M.; Franken, G.; Martin, N.; Melcher, F.; Vasters, J.: Zertifizierte Handelsketten im Bereich mineralischer Rohstoffe. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, 2007, [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/Studie\\_Zertifizierte\\_Handelsketten.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Studie_Zertifizierte_Handelsketten.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

World Bank, 2014; World Bank: Worldwide Governance Indicators (WGI), 2014; <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#reports>

Whoriskey, 2016: In your phone, in the air. A story by Peter Whoriskey published on 2 October 2016; <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/graphite-mining-pollution-inchina/>

## 8. Anhänge

### 8.1. Rohstoffe im Fokus des Projektes

Rohstoffe im Fokus von Deutschland 2049 – Einstufung Massenrohstoffe und Nicht-Massenrohstoffe

(Massenrohstoffe in roter Schrift > 100.000 t Bedarf in D in 2013; Nicht-Massenrohstoffe in blauer Schrift < 100.000 t Bedarf in D in 2013)

#### Eisenmetalle (7)

Vanadium (V)	Nickel (Ni)
Chrom (Cr)	Niob (Nb)
Mangan (Mn)	Molybdän (Mo)
Eisen (Fe)	

#### Nicht-Eisenmetalle (8)

Magnesium (Mg)	Kupfer (Cu)
Aluminium (Al)	Zink (Zn)
Titan (Ti)	Zinn (Sn)
Kobalt (Co)	Blei (Pb)

#### Edelmetalle (8)

Ruthenium (Ru)	Iridium (Ir)
Rhodium (Rh)	Platin (Pt)
Palladium (Pd)	Silber (Ag)
Osmium (Os)	Gold (Au)

#### Technologiemetalle (36)

Praseodym (Pr)	Neodym (Nd)
Scandium (Sc)	Samarium (Sm)
Europium (Eu)	Gadolinium (Gd)
Terbium (Tb)	Dysprosium (Dy)
Erbium (Er)	Ytterbium (Yb)
Thulium (Tm)	Lutetium (Lu)
Yttrium (Y)	Lanthan (La)
Cer (Ce)	Holmium (Ho)

Kadmium (Cd)	Quecksilber (Hg)
Arsen (As)	Lithium (Li)
Beryllium (Be)	Tellur (Te)
Gallium (Ga)	Germanium (Ge)
Selen (Se)	Strontium (Sr)
Zirkonium (Zr)	Indium (In)
Antimon (Sb)	Barium (Ba)
Tantal (Ta)	Wolfram (W)
Rhenium (Re)	Thallium (Tl)
Bismuth (Bi)	Hafnium (Hf)

**Industriematerialien (9)**

Kalisalze	Steinsalze
Flussspat	Graphit
Baryt	Schwefel
Phosphat	Spezialsande
Titandioxid	

**Baumaterialien (7)**

Kies	Sand
Naturstein	Kalk gebrannt
Zement	Gips
Ton	

**8.2. Factsheet Kies**

Kies wird im Rahmen des Projektes als Massenrohstoff eingruppiert und ist Cluster-Repräsentant der Gruppe „Heimische Baurohstoffe“. Der jährliche Kies- und Sandbedarf in Deutschland von 238 Mio. t in 2014 (BGR, 2015) kann durch die inländische Produktion gedeckt werden. Zusätzlich wird Kies exportiert z. B. in die Niederlande. Neben Sand ist Kies nach Mengengesichtspunkten der wichtigste Massenrohstoff in Deutschland.

Kies ist eine Sammelbezeichnung für gerundete Gesteins- oder Mineralkörner zwischen 2 und 63 mm. Ein hochwertiges Recycling bzw. eine hochwertige Wiederverwendung von Kies findet nur in

geringem Umfang statt. Im Fall von Beton beträgt der Recycling-Anteil nur 0,4 % (Deilmann et al., 2014).

### **8.2.1. Wesentliche Anwendungen**

Kies (Repräsentant MR1) ist ein wichtiger Rohstoff für die Bauwirtschaft und Baustoffindustrie und wird dort vor allem als Zuschlagsstoff in Beton (Gesteinskörnung), für Betonfertigteile und Betonwaren sowie als Schüttgut im Erdbau eingesetzt. Es existieren noch weitere Anwendungen z. B. als Filterschicht oder als kapillarbrechende Schicht. In kleinen Mengen wird Kies auch in der eisenschaffenden und verarbeitenden Industrie, in der Keramik- oder chemischen Industrie eingesetzt. (BGR, 2015)

### **8.2.2. Wesentliche Herkunftsländer**

In Deutschland gibt es derzeit etwa 2120 Kies- und Sandwerke in der Gewinnung und Aufbereitung von Kiesen und Sanden aus oberflächennahen Lagerstätten. Die Seekiesgewinnung – also die Rohstoffgewinnung aus dem Meer – spielt innerhalb der deutschen Gewinnungsaktivitäten lediglich eine sehr kleine Rolle (BV Miro 2015<sup>54</sup>).

In den Fluss- und Nebenflussgebieten von Rhein, Main und Mosel werden Kiesablagerungen schon immer als wichtige Rohstoffvorkommen genutzt. Sie zählen daher auch zu den wichtigsten Kies- und Sandlagerstätten Mitteleuropas.

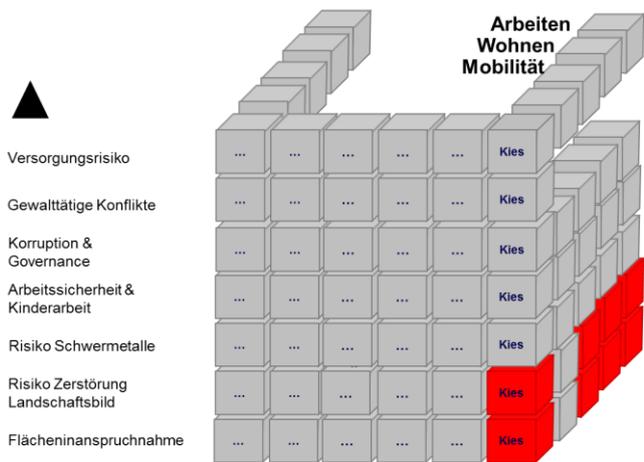
### **8.2.3. Probleme / HotSpots**

Auf Grund seines geringen spezifischen monetären Wertes und dem hohen Gewicht lohnen sich weitere Transporte nicht und der deutsche Bedarf wird fast ausschließlich über inländische regionale Förderung gedeckt. Hierdurch gibt es aktuell keine HotSpots in Bezug auf Versorgungsrisiko oder soziale Kriterien. Durch seinen Abbau in Kiesgruben (Tagebau) hat Kies aber Auswirkungen auf die Umwelt. Hier besteht insbesondere ein Risiko durch Flächeninanspruchnahme und ein Risiko der Zerstörung des Landschaftsbildes (siehe HotSpots im Rohstoffwürfel in folgender Abbildung).

---

<sup>54</sup> <http://www.bv-miro.org/>

Abbildung 8-1: HotSpots: Kies

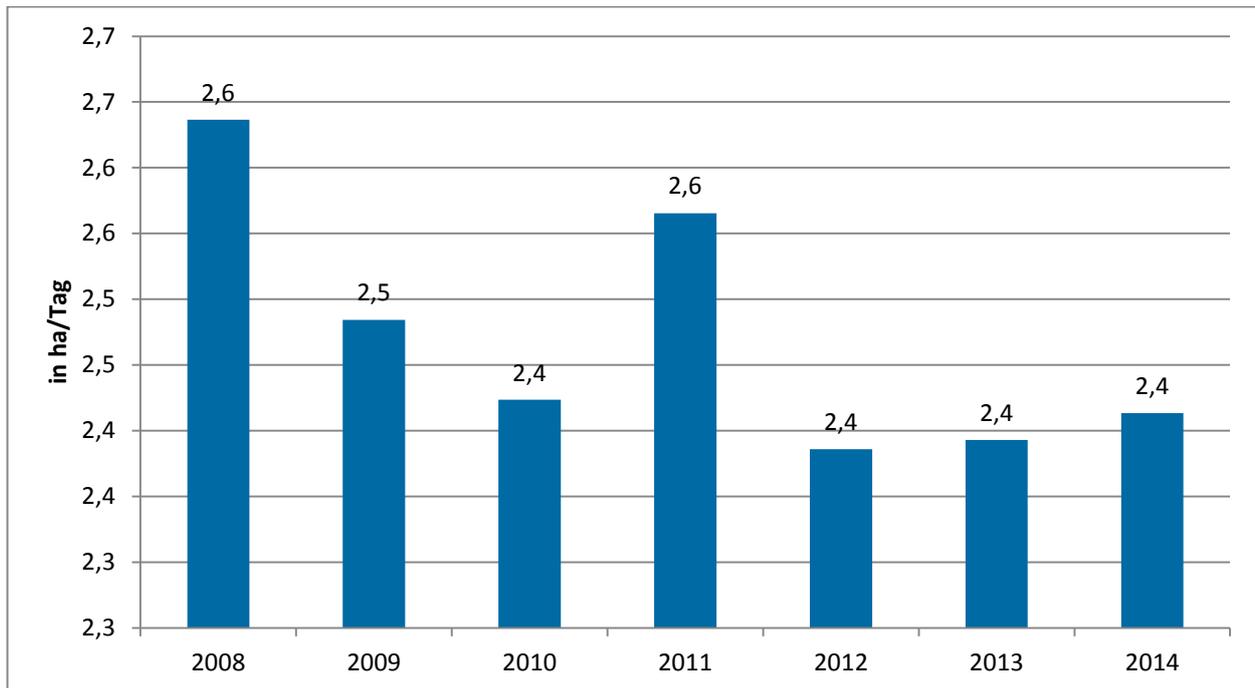


Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Als Massenrohstoff kann bei Kies eine Verminderung der Umweltauswirkungen im Wesentlichen nur über die Verringerung des Gesamtbedarfs erreicht werden. In der ökologischen Dimension weist Kies durch seinen Einsatz in großen Mengen ein Risiko für die Zerstörung des Landschaftsbilds und eine große Flächeninanspruchnahme auf. Im Jahr 2014 war eine Fläche von 2.549 Hektar (ha) durch Rohstoffabbau im Tagebau betroffen (UBA, 2016), dabei entfielen pro Tag rund 3,6 ha auf den Abbau von Baumineralien. Dabei hängt der Flächenverbrauch wesentlich davon ab, mit welcher Abbaumächtigkeit der jeweilige Rohstoff zur Verfügung steht.

Sand- und Kiesschichten sind im Schnitt 15 Meter (m) mächtig. Um eine Tonne Kies oder Sand abzubauen liegt nach Berechnungen des UBA (2016) die Oberflächenzerstörung bei 370 Quadratzentimetern.

**Abbildung 8-2: Flächenverbrauch durch inländische Entnahme von Bausand und Baukies im Tagebau**



Quelle: UBA 2016

#### 8.2.4. Rohstoffspezifische Ziele

Kies ist ein Baumaterial, welches überwiegend lokal gewonnen und verwendet wird. Die Kiesgewinnung (Angebotsseite) verursacht eine hohe Flächeninanspruchnahme (HotSpot). Ein rohstoffspezifisches Ziel lautet daher, die Flächeninanspruchnahme zu reduzieren und die damit verbundenen Risiken wie der Zerstörung des Landschaftsbildes. Dieses wirkt sich auf der Nachfrageseite in den ausgewählten Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten sowie Mobilität aus.

Ein großer Anteil von Kies wird in der Betonherstellung eingesetzt. Um den Einsatz von primärem Kies zu reduzieren ist ein erstes Beispielinstrument die Einführung von Mindestanforderungen für den Einsatz von Recyclingbeton bei öffentlichen Bauvorhaben. Des Weiteren führt eine Erhöhung der Sanierungsrate der Gebäude zu einer Lebensdauererlängerung von Gebäuden und damit zu einer Reduzierung des Betonverbrauchs. Dies würde national durch ein Förderprogramm „Bestandspflege“ begünstigt werden. Im Bedürfnisfeld Wohnen kann der Bau von Mehrfamilienhäusern anstelle von Einfamilienhäusern den Einsatz von Kies im Bau reduzieren. Im Bedürfnisfeld Mobilität kann durch eine Verringerung des Straßennetzausbaus, ein Rückgang der Kiesnutzung forciert werden. Ebenfalls reduziert die avisierte Förderung der Holzbauweise den Einsatz von Beton.

#### 8.2.5. Quellen

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, 2015): Deutschland - Rohstoffsituation 2014. Hannover ([https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3))

Lothar Lahner und Walter Lorenz, 2003: Lagerstätten von mineralischen und Energierohstoffen. In: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland – Relief, Boden und Wasser.

Umweltbundesamt, 2016: Berechnungen des Umweltbundesamtes 2016, Datenquellen: BGR (<https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaechennutzung/flaechenverbrauch-fuer-rohstoffabbau#textpart-4>) Rohstoffberichte; Statistisches Bundesamt

### 8.3. Factsheet Zement

Zement wird im Rahmen des Projektes als Massenrohstoff eingruppiert und ist Cluster-Repräsentant der Gruppe „Baurohstoffe“ (MR2).

Zement ist ein wichtiger Massenrohstoff in Deutschland, dessen Produktionsmenge vom inländischen Bauvolumen abhängt. Im Jahr 2015 lag der Zementverbrauch in Deutschland bei ca. 26,6 Mio. Tonnen (Zement, 2017). Zusätzlich wurden rund 6,6 Mio. Tonnen exportiert. Die Importmenge lag bei ungefähr 1,3 Mio. Tonnen Zement.

Ein Recycling von Zement zur Einsparung bzw. Substitution der Neuherstellung von Zement ist nicht möglich. Aber Zement kann im Rahmen des Betonrecyclings Kies, Sand bzw. Natursteine partiell substituieren.

Zement ist ein wesentlicher Bestandteil für die Betonherstellung. Für die Herstellung von Zement stellen Kalkstein, Ton und Mergel die wichtigsten Rohstoffe dar. Die Rohstoffe werden in Steinbrüchen gewonnen und zu Rohschotter zerkleinert. Der Schotter wird mit Zuschlagsstoffen (Quarzsand und Eisenerz) gemischt und dann zu Mehl gemahlen. Dieses Rohmehl wird in Drehrohröfen gebrannt. Der entstandene Klinker wird schließlich unter Zusatz von Gips, Anhydrit und zum Teil weiteren Zuschlagstoffen, wie z. B. Kalkstein, Hüttensand oder Flugasche, zum Endprodukt Zement gemahlen. (Beton, 2017)

#### 8.3.1. Wesentliche Anwendungen

Zement wird hauptsächlich für die Herstellung von Beton eingesetzt. Darüber hinaus kommt Zement auch bei Mörteln, Estrich oder Putzen zum Einsatz.

Etwas mehr als die Hälfte der deutschen Zementproduktion wurde 2015 für die Herstellung von Transportbeton eingesetzt (VDZ, 2016). Auf die Herstellung von Betonfertigteilen entfiel grob ein Viertel. Die restlichen Zementmengen wurden in Form von Sackzement und Silozement ausgeliefert.

Betrachtet man die verschiedenen Baubereiche in Deutschland in denen Zement verwendet wird, so zeigt sich, dass sich der Einsatz von Zement relativ gleichmäßig auf den Wohnungsbau, Nichtwohnbau und den Tiefbau verteilt. Der Tiefbau hatte 2015 mit 35,0 % den höchsten Anteil. Darauf folgten mit 34,3 % der Nichtwohnbau und schließlich der Wohnungsbau mit 30,7 %.

#### 8.3.2. Wesentliche Herkunftsländer

Die produzierende Zementindustrie in Deutschland setzt sich aus 22 Zementunternehmen an 55 Werksstandorten mit ca. 7.800 Mitarbeitern zusammen (VDZ, 2016). Die Unternehmensstruktur stellt im Bereich Zement einen Mix aus mittelständischen und großen Unternehmen dar. Die Unternehmen erzielten im Jahr 2015 bei einer Gesamtproduktion von rund 31 Mio. Tonnen Zement einen Umsatz von rund 2,5 Milliarden Euro. Dabei hat sich der Zementmarkt in den vergangenen

Jahren in Deutschland vergleichsweise stabil entwickelt. Deutschland ist der größte Zementhersteller in der EU.

Der Export von Zement spielt für deutsche Zementindustrie ebenfalls eine wichtige Rolle. Von der Produktionsmenge von 31 Mio. Tonnen wurden rund 6,6 Mio. Tonnen ins Ausland exportiert (Zement, 2017). Die wichtigsten Abnehmer sind Frankreich, die Niederlande, Belgien sowie Österreich (VDZ, 2016). Frankreich, die Tschechische Republik, die Niederlande sowie andere (EU) Länder wiederum haben 2015 Zement nach Deutschland in Höhe von ungefähr 1,3 Mio. Tonnen importiert.

### **8.3.3. Probleme / HotSpots**

Bei der Klinkerherstellung im Drehrohfen wird sehr viel Energie benötigt und es entstehen neben den Treibhausgasen aus dieser Energienutzung noch große Mengen geogenes CO<sub>2</sub>, welches beim Brennen abgespalten wird. Die Zementherstellung ist daher sehr CO<sub>2</sub>-intensiv und stellt einen HotSpot beim Treibhausgaspotenzial (Kategorie GWP) dar.

Zement verursacht zusammen mit Aluminium und Stahl durch ihre Primärproduktion über 90 % der deutschen Treibhausgasemissionen die auf eingesetzte Primärrohstoffe zurückgehen. Dabei ist zu beachten, dass Zement und Stahl im Unterschied zu Aluminium überwiegend innerdeutsch produziert werden.

Durch den Abbau der Rohstoffe für die Zementherstellung ergeben sich weitere Auswirkungen auf die Umwelt. Hier besteht insbesondere ein Risiko durch Flächeninanspruchnahme und ein Risiko zur Zerstörung des Landschaftsbildes. Laut dem Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) erstrecken sich alle im Betrieb befindlichen und genehmigten Abbaustätten der Zementindustrie auf eine Fläche von ca. 5.600 ha (VDZ, 2016).

### **8.3.4. Rohstoffspezifische Ziele**

Wie zuvor beschrieben verursacht die Zementherstellung hohe Treibhausgasemissionen (HotSpot). Ein rohstoffspezifisches Ziel lautet daher, die Emission von Treibhausgasen durch eine Verminderung der Zementproduktionsmengen zu reduzieren. Dieses wirkt sich auf der Nachfrageseite in den ausgewählten Bedürfnisfeldern Wohnen, Arbeiten sowie Mobilität aus.

Zement wird in der Betonherstellung für den Tief-, Nichtwohn- und Wohnungsbau eingesetzt und dabei beim Hochbau im starken Maße für den Neubau von Gebäuden. Deshalb kann eine Reduktion der Zementproduktion beispielsweise über das Dämpfen des Bedarfs an Neubauten bzw. über die Bestandserhaltung (Ziel: Erhöhung der Sanierungsrate der Gebäude in den Bedürfnisfeldern Arbeiten und Wohnen) der Betonstrukturen erreicht werden. Die Nutzung von anderen Baustoffen und Bautechniken, beispielsweise Holzbau, oder der Bau in kompakteren Formen, wie Mehrfamilienhäusern, können ebenfalls den Bedarf reduzieren.

Ein konkretes Ziel zur Reduzierung des Zementbedarfs kann direkt aus dem Ziel für Kies (siehe Kapitel 4.2.3) übertragen werden, da beide Rohstoffe Bestandteil von Beton sind.

Ein qualitatives Ziel liegt in der Erforschung und Implementierung von GWP (Global Warming Potenzial) schonenden Technologien zur Zementherstellung. Hierfür wird bereits Celitement erforscht, welcher die Treibhausgasemissionen der Zementherstellung um rund die Hälfte reduziert.

### 8.3.5. Quellen

Beton, 2017: <http://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/was-ist-zement/>, 27.4.2017

Zement, 2017: <https://www.vdz-online.de/publikationen/zahlen-und-daten/c-zementabsatz-und-verbrauch/>, 27.4.2017

VDZ, 2016: Verein Deutscher Zementwerke, Hrsg., Zementindustrie im Überblick 2016/2017, Berlin, 2016

## 8.4. Factsheet Eisen

Eisen ist nach Aluminium, das zweithäufigste Metall in der Erdkruste und mit 90 % Massenanteil das meistgenutzte Metall der Menschheit. Eisen ist Cluster-Repräsentant des Clusters „Hauptmassenmetalle“ (MR3).

### Abbildung 8-3: Elektrolytisch gewonnenes Eisen und Stahlschmiede



Quelle Eisen: Alchemist-hp aus Wikimedia Commons, Lizenz:GFDL-1.2  
 ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iron\\_electrolytic\\_and\\_1cm3\\_cube.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iron_electrolytic_and_1cm3_cube.jpg))

Quelle Stahl: Eugen Nosko aus Wikimedia Commons; Lizenz: CC BY-SA 3.0 DE  
 ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotothek\\_df\\_n-08\\_0000590.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotothek_df_n-08_0000590.jpg))

### 8.4.1. Wesentliche Anwendungen

Eisen wird in vielen verschiedenen Formen genutzt, Eisenerz wird beispielsweise als Zuschlagstoff in der Bauindustrie eingesetzt. Die Hauptanwendungsform von Eisen ist allerdings Stahl. Die Einsatzgebiete von Stahl sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

**Tabelle 8-1: Einsatzgebiete von Stahl in Deutschland**

<b>Einsatzgebiet</b>	<b>Prozentualer Anteil</b>
Baugewerbe	31 %
Automobilindustrie	26 %
Maschinenbau	12 %
Metallwarenherstellung	12 %
Rohrherstellung	10 %
Haushaltswaren	3 %
Sonstige Anwendungen	6 %

Quelle: BGR 2015

#### **8.4.2. Wesentliche Herkunftsländer**

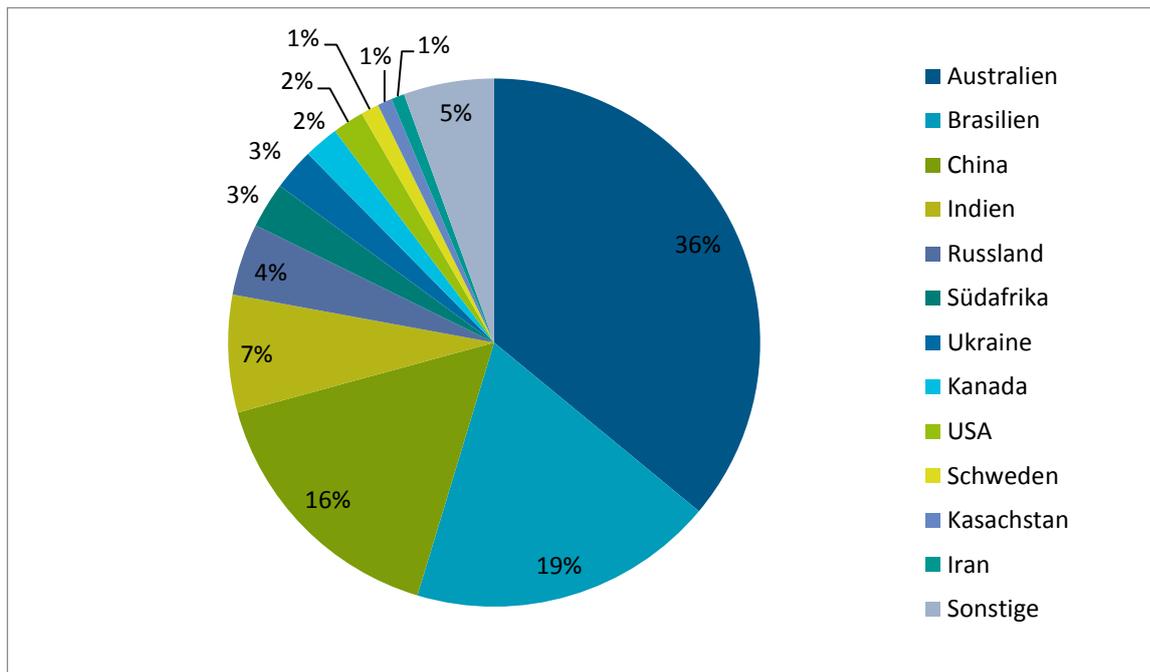
Die Importe von Eisen und eisenhaltigen Produkten sind in folgender Tabelle nach BGR (2015) zusammengestellt. Als Zusatzinformation sind die Exporte in grauer Schriftfarbe ebenfalls eingefügt.

**Tabelle 8-2: Deutsche Importe und Exporte von Eisen**

Importjahr	2011	2012	2013	2014	Herkunftsländer/ Importländer
Erz und Konzentrat	41.984.000 t	38.925.000 t	40.343.000 t	43.040.000 t	Brasilien 55,9 % Schweden 15,5 % Kanada 15,3 %
Schlacken, Aschen und Rückstände, Fe- haltig	668.000 t	732.000 t	653.000 t	749.000 t	Österreich 43,9 % Belgien 31,1 % Frankreich 11,8 %
Export Schlacken, Aschen und Rückstände, Fe- haltig	2.804.000 t	2.340.000 t	2.429.000 t	2.934.000 t	Frankreich 35,2 % Niederlande 19,3 % Luxemburg 12,3 %
Eisenschwamm, - pulver, -körner	373.919 t	256.495 t	568.979 t	700.707 t	Trinidad und Tobago 37,6 % Venezuela 26,7 %
Abfälle und Schrott	6.674.000 t	5.793.000 t	5.677.000 t	5.290.000 t	Niederlande 21,3 % Polen 18,7 % Tschechische Republik 16,2 %
Exporte Abfälle und Schrott	9.966.000 t	9.810.000 t	9.237.000 t	9.285.000 t	Niederlande 20,4 % Italien 18,3 % Luxemburg 13,5 % Belgien 12,5 %
Roheisen incl. Gusseisen	607.107 t	645.284 t	539.254 t	489.961 t	Russische Föderation 42,6 % Brasilien 19,5 % Südafrika 16,3
Export Roheisen incl. Gusseisen	188.938 t	182.209 t	153.755 t	122.544 t	Frankreich 21,0 % Polen 14,7 % Italien 11,7

Quelle: BGR, 2015

Die prozentuale globale Verteilung der Eisenerzförderung in 2016 wird in folgender Abbildung nach USGS (2017) illustriert. Australien ist mit 36 % der größte Anbieter von Eisenerz,

**Abbildung 8-4: Globale Primärproduktion von Eisenerz**

Quelle: Abbildung nach USGS, 2017;( Iron ore content)

### 8.4.3. Probleme / HotSpots

Bei der Stahlprimärkette liegen die HotSpots v. a. in der ökologischen Dimension. Diese HotSpots entstehen nicht durch die spezifischen Belastungen sondern durch die schiere Menge an Eisenerzgewinnung.

Bei der Stahlproduktion entsteht eine hohe Belastung an THG-Emissionen, da die Raffination sehr energieintensiv ist, was mit einem hohen Ausstoß an Treibhausgasen verbunden ist. Die spezifischen Emissionen liegen bei 1,35 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je kg Rohstahl<sup>55</sup>. Durch den hohen Bedarf in Deutschland liegen die Gesamtemissionen des deutschen Stahlbedarfs bei 50.895.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Des Weiteren besteht ein hohes Versauerungspotenzial aufgrund des sulfidischen Erzes. Neben diesen Emissionen gibt es eine weitere Herausforderung in dem Umgang von Schlämmen aus der Eisenerzgewinnung. Diese sind mit Schwermetallen belastet und werden meist in offenen Absetzbecken abgelagert, die nur durch Dämme begrenzt werden. Bei Starkregenereignissen kann es zu katastrophalen Auswirkungen (ökologisch, ökonomisch und sozial) kommen. Der Abbau von Eisenerz ist aufgrund der großen Menge außerdem mit einer hohen Flächeninanspruchnahme verbunden.

### 8.4.4. Rohstoffspezifische Ziele

Für den Massenrohstoff Eisen/Stahl wird als quantitatives Ziel die Reduzierung des absoluten Primärbedarfs gesehen. Im Rahmen des Projektes wurde für die Bedürfnisfelder Wohnen, Arbeiten und Mobilität eine Reduzierung des Primärbedarfs von Stahl von etwa 40 % aufgezeigt. Verkehrsvermeidung und -verlagerung führen zum Abschmelzen des Fahrzeugbestands und somit zur

<sup>55</sup> Dieser Wert repräsentiert den deutschen Erzeugungsmix (inklusive der Elektrostahlroute, die auf Sekundärstahl beruht).

deutlichen Verringerung des Primärbedarfs, ebenso die Lebensdauererlängerung von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden.

Die Einsparung von Treibhausgasen sollte ebenfalls anvisiert werden. Diese Ziele müssen über weitere Forschung noch quantifiziert werden. Hier könnten Maßnahmen wie die weitere Erhöhung des Recyclings greifen. Die Steigerung des Sekundärmetallanteils zur Deckung des Bedarfs kombiniert mit der Energiewende (Reduzierung von Treibhausgasemissionen aus dem Stromverbrauch bei der Elektrostahlroute) können bis 2049 deutliche Treibhausgaseinsparungen zur Folge haben.

Um das Risiko für Umweltkatastrophen wie z. B. durch die Dammbrech in Brasilien zu verringern, muss eine Zertifizierung für die Einhaltung von Umweltstandards bei der Erzgewinnung durchgeführt werden. Hierbei werden die Betriebe zertifiziert, welche durch die Einhaltung von Vorgaben das Risiko deutlich verringern, dass es beispielsweise zum Dammbrech kommen kann. Die Zertifizierung könnte, wie für Neodym in Kapitel 6.2.5 beschrieben, in einem mehrstufigen Verfahren eingeführt werden.

#### 8.4.5. Quellen

BGR, 2015: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Deutschland - Rohstoffsituation 2014, November 2015. [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

USGS, 2017: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2017. Iron Ore [https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron\\_ore/mcs-2017-feore.pdf](https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_ore/mcs-2017-feore.pdf)

### 8.5. Factsheet Kalisalz

Kalisalz wird im Rahmen des Projektes als Massenrohstoff eingruppiert und ist Cluster-Repräsentant der Gruppe der Industriesalze. Der jährliche Kalisalz-Bedarf in Deutschland von 2,6 Mio. t. kann durch die inländische Produktion gedeckt werden.

Kali besteht aus verschiedenen Mineralien mit einem hohen Gehalt an Kaliverbindungen. Wirtschaftlich genutzt werden vor allem Kaliumchlorid und Magnesiumsulfat. Die wichtigen Bestandteile von Kali sind Steinsalz (NaCl), Sylvin (KCl), Carnallit ( $\text{KMgCl}_3 \times 6 \text{H}_2\text{O}$ ) und Kieserit ( $\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ ). Die deutschen Lagerstätten enthalten als einzige auf der Welt neben den Kalisalzen auch Kieserit. Dies ermöglicht eine gleichzeitige Gewinnung der Pflanzennährstoffe Kalium, Magnesium und Schwefel und ist zu besonders hochwertigen Mineraldüngern zu verarbeiten. (VKS, 2016a)

**Abbildung 8-5: Panorama des Kaliwerkes mit der Abraumhalde in Philippsthal (Werra). Aufgenommen von Siechenberg**

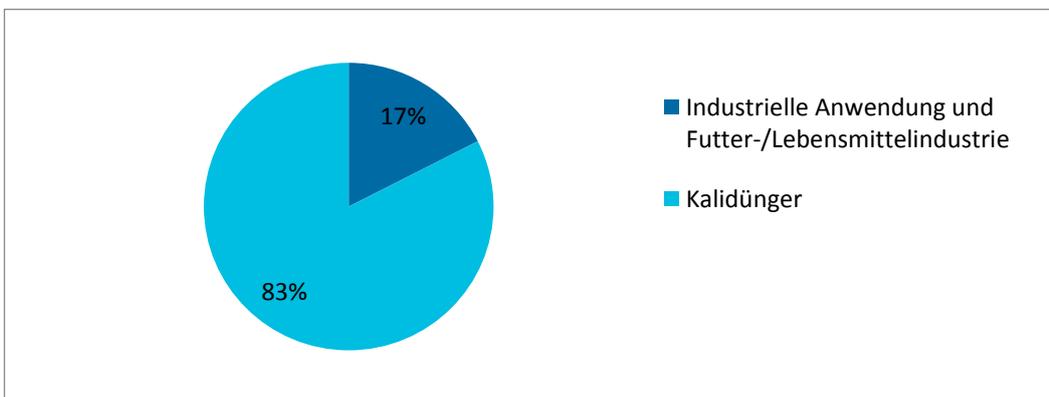


Quelle: Urheber: 2micha aus Wikimedia Commons, Lizenz: CC BY-SA 3.0  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Philippsthal\\_panorama\\_kalischacht.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Philippsthal_panorama_kalischacht.jpg)

### 8.5.1. Wesentliche Anwendungen

Hauptanwendung von Kalisalz ist Düngemittel. Mehr als 80 % des Kalisalzes wird für die Düngemittelproduktion eingesetzt. Darüber hinaus werden Vorprodukte für verschiedene Anwendungsbereiche in der Chemie-, der Pharma- und der Lebensmittelindustrie und für andere technische und gewerbliche Bereiche wie die Waschmittel- und Kunststoffindustrie produziert. (VKS, 2015)

**Abbildung 8-6: Anwendungen Kalisalz 2015**



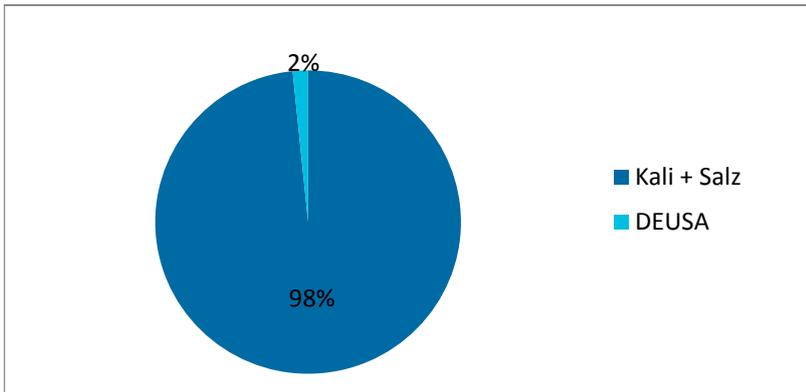
Quelle: K+S, 2016

### 8.5.2. Wesentliche Herkunftsländer

Der deutsche Kalibedarf von 2,6 Mio. Tonnen kann durch die inländische Produktion zu 100 % gedeckt werden. Die Kali-Gewinnung in Deutschland findet in den Bergwerken Sigmundshall, Zielitz, Werra und Neuhoof-Ellers statt.

Hauptproduzent von Kali in Deutschland ist die Firma Kali + Salz mit 98 % des in Deutschland produzierten Kalis (siehe Abbildung unten).

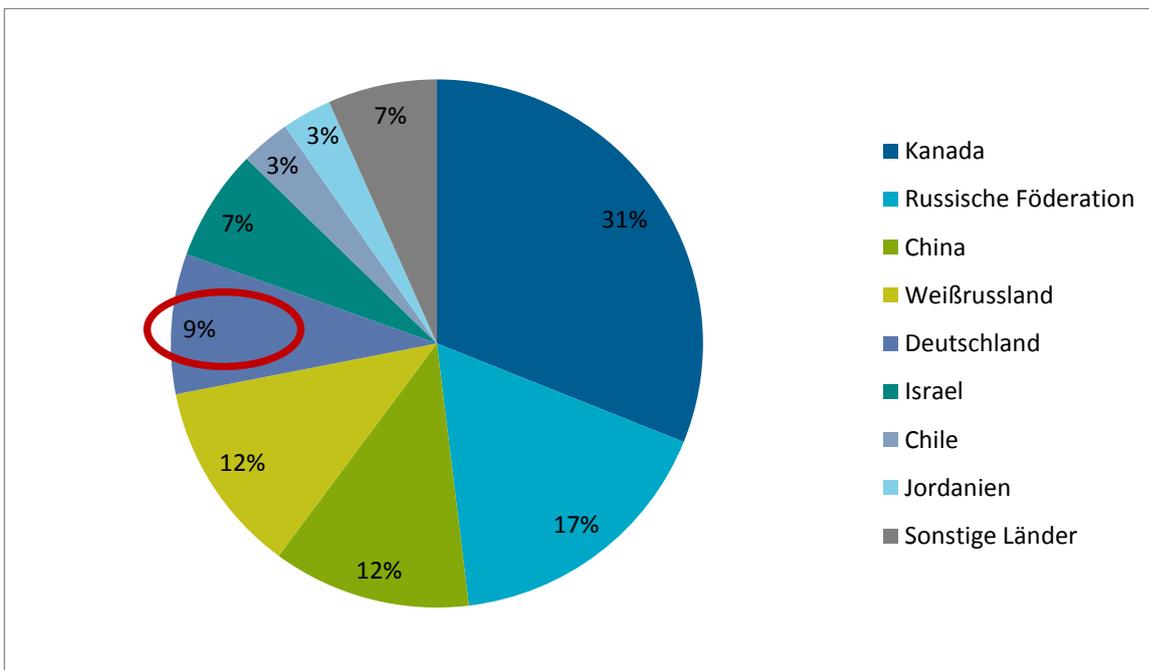
**Abbildung 8-7: K<sub>2</sub>O-Produzenten in Deutschland 2014 (ca. 3.127.000 t K<sub>2</sub>O)**



Quelle: BGR, 2015

Global gesehen sind die größten Kalisalzproduzenten Kanada (31 %), Russland (17 %), China (12 %), Weißrussland (12 %) und Deutschland (9 %). In folgender Abbildung sind die globalen Kalisalzproduzenten nach ihren produzierten Mengen in 2014 illustriert. Bei einer weltweiten Produktion von 26.495.000. Tonnen K<sub>2</sub>O ist Deutschland mit knapp 3,2 Millionen Tonnen fünftgrößter Kalisalzproduzent nach Kanada, Russland, China und Weißrussland.

**Abbildung 8-8: Globale Kalisalzproduzenten 2014 (global 36.495.000 t K<sub>2</sub>O)**



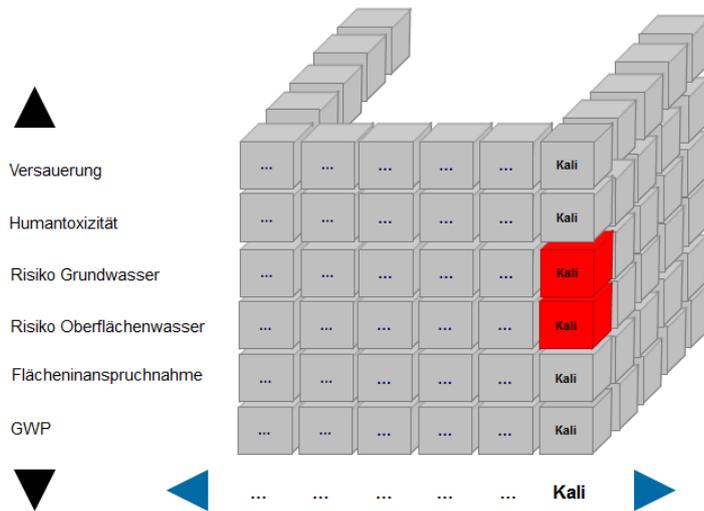
Quelle: BGR, 2015

### 8.5.3. Probleme / HotSpots

Bei Kalisalz liegen die relevanten HotSpots in der ökologischen Nachhaltigkeitsdimension. Hierbei sind die Versalzung von Grundwasser und Oberflächengewässer durch die Verklappung der

Abwässer und Salzabtrag von den Halden kritisch (siehe HotSpots im Rohstoffwürfel in folgender Abbildung).

**Abbildung 8-9: Rohstoffwürfel Kali**



Quelle: Darstellung Öko-Institut e.V.

Die Grundwasserbelastung entsteht durch Salzabfälle, der Ableitung der Salzlauge in Flüsse und der Versenkung von Salzabwässern. (Wallstreet Online, 2016) (Wasser-in-Not, 2016)

Die Belastung von Oberflächenwasser entsteht durch die Abtragung der Kaliberge und der Ableitung in die Flüsse. Die Versalzung der Flüsse und Seen führt zu Verdrängung von Flora und Fauna in Gewässern und der Neuansiedlung salzresistenter Organismen.

70 % der in Kalibergwerken geförderten Menge sind Salzabfälle, die in großen Halden aufgeschüttet werden (Kaliberg, Monte Kali) (WWF, 2010). Dies beeinträchtigt das Landschaftsbild deutlich, da hier künstliche Berge von bis zu 200 m Höhe aufgeschüttet werden, die weithin sichtbar sind.

Die massiven Salzfrachten, die vor allem in die Flüsse eingeleitet werden, haben diverse Auswirkungen. Hierbei seien vor allem die Schädigung von Brücken Pfeilern sowie die Verdrängung und Schädigung von Flora und Fauna in Gewässern und die damit verbundene Neuansiedelung salzresistenter Organismen genannt. Eine Nordsee-Pipeline ist lange diskutiert worden um die Salzfrachten direkt ins Meer zu leiten. Derzeit läuft ein Raumordnungsverfahren, um eine Pipeline zur Oberweser zu errichten und dort die Salzabwässer einzuleiten um damit die Werra zu entlasten.

Eine technische Lösung zur Verminderung der Abfälle, die gleichzeitig ökonomisch darstellbar ist, existiert bisher nicht. Stattdessen sind zur Einhaltung weiterer Grenzwerte eine Eindickung der Salzabfälle und eine anschließende Einstapelung im Untergrund im Rahmen des Masterplans „Salz des Landes Hessen“ geplant (Quadflieg, 2016).

#### 8.5.4. Rohstoffspezifische Ziele

Grundlegendes rohstoffspezifisches Ziel für eine Rohstoffwende für Kalisalz ist daher der Grundwasser- und Gewässerschutz.

Dieses Ziel kann erreicht werden zum einen durch eine Reduzierung der Wasserverunreinigung in Grund- und Oberflächenwasser. Diese rührt von Auswaschungen der Abraumhalden sowie der Reinigung der Salze her. Heute bleiben 70 % der geförderten Menge als „Salzabfälle“ zurück (WWF 2010). Wie mit diesen Salzabfällen weiter umgegangen werden kann, bedarf einer weiteren Analyse. Eine Frage besteht z. B. darin, wie diese Salzabfälle ökonomisch genutzt werden können. In einer Pilotanlage wird die „Eindampflösung“ der Kaliabwässer aus der Produktion bereits getestet. Hier werden die unterschiedlichen Abwässer aus Produktionsprozessen und Salzhalden eingedampft. Mittels Auskristallisation und Abtrennung von verwertbaren Salzen sowie Versetzen des hochkonzentrierten Restes unter Verfestigungsreaktionen im Abbauholraum kann eine abwasserfreie Produktion erzielt werden. Diese Verwertung der Salzabfälle wird derzeit allerdings als nicht wirtschaftlich erachtet (NDR, 2016). Diese „Eindampflösung“ kann das Abwasserproblem in der Produktionsphase angehen – nicht aber die anschließende Haldenwasserproblematik (UBA, 2014).

Eine Reduzierung der Belastung von Grund- und Oberflächenwasser ist aus Umweltsicht dringend geboten. Eine Quantifizierung von Grenzwerten bedarf noch weiterer Forschung.

Zum anderen kann eine Reduzierung des Primärkaliumeinsatzes zu einer Verringerung der Belastung von Grund- und Oberflächenwasser führen. Das Haupteinsatzgebiet von Kalisalzen ist Düngemittel. Eine Reduzierung des Primärkaliumeinsatzes könnte über den Einsatz anderer Kaliumquellen (Kompost, Holzaschen) erreicht werden. Eine Quantifizierung dieses Ziels bedarf noch weiterer Forschung.

Weiterhin könnte eine Verringerung der Salzabfälle erreicht werden durch eine Lenkung mittels ökonomischer Instrumente – etwa durch eine „Ableitungsabgabe“ nach Menge, Volumen oder Salzgehalt.

#### 8.5.5. Quellen

BGR, 2015: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Deutschland – Rohstoffsituation 2014. Hannover. 2015 ([http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3))

K+S 2016: K+S KALI GmbH: Das Kaliwerk Zielitz – Glückauf! Abgerufen unter <http://www.kali-gmbh.com/dede/company/werk-zielitz/>

NDR, 2016: Norddeutscher Rundfunk: Wie der Konzern K+S die Umwelt verschmutzt. Veröffentlicht von Nils Naber am 08.03.2016 unter <http://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/Wie-der-Konzern-KS-die-Umwelt-verschmutzt,umweltverschmutzung120.html>

Quadflieg, 2016: Dr. Arnold Quadflieg, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Auswirkungen des Salzmanagements auf die Gewässer. Wasserforum 2016, EG-Wasserrahmenrichtlinie Start in die zweite Bewirtschaftungsplanperiode. 6.12.2016, Frankfurt ([http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/4\\_oeffentlichkeitsbeteiligung/wasserforumhessen/Wasserforum2016/Nr9\\_Quadflieg.pdf](http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/4_oeffentlichkeitsbeteiligung/wasserforumhessen/Wasserforum2016/Nr9_Quadflieg.pdf))

UBA, 2014: Umweltbundesamt: Versalzung von Werra und Weser. Beseitigung der Abwässer aus der Kaliproduktion mittels „Eindampflösung“. Oktober 2014. (<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/versalzung-von-werra-weser>)

VKS, 2016a: Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.: Die Entstehung der Lagerstätten; abgerufen unter <http://www.vks-kalisalz.de/kali/lagerstaetten/>

VKS, 2016b: Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.: Kalistandort Deutschland. abgerufen am 29.3.2016 unter <http://www.vks-kalisalz.de/kali/standorte-in-deutschland/>

VKS, 2015: Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.: Kali und Salz: Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland, Berlin, 2015 ([http://www.vks-kalisalz.de/uploads/tx\\_powermail/files/Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland 02-03-2015.pdf](http://www.vks-kalisalz.de/uploads/tx_powermail/files/Wertvolle_Rohstoffe_aus_Deutschland_02-03-2015.pdf))

Wallstreet Online, 2016: Kalisalzförderung in Gefahr? Hessen droht K+S mit Verbot der Laugenversenkung. Veröffentlicht am 09.03.2016, abgerufen unter <http://www.wallstreet-online.de/nachricht/8415060-k-s-entsorgungserlaubnis-kalisalzfoerderung-gefahr-hessen-droht-k-s-verbot-laugenversenkung>

Wasser-in-Not, 2016: Informationsportal der Einheitsgemeinde Gerstungen zur Kali und Salz Problematik (<http://www.wasser-in-not.de/>)

WWF, 2010: WWF Jugend: Umweltsünde Monte Kali. Vom 14.05.2010, abgerufen am 16.06.2016 unter <http://www.wwf-jugend.de/leben/bio-essen/umweltsuende-monte-kali;1313>

## 8.6. Factsheet Chrom

Chrom ist ein Massenrohstoff und Cluster-Repräsentant des Clusters „Sonstige Massenmetalle“. Chrom gehört zu den Übergangsmetallen und zeigt in verschiedenen Verbindungen verschiedene Farben, weshalb es gerne als Pigment in Farben und Lacken verwendet wird. Zudem ist es korrosionsbeständig, zäh und schmiedbar. Es wird als Legierungsmetall in Edelstählen genutzt, um den Stahl korrosions- und hitzebeständig zu machen. Die galvanische Verchromung ist ebenfalls ein Anwendungsfeld um eine resistente, spiegelnde Oberfläche zu erhalten.

**Abbildung 8-10: Raffiniertes Chrom und verchromte Felgen**



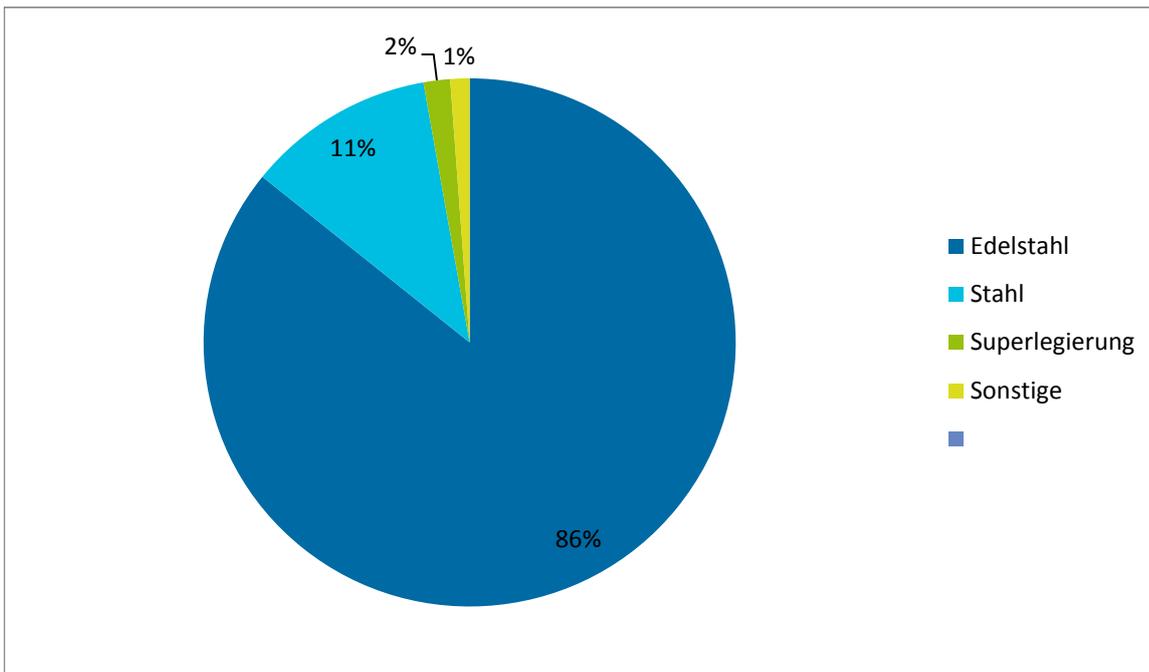
Quelle Chrom: Alchemist-hp aus Wikimedia Commons, Lizenz: CC BY-NC-ND 3.0 ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chromium\\_zone\\_refined\\_and\\_1cm3\\_cube.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chromium_zone_refined_and_1cm3_cube.jpg))

Quelle verchromte Felgen: Stefan-Xp aus Wikimedia Commons, Lizenz: CC BY-SA 3.0 ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Verchromte\\_Felge.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Verchromte_Felge.jpg))

### 8.6.1. Wesentliche Anwendungen

Die wesentlichen Anwendungen von Chrom liegen in Edelstählen, der Feuerfestindustrie, der chemischen Industrie, der Farbindustrie, der Solarindustrie und der Ledergerbung (BGR, 2013). Eine detaillierte Aufteilung der Anwendungsbereiche liegt für Deutschland nicht vor. Für die USA hat die USGS (2016) den Chrom-Einsatz in Endprodukten für 2014 ausgewiesen, wie in folgender Abbildung dargestellt.

**Abbildung 8-11: Einsatz von Chrom in Endprodukten in den USA in 2014**



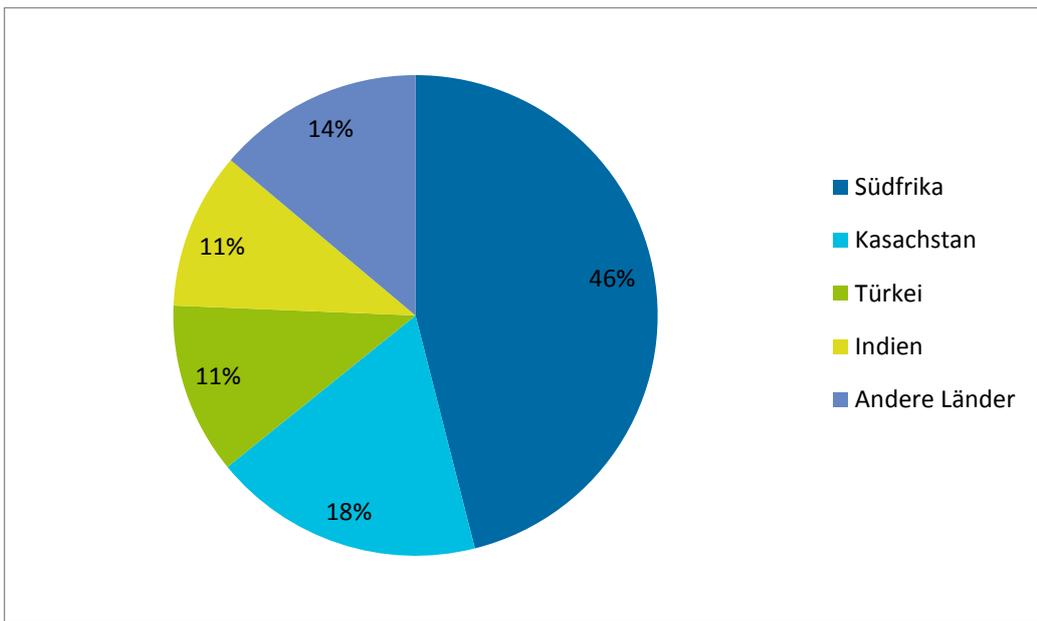
Quelle: USGS, 2016

Dominierende Hauptanwendung von Chrom ist der Einsatz in der Edelstahl- bzw. Stahlproduktion.

### 8.6.2. Wesentliche Herkunftsländer

Die globale Primärgewinnung des entsprechenden Rohstoffs von Chromit erfolgt knapp zur Hälfte in Südafrika. In der folgenden Abbildung sind die Anteile der Primärförderung illustriert.

Abbildung 8-12: Chromit-Bergwerksförderung in 2016



Quelle: USGS, 2017

Die deutschen Importe und Exporte an Chromprodukten sind in folgender Tabelle nach BGR (2015) dargestellt.

Tabelle 8-3: Chrom: Deutsche Importe und Exporte 2011-2014

Importjahr	2011	2012	2013	2014	Herkunftsländer
Erz und Konzentrat	180.689 t	193.127 t	191.919 t	141.896 t	Südafrika 60,3 % Türkei 30,9 %
Ferrochrom	447.845 t	393.532 t	329.579 t	265.308 t	Vertrauliche Länder 51,6 % Südafrika 12,4 %
Ferrosilicochrom	17.985 t	8.573 t	19.757 t	34.772 t	Polen 99,1 %
Metall (roh, Pulver)	4.552 t	4.655 t	4.555 t	5.441 t	Russische Föderation 58,2 % Frankreich 25,0 % Großbritannien 10,5 %
Exportjahr	2011	2012	2013	2014	Herkunftsländer
Erz und Konzentrat	54.064 t	60.615 t	64.107 t	54.329 t	Russische Föderation 46,4 % Tschechische Republik 13,5 %
Ferrochrom	42.532 t	32.781 t	32.539 t	43.774 t	Frankreich 27,4 % USA 15,5 % Österreich 12,4 %
Metall (roh, Pulver)	1.179 t	1.384 t	1.249 t	1.011 t	USA 12,5 % Ungarn 11,8 %

Quelle: BGR, 2015

### 8.6.3. Probleme / HotSpots

Chrom wird von der Europäischen Kommission im Report on critical raw materials for the EU als kritisch eingestuft. Somit liegt ein HotSpot von Chrom in der ökonomischen Nachhaltigkeitssäule im Versorgungsrisiko.

Weiterhin weist Chrom ökologische HotSpots auf. Als Massenrohstoff geht die Chromgewinnung einher mit einer hohen Flächeninanspruchnahme. Des Weiteren ist Chrom ein Schwermetall und als Chrom<sup>VI</sup> krebserregend.

### 8.6.4. Rohstoffspezifische Ziele

Ziel ist eine absolute Reduzierung des Primärbedarfs. Diese kann erreicht werden durch eine Erhöhung des Recyclings. Eine Quantifizierung des Recyclingziels bedarf noch weiterer Forschung.

### 8.6.5. Quellen

BGR, 2015: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Deutschland - Rohstoffsituation 2014, November 2015 [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

BGR, 2013: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Chrom / Chromit – Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe. November 2013 [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Downloads/rohstoffsteckbrief\\_cr.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohstoffsteckbrief_cr.pdf?__blob=publicationFile&v=7)

USGS. 2016: U.S. Geological Survey. 2014 Minerals Yearbook Chromium. Oktober 2016 <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/myb1-2014-chrom.pdf>

USGS, 2017: U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries, Januar 2017 <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/mcs-2017-chrom.pdf>

## 8.7. Factsheet Neodym

Neodym gehört zu den Nicht-Massenrohstoffen und ist Cluster-Repräsentant des Clusters „Seltene Erden“. Neodym ist ein leichtes Seltenerdmetall und wird in Kombination mit anderen Seltenen Erden gewonnen.

**Abbildung 8-13: Neodymsulfat ( $\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3 \times 8 \text{H}_2\text{O}$ )**

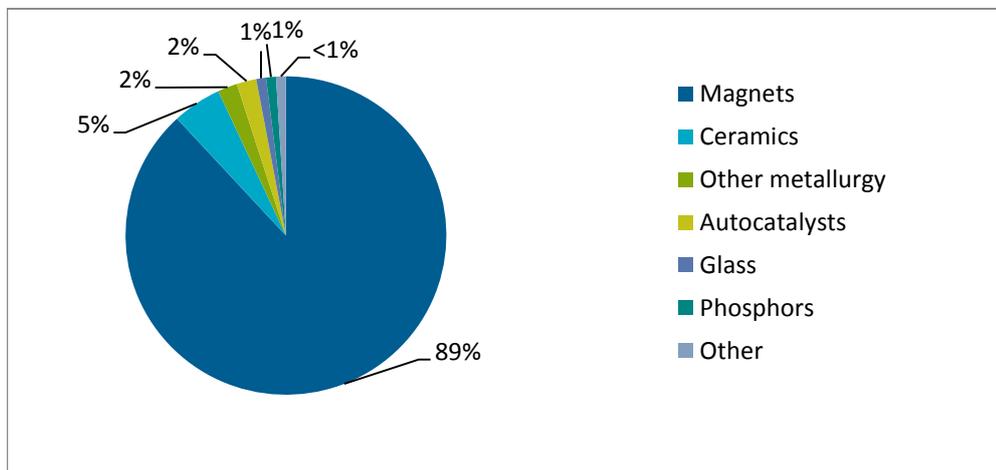


Quelle: „Neodym(III)sulfat“ von Bahmtec - Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neodym\(III\)sulfat.JPG#/media/File:Neodym\(III\)sulfat.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neodym(III)sulfat.JPG#/media/File:Neodym(III)sulfat.JPG)

### 8.7.1. Wesentliche Anwendungen

Hauptanwendung von Neodym sind Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB) mit 89 % wie in folgender Abbildung dargestellt. Die NdFeB-Permanentmagnete besitzen eine hohe Leistungsdichte und ermöglichen platzsparendes und kompaktes Bauen z. B. bei Elektromotoren.

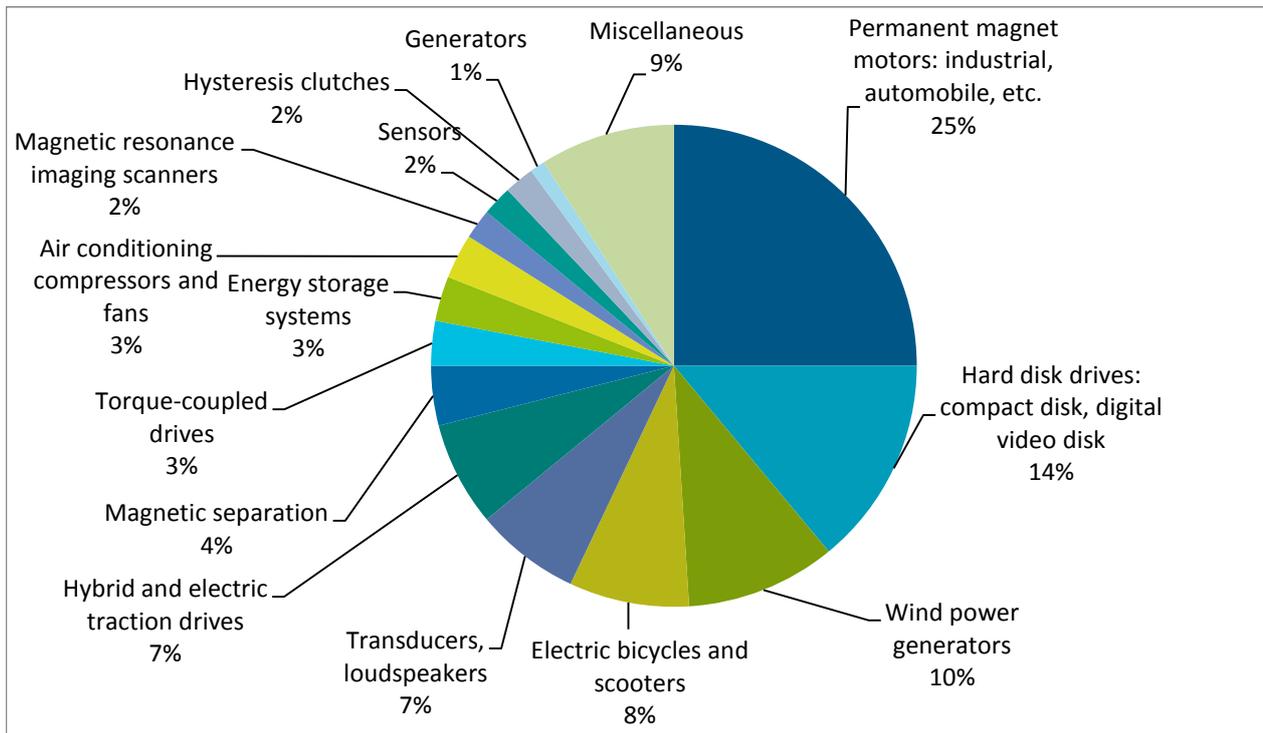
**Abbildung 8-14: Anwendungsgebiete Neodym 2012**



Quelle: Roskill Information Services / Dudley Kingsnorth, IMCOA (March 2013); In European Commission, 2014

Die vielfältigen Anwendungsbereiche der NdFeB-Permanentmagnete werden in folgender Abbildung dargestellt. Unter anderem sind NdFeB-Permanentmagnete für nachhaltige Umwelttechnologien wie Windkraftanlagen (10 %), E-Bikes (8 %) und Elektromotoren in Hybrid und vollelektrischen Fahrzeugen von besonderer Bedeutung.

**Abbildung 8-15: Projected 2015 Industrial Uses of Neodymium-Iron-Boron Permanent Magnets**



Quelle: Davenport, 2015

Miscellaneous: Miscellaneous gauges, brakes, relays and switches, pipe inspection, levitated transportation reprographics, refrigeration, and all others

### 8.7.2. Wesentliche Herkunftsländer

Neodym wird überwiegend in China gewonnen. In 2010 lag der Anteil der chinesischen Primärförderung der Seltenen Erden bei mehr als 95 %.

**Abbildung 8-16: Haupt-Primärförderländer von Neodym**



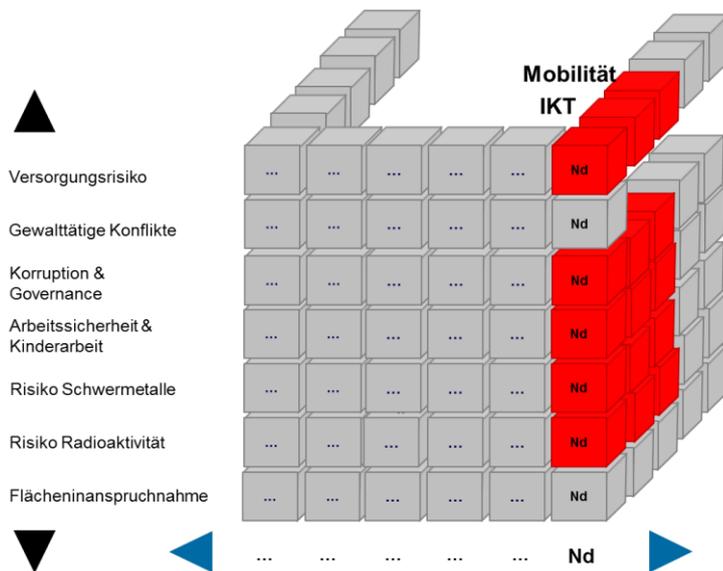
Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Für 2015 schätzt USGS (2016), dass der Anteil der Seltenen Erden-Primärförderung in China auf knapp 85 % gesunken ist. Die Minen in USA (Mountain Pass; Molycorp) und Australien (Mount Weld; Lynas) wurden in den vergangenen Jahren wieder- bzw. neu eröffnet. Mountain Pass erfüllt hohe Umweltstandards, ist aber aufgrund der gesunkenen Preise nicht wettbewerbsfähig und hat daher die Primärförderung wieder gestoppt (Insolvenzverfahren derzeit vor Gericht). Die Europäische Kommission schätzt die globale Neodymproduktion für 2012 auf ca. 21.000 Tonnen. (EC, 2014)

### 8.7.3. Probleme / HotSpots

Die relevanten HotSpots von Neodym liegen sowohl in der ökonomischen als auch der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsdimension. Die HotSpots sind in folgender Abbildung im Rohstoffwürfel illustriert und in nachfolgender Tabelle spezifiziert.

Abbildung 8-17: HotSpots von Neodym visualisiert anhand des Rohstoffwürfels



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

Tabelle 8-4: HotSpots von Neodym

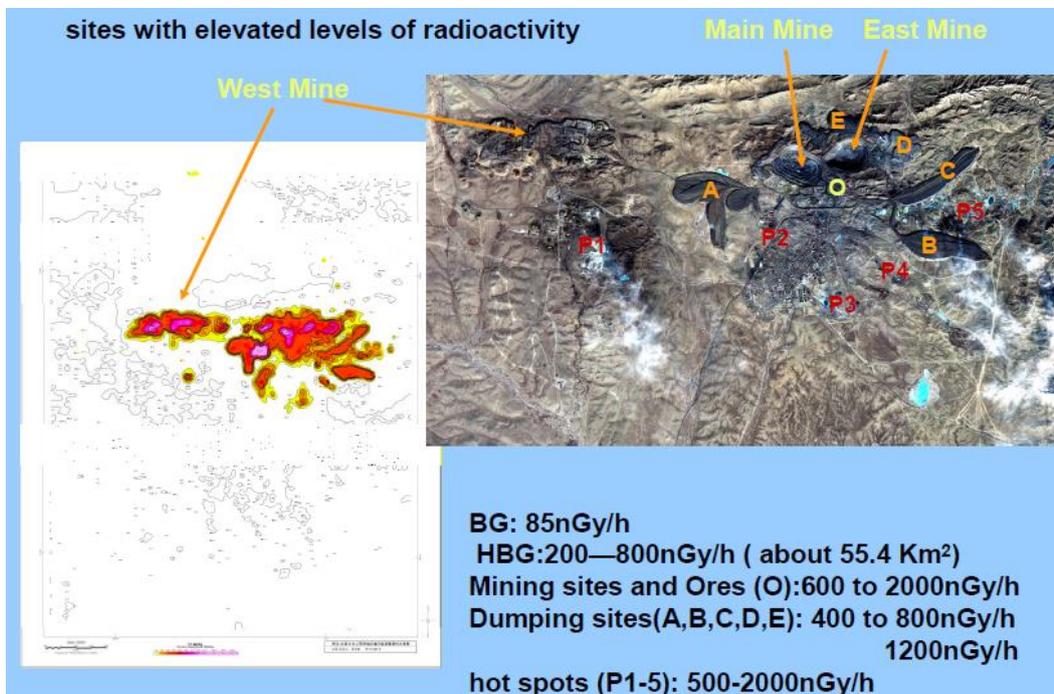
Metall	Ökonomische HotSpots	Ökologische HotSpots	Soziale HotSpots
Neodym	<p><b>Versorgungsrisiko:</b> Hoch</p> <p><b>Produktion:</b> 95 % werden in China produziert</p> <p><b>Recycling:</b> &lt;1 %</p>	<p><b>Risiko Radioaktivität:</b> Hoch</p> <p><b>Risiko Schwermetall:</b> Hoch</p>	<p><b>Korruptionsrisiko:</b> Hoch</p> <p><b>Risiko Arbeitssicherheit:</b> Hoch</p>

Quelle: Eigene Zusammenstellung Öko-Institut e.V.

Die Seltenen Erden haben sich in den vergangenen Jahren durch eine sehr hohe Preisvolatilität in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Die monopolartige Anbieterstruktur und die dadurch entstandenen Preissteigerungen haben das Versorgungsrisiko verdeutlicht. Weiterhin führt eine Recyclingrate von unter 1 % der Seltenen Erden zu einer deutlichen Abhängigkeit der Primärförderländer.

Bei der Neodymgewinnung kommt es zu einer starken Umweltbelastungen durch Luft- und Wasseremissionen sowie durch erhöhtes radioaktives Risiko. Das radioaktive Risiko der Primärgewinnung ist in China in den vergangenen Jahren auch von dortigen Regierungsstellen thematisiert worden. Weltweit sind nahezu alle Seltenen-Erden-Lagerstätten mit hohen Konzentrationen an Thorium belastet (allerdings sind die Konzentrationen von Mine zu Mine unterschiedlich). Anhand der folgenden Darstellung wird am Beispiel Baotou die radioaktive Belastung bei Minenstandorten und den dadurch entstehenden Risiken in den Tailings deutlich.

**Abbildung 8-18: Beispiel Seltene Erden-Gewinnung in Baotou (China): Hohe Dosisleistungen**



Quelle: Wu Qifan ,2010

Das ökologische Risiko der Radioaktivität stelle ebenso ein soziales Risiko von Beschäftigten und Anwohnern dar.

#### 8.7.4. Rohstoffspezifische Ziele

Im Rahmen der Szenario-Ergebnisse im Business-As-Usual-Szenario und Rohstoffwende-Szenario (siehe Kapitel 4.2.1.) wurde deutlich, dass der Bedarf an Neodym in Zukunft voraussichtlich deutlich steigen wird. Getrieben wird dieser steigende Bedarf sowohl im BAU- als auch im RW-Szenario durch den Einsatz der Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagnete in der Elektromobilität.

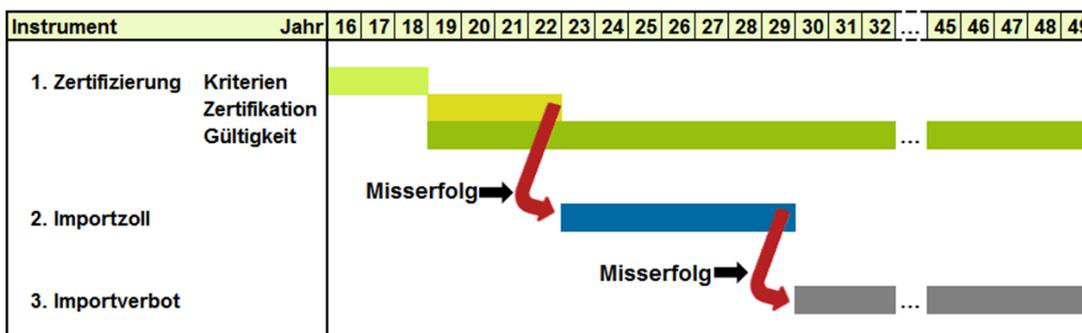
Für Neodym wurden zwei rohstoffspezifische „Oberziele“ identifiziert.

Zum einen soll der steigende primäre Neodymbedarf abgeschwächt werden. Erreicht werden kann dies zum einen durch einen verstärkten Einsatz von Sekundärmaterial. Der Einsatz von Sekundärmaterial soll gesteigert werden auf 30 % in 2049. Zur Zielerreichung ist der Aufbau einer Sammel- und Recyclingstruktur unbedingt notwendig. Eine Sammel- und Recyclingstruktur sollte dabei nicht nur national ausgebaut werden sondern europaweit zusammenspielen. Für die konkrete Umsetzung der Sammel- und Recyclingstruktur sind weitere Analysen und Intensivierungen für die Implementierung in der Praxis notwendig.

Des Weiteren führt eine Nutzungsdauerverlängerung von IKT-Produkten zu einer Reduzierung des Rohstoffbedarfs. In der Rohstoffwende sollen die IKT-Produkte bis 2049 um 50 % länger genutzt werden. Seltene Erden werden in IKT-Produkten z. B. in Festplatten, Displays, Bildschirmen oder Lautsprechern eingesetzt. Eine Nutzungsdauerverlängerung führt neben der Verringerung des Neodymbedarfs ebenso zu einer Schonung aller anderen Rohstoffe, die in den IKT-Produkten verarbeitet sind. Konkrete Maßnahmen für die Nutzungsdauerverlängerung von IKT-Produkten liegen in Strategien gegen die Obsoleszenz. Diese Maßnahmen sind in Kapitel 6.4.3. detailliert beschrieben.

Zum anderen soll der primäre Neodymbedarf, der nach der Reduzierung noch benötigt wird, aus nachhaltig gewonnenen Primär-Neodymquellen gedeckt werden. Bis 2049 soll in der Rohstoffwende 80 % des benötigten Primärmaterials aus zertifiziertem Primärmaterial stammen. Zur Verbesserung der Umweltstandards bei der Primärgewinnung von Seltenen Erden wie Neodym ist auf EU-Ebene eine abgestimmte Reihenfolge von Maßnahmen notwendig, die zu einer Verbesserung in den Herkunftsländern führen können/sollen. Als geeignet werden die Zertifizierung, die Importzölle und das Importverbot angesehen. Hierbei wird die Zertifizierung im ersten Schritt bevorzugt und, bei ausbleibendem Erfolg, sollten die weiteren Maßnahmen ergriffen werden. Ein Ablaufschema ist in folgender Abbildung visualisiert. In Kapitel 6.2.5. wird der Zertifizierungsprozess detailliert beschrieben.

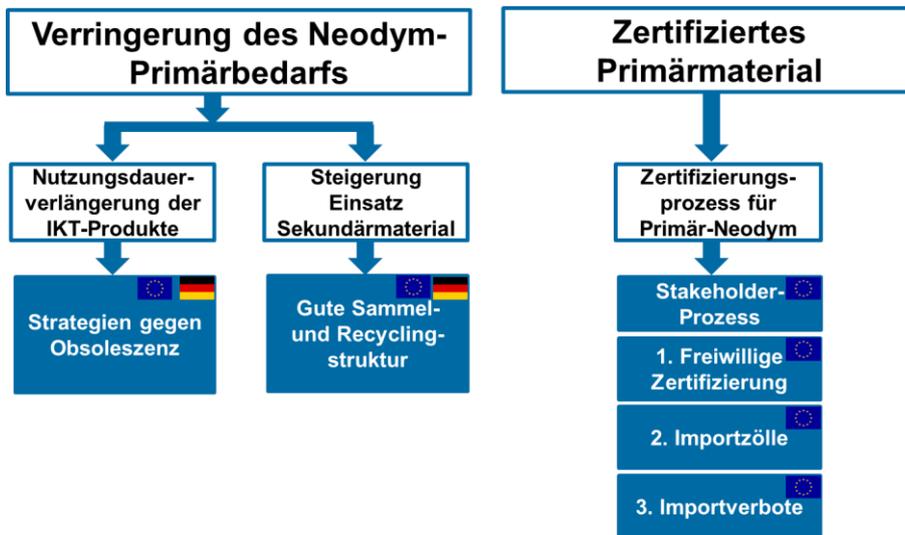
**Abbildung 8-19: Ablaufschema für den Bezug von zertifiziertem nachhaltig gewonnenem Primär-Neodym**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e.V.

In der folgenden Abbildung werden die beiden Oberziele (Verringerung des Neodym-Primärbedarfs und Einsatz von zertifiziertem Primärmaterial) mit ausgewählten Maßnahmen illustriert.

Abbildung 8-20: Ziele und ausgewählte Maßnahmen für die Rohstoffwende für Neodym



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut e. V.

Die Maßnahmen werden auch in den Kapiteln 6.2.5 und 6.4.3 detailliert beschrieben.

### 8.7.5. Quellen

Davenport, 2015: Davenport W. mit Daten von Constantinides S. in Lucas 2015

Lucas, 2015: Lucas J., Lucas P., Le Mercier T., Rollat A., Davenport W.G.I.: Introduction to Rare Earth Luminescent Materials. In: Rare Earths, Science, Technology, Production and Use, 1<sup>st</sup> Edition (Elsevier, Amsterdam), 2015

EC, 2014: European Commission: Report on critical raw materials for the EU. Critical raw materials profiles, 2014

Roskill Information Services / Dudley Kingsnorth, IMCOA (March 2013); In European Commission, 2014 (EC, 2014)

USGS, 2016: U.S. Geological Survey: Mineral Commodity Summaries. Rare Earths. Januar 2016 [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare\\_earth/mcs-2016-raree.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/mcs-2016-raree.pdf)

Wu Qifan, 2010: Enhanced Natural Radiation Exposure in China. Präsentiert auf EMRAS II WG2 4<sup>th</sup> Meeting. EMRAS (Environmental Modelling for Radiation Safety) of the IAEA (International Atomic Energy Agency)

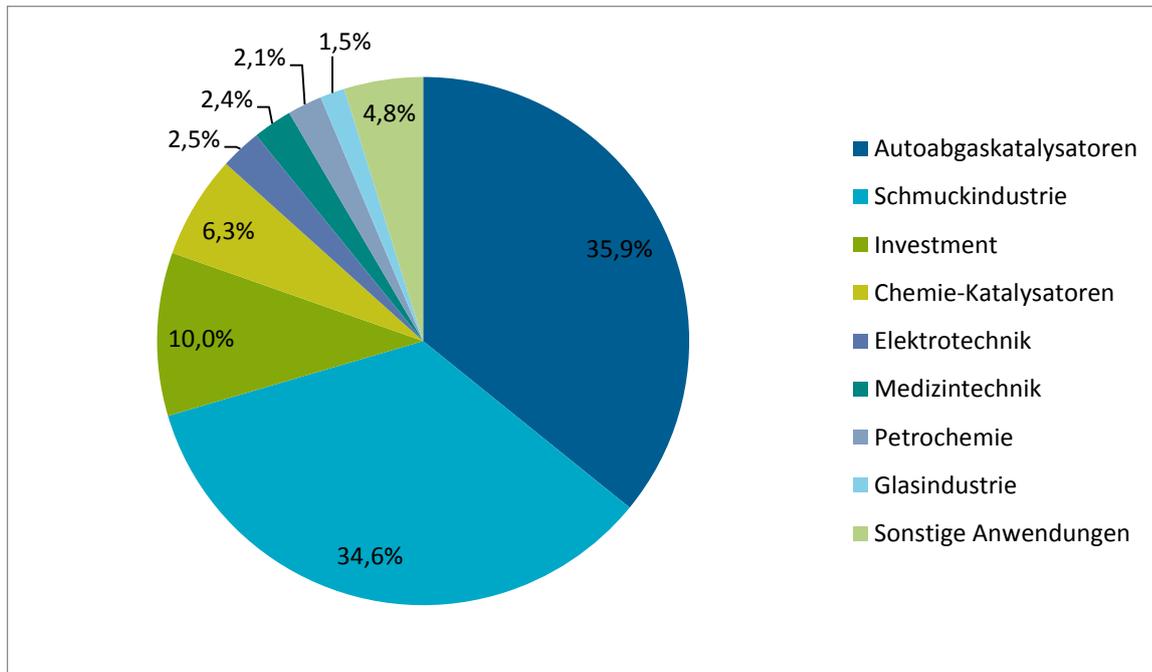
## 8.8. Factsheet Platin

Platin gehört zu der Gruppe der sogenannten Platin-Gruppen-Metalle (PGMs). Zu den PGMs zählen neben Platin auch Palladium, Rhodium, Ruthenium, Iridium und Osmium. Platin ist ein Nicht-Massenrohstoff und eingestuft als Cluster-Repräsentant für das Cluster NMR 2 „gut recycelbare Rohstoffe“. Platin weist bereits heute nach UNEP (2011) eine EoL-Recyclingrate von mehr als 50 % auf.

### 8.8.1. Wesentliche Anwendungen

Die Hauptanwendungsgebiete von Platin liegen in Autoabgaskatalysatoren und der Schmuckindustrie. Weiterhin wird Platin nachgefragt für Investment, Chemie-Katalysatoren, Elektrotechnik, Medizintechnik, in der Petrochemie, der Glasindustrie und sonstigen Anwendungen. Nach BGR (2016) lag der globale Einsatz von Raffinade-Platin in 2013 bei 272,2 Tonnen.

Abbildung 8-21: Anwendungen Platin weltweit, 2013



Quelle: Eigene Abbildung nach Daten von BGR, 2016

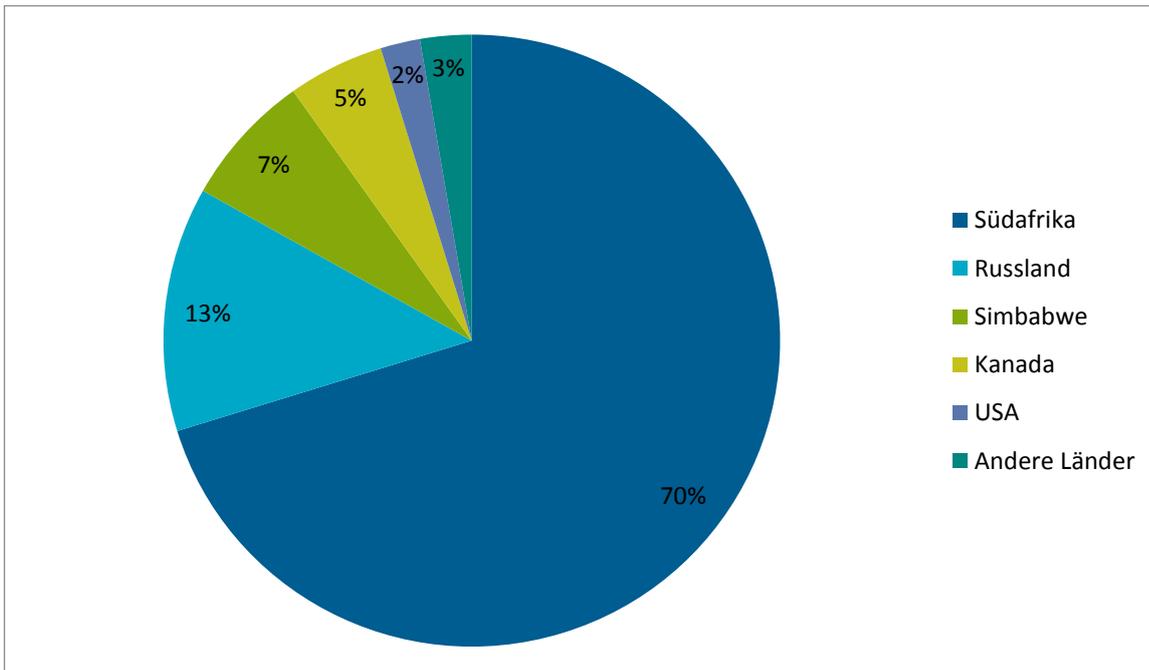
Eine steigende Nachfrage wird in den Anwendungen der Zukunftstechnologien erwartet. Hier wird Platin in Brennstoffzellen, Solarzellen und in der Medizintechnik (Krebstherapie) eingesetzt. (BGR, 2016)

### 8.8.2. Wesentliche Herkunftsländer

Platin wird zum einen primär gewonnen – also als Minenproduktion. Zum anderen wird der Platinbedarf bereits auf einem hohen Niveau aus Sekundärmaterial – Recyclingmaterial – gedeckt. Nach BGR (2016) wird der weltweite Platinbedarf zu 23 % aus Sekundärmaterial gedeckt. Die EoL-Recyclingrate liegt bei Platin über 50 %. (UNEP, 2011)

In 2015 wurde primäres Platin v. a. in Südafrika gewonnen. Weitere Minenproduktion fand statt in Russland, Simbabwe, Kanada und USA, wie in der folgenden Abbildung illustriert. Weltweit lag die Primärproduktion von Platin in 2015 bei 178 Tonnen. (USGS, 2016)

Abbildung 8-22: Globale Primärgewinnung von Platin in 2015 (in Tonnen)



Quelle: Eigene Abbildung nach Daten von USGS, 2016

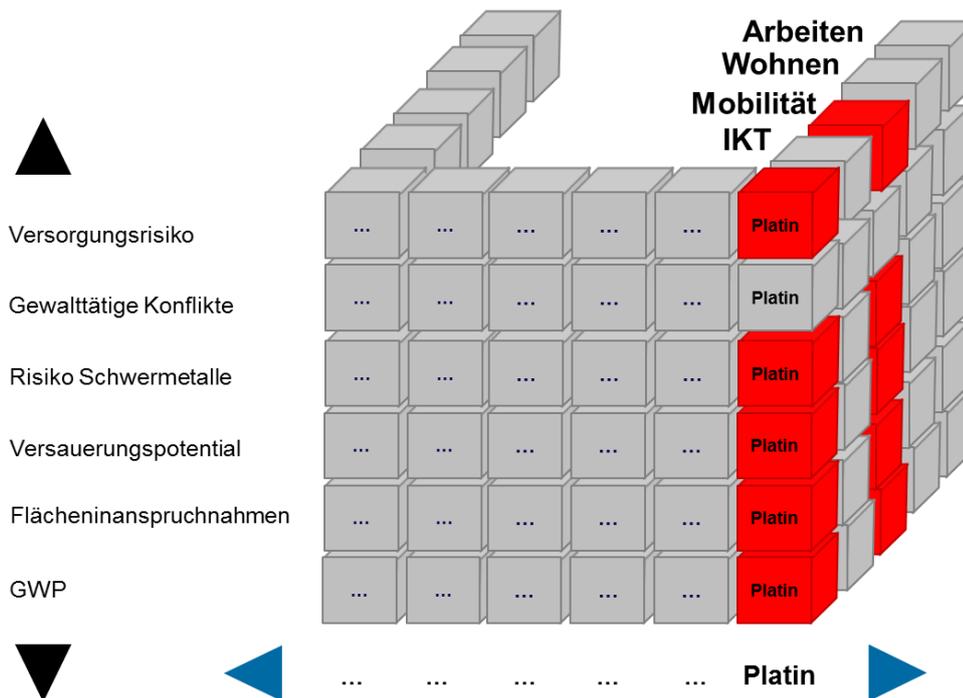
### 8.8.3. Probleme / HotSpots

Die HotSpots von Platin liegen zum einen im Versorgungsrisiko – die Europäische Kommission hat Platin als kritischen Rohstoff im „Report on critical raw materials for the EU“ eingestuft (EC, 2014).

Des Weiteren wurden relevante negative Auswirkungen in der ökologischen Nachhaltigkeitsdimension identifiziert. Die HotSpots liegen im Global Warming Potenzial, der Flächeninanspruchnahme, dem Versauerungspotenzial und dem Risiko der Schwermetallbelastung.

In der folgenden Abbildung sind die identifizierten HotSpots im betroffenen Bedürfnisfeld Mobilität für Platin anhand des Rohstoffwürfels visualisiert.

Abbildung 8-23: HotSpots Platin



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e. V.

#### 8.8.4. Rohstoffspezifische Ziele

Folgende rohstoffspezifische Ziele wurden für Platin für eine Rohstoffwende identifiziert.

Zum einen soll der Platin-Primärbedarf gesenkt werden. Dies soll erreicht werden durch eine Erhöhung der EoL-Recyclingrate. Die EoL-Recyclingrate im Fahrzeugbereich soll von heute 50 % - 55 % auf 80 % ansteigen. Dieses Ziel gibt eine Richtung der Ziel-Recyclingrate vor, die angestrebt werden soll. Für eine Umsetzung mit konkreten Maßnahmen wird vorab eine Untersuchung empfohlen, die die bisherigen Hemmnisse einer höheren Recyclingrate analysiert. Die Verluste könnten sowohl in den Prozessabläufen aber auch in den Sammlungsverfahren liegen. Auch andere Ursachen sind möglich. Auf dieser Hemmnis-Analyse aufbauend sollen konkrete Maßnahmen für eine Steigerung der EoL-Recyclingrate erarbeitet werden.

Durch das Erreichen einer erhöhten Recyclingrate werden die negativen Auswirkungen und Risiken in der Primärgewinnung (siehe HotSpots) reduziert. Durch die Reduzierung des Primärmaterialbedarfs verringert sich auch die Abhängigkeit zu den Primärförderländern, was das Versorgungsrisiko abschwächt.

Zum anderen können die negativen Auswirkungen der Primärgewinnung durch nachhaltig gewonnenen Primärrohstoff reduziert werden. Eine Zertifizierung könnte analog der Darstellung von zertifiziertem Neodym erfolgen (siehe Kapitel 6.2.5) oder im Rahmen von bereits entwickelten Zertifizierungssystemen. Ein Beispiel wäre die Initiative for Responsible Mining (IRMA <http://www.responsiblemining.net/>), die sich derzeit im 2. Draft befindet.

### 8.8.5. Quellen

EC, 2014: Europäische Kommission: Report on Critical Raw Materials for the EU – Critical Raw Materials Profiles. 2014. URL:

<http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/11911/attachments/1/translations>.

UNEP, 2011: Recycling Rates of Metals. A Status Report. Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Buchert, M.; Hagelüken, C.; Reck, B.; Sibley, S.; Sonnemann, G. URL: [http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metals\\_Recycling\\_Rates\\_110412-1.pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metals_Recycling_Rates_110412-1.pdf).

BGR, 2016: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, „Platin: Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe“ Hannover, Februar 2016

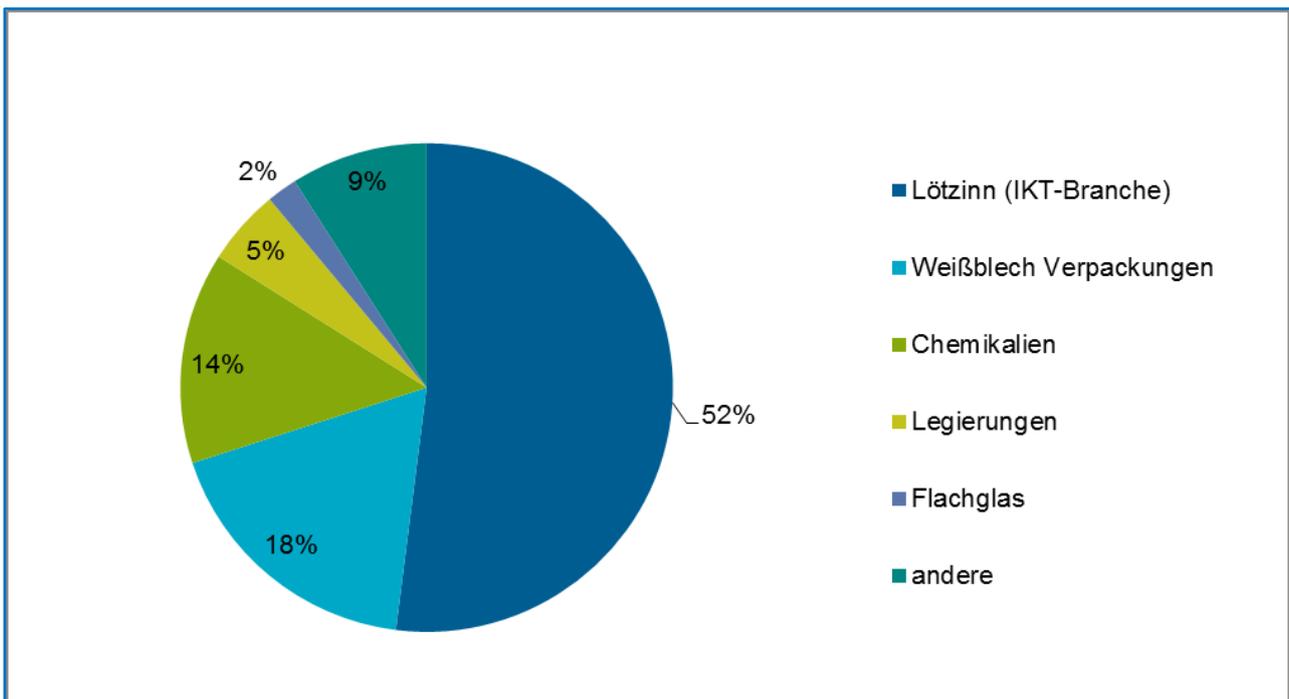
USGS, 2016: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Januar 2016 <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum/mcs-2016-plati.pdf>

## 8.9. Factsheet Zinn

### 8.9.1. Wesentliche Anwendungen

Mehr als die Hälfte des weltweit eingesetzten Zinns (rund 52 %) wird in Form von Lötzinn in Anwendungen der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) benötigt (MGT, 2016). Weitere wichtige Anwendungen sind Verpackungen aus Weißblech (18 %), Chemikalien (14 %), Speziallegierungen (5 %) und Flachglas (2 %).

Abbildung 8-24: Endverbrauch und Anwendungen von Zinn

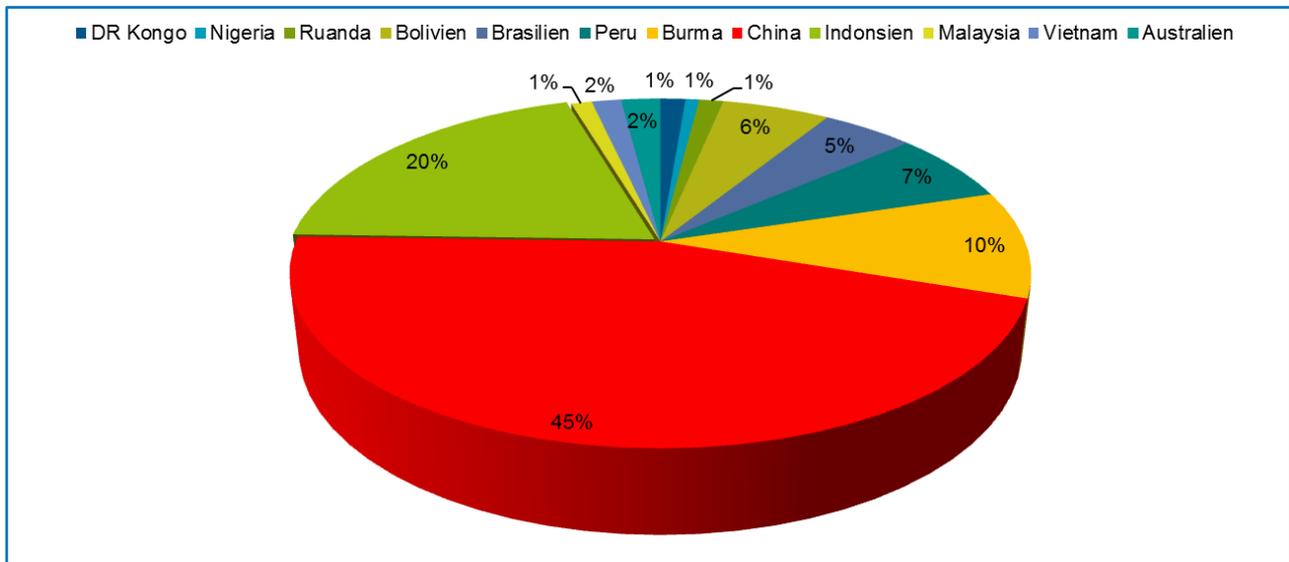


Quelle: MGT, 2016.

### 8.9.2. Wesentliche Herkunftsländer

Weltweit wurden im Jahre 2014 rund 355.000 Tonnen Zinnerz abgebaut (BGS, 2016). Die größten Fördermengen lagen dabei mit rund 45 % in China, gefolgt von Indonesien mit 20 % und Burma (Myanmar) mit 10 %. Weitere wichtige Förderländer sind Peru, Bolivien und Brasilien.

**Abbildung 8-25: Anteilige Primärproduktion von Zinn nach Ländern im Jahr 2014**



Quelle: British Geological Survey (BGS, 2016)

### 8.9.3. Probleme / HotSpots

Zinn zählt neben Tantal, Wolfram und Gold zu den sogenannten Konfliktmineralien, sofern es aus der Demokratischen Republik Kongo oder angrenzenden zentralafrikanischen Ländern gewonnen wird (US-Dodd Frank Act, Section 1502). Wiederholt wurde in den vergangenen Jahren von massiven Menschenrechtsverletzungen in den im Osten der DR Kongo liegenden Regionen berichtet, in welchen auch Zinn (Erz: Kassiterit) abgebaut wird (vgl. Manhart & Schleicher, 2013). Rohstoffe wie Zinn spielen dabei wohl keine ursächliche, aber eine konfliktunterstützende Rolle, indem sie bewaffneten Gruppen über illegale Besteuerung, Kontrolle von Minen etc. Zugang zu finanziellen Einkünften ermöglichen.

Insgesamt liegt der weltweite Anteil an „artisanal“ („mit Schaufel und Spitzhacke“) gewonnenem Zinn im Kleinbergbau bei rund 25 % (Dorner et al., 2012). Dies ist ein Hinweis auf schlechte bzw. sehr riskante Arbeits- und Gesundheitsbedingungen der Arbeiter.

Ein Blick auf die drei wichtigsten Förderländer zeigt, dass der durchschnittliche Index zur Korruptionskontrolle der Weltbank für diese bei nur 33 % (100 % = volle Korruptionskontrolle) liegt. Damit kann man in Bezug auf Zinn von einem erheblichen rohstoffspezifischen Korruptionsrisiko ausgehen (World Bank, 2014).

Länderspezifische Auswertungen der Kinderarbeitsrisiken von UNICEF (UNICEF, 2016) sowie des Risikos für Zwangsarbeit anhand des Index der Walk Free Foundation (Global Slavery Index 2016) ergeben in Bezug auf Zinn ein hohes Risiko für Kinderarbeit als auch für Zwangsarbeit.

Umweltrisiken liegen bei Zinn vor allem in Verbindung mit vergesellschafteten Schwermetallen in den Zinnerzen bzw. den Abraumhalden (Reuter et al., 2005). Ein ähnlich hohes Risiko ergibt sich in Bezug auf die Vergesellschaftung von Zinnerzen mit radioaktivem Thorium (nach Hua, 2011 rund 198 ppm in China) und Uran (74 ppm, ebd.) (Hua, 2011).

Ökobilanzielle Daten in Bezug auf den spezifischen Wasserverbrauch der Zinngewinnung liegen mit 41,3 l/kg vergleichsweise niedrig. Gleiches gilt für die spezifischen CO<sub>2</sub>equi-Emissionen von 5,6 kg/kg.

In der jüngeren Vergangenheit berichten verschiedene Umweltgruppen wiederholt von weiteren Umweltrisiken. Ein Fokus liegt dabei auf dem Abbau an Land sowie unter Wasser in der Region von Bangka Island (Indonesien). Abbildung 8-26 zeigt zum einen den Abbau von Seifenzinn an Land durch Kleinbergleute mit einer sogenannten Kiespumpe (linkes Foto). Dabei wird die Erde quasi umgepflügt ohne dass im Nachhinein eine Rekultivierung stattfindet. Unter Wasser wird in einer ähnlichen Weise vorgegangen, wobei Eimerkettenbagger auf dem Meeresboden bis ca. 30m Tiefe Zinnerze abbauen (siehe rechtes Foto).

**Abbildung 8-26: Zinnerzabbau auf Bangka Island (Indonesien) an Land und Unterwasser**



Quelle: BGR (2014).

Sowohl an Land als auch unter Wasser haben die Abbaumethoden sehr starke Auswirkungen sowohl auf die terrestrische als auch maritime Umwelt.

#### 8.9.4. Rohstoffspezifische Ziele

Aus den oben skizzierten HotSpots wurden folgende rohstoffspezifische Ziele für eine Rohstoffwende erarbeitet:

Im Jahr 2049 sollen alle deutschen Unternehmen sowohl ihren menschenrechtlichen als auch ökologischen Sorgfaltspflichten im Sinne der OECD-Leitlinien (OECD, 2013) nachkommen. Darüber hinaus sollten sie einen aktiven Beitrag dazu leisten, dass ein verantwortungsvoller Bergbau der jeweiligen Rohstoffe aktiv unterstützt wird. Dazu sollten sie sich verpflichten, dass mit rund 80 % ein Großteil ihrer Rohstoffe aus zertifizierten Minen stammt. Die dadurch entstehenden Mehrkosten sollen direkt der Verbesserung der menschenrechtlichen und ökologischen Bedingungen in den Förderländern zu Gute kommen. Zur praktischen Umsetzung des Lieferkettenmanagements der Erze und Metalle entlang der Wertschöpfungskette stehen eine Reihe von Konzepten zur Verfügung (vollkommene physische Segregation, ein Massenbilanz-Ansatz (Mass-Balance) oder ein sog. „Book and Claim“-System). Die Vor- und Nachteile dieser Ansätze können

an dieser Stelle nicht ausführlich erörtert werden. Dies ist in Kapitel 6.4.2 näher skizziert. Bereits heute existiert für Zinn ein entsprechendes System zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement wie das iTSCi-System.

Der bestehende OECD-Ansatz (OECD, 2013) zu unternehmerischen Sorgfaltspflichten (Due Diligence) für Konflikt-Rohstoffe soll um weitere Kriterien zu menschenrechtlichen und ökologischen Themen sowie um weitere Rohstoffe erweitert werden. Weitere rohstoffspezifische Untersuchungen bezüglich des Konfliktrisikos sowie weiteren menschenrechtlicher Risiken sind notwendig. Dies gilt auch hinsichtlich einer Ausweitung des Geltungsbereichs auf alle Weltregionen.

Eine Verzahnung von verbindlichen Sorgfaltspflichten und freiwilligen Zertifizierungsmechanismen soll weitergehend ausgearbeitet werden - insbesondere in Richtung der Anerkennung der verschiedenen freiwilligen Initiativen im Rahmen einer verbindlichen Umsetzung der Sorgfaltspflichten.

Des Weiteren führt eine Nutzungsdauerverlängerung von IKT-Produkten zu einer Reduzierung des Rohstoffbedarfs. In der Rohstoffwende sollen die IKT-Produkte bis 2049 um 50 % länger genutzt werden. Konkrete Maßnahmen für die Nutzungsdauerverlängerung von IKT-Produkten liegen in Strategien gegen die Obsoleszenz. Diese Maßnahmen sind in Kapitel 6.4.3. detailliert beschrieben.

### 8.9.5. Quellen

BGR, 2014: Elsner, H.; Schmidt, M.; Schütte, P.; Näher, U.; Zinn – Angebot und Nachfrage bis 2020; DERA Rohstoffinformationen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; [http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-20.pdf;jsessionid=8F442F56EBA781914D43A5E59F62EE30.1\\_cid284?\\_blob=publicationFile&v=9](http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-20.pdf;jsessionid=8F442F56EBA781914D43A5E59F62EE30.1_cid284?_blob=publicationFile&v=9) (Zugriff am 14.03.2017).

BGS, 2016: British Geological Survey: World Mineral Production 2010-2014. Keyworth, 2016; <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldArchive.html>

Dorner et al., 2012: Dorner, U.; Franken, G.; Liedtke, M.; Sievers, H.: Artisanal and Small-Scale Mining (ASM). POLINARIS working paper no. 19. Hannover, 2012. [http://www.polinares.eu/docs/d2-1/polinares\\_wp2\\_chapter7.pdf](http://www.polinares.eu/docs/d2-1/polinares_wp2_chapter7.pdf)

Hua, 2011: Hua, L.: The Situation of NORM in Non-Uranium Mining in China. Presentation of the National Nuclear Safety Administration. October 2011.

Manhart & Schleicher, 2013: Manhart, A.; Schleicher, T.: Conflict minerals - An evaluation of the Dodd-Frank Act and other resource-related measures. Oeko-Institut e.V., 2013. <http://www.oeko.de/oekodoc/1809/2013-483-en.pdf>

MGT, 2016: The global tin market: Tin end use. Information from website. <http://www.mgt.net.au/investor-centre/the-global-tin-market/>

Reuter et al., 2005: Reuter, M.A.; Heiskanen, Boin, U.; van Schaik, A.; Verhoef, E.; Yang, Y.; Georgalli, G.: The Metrics of Material and Metal Ecology. Amsterdam, 2005.

UNICEF, 2016: UNICEF Child labour database, May 2016, <http://data.unicef.org/child-protection/child-labour.html> (Zugriff: 14.03.2017).

US-Dodd Frank Act: Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, H.R. 4173 (111th), 2010, <https://www.govtrack.us/congress/bills/111/hr4173/text> (Zugriff: 14.03.2017).

Walk Free Foundation, 2016: Walk Free Foundation: Global Slavery Index 2016, <http://www.globalslaveryindex.org/findings/> (Zugriff: 14.03.2017).

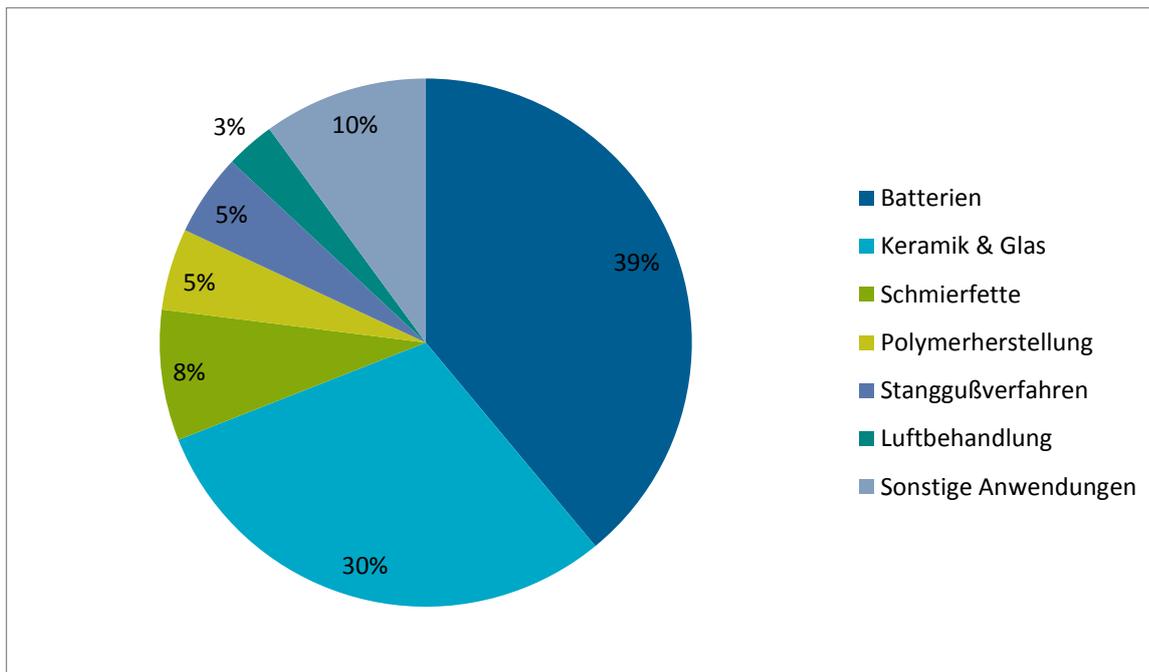
World Bank, 2014: World Bank: Worldwide Governance Indicators (WGI), 2014. <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#reports> (Zugriff: 14.03.2017).

## 8.10. Factsheet Lithium

Lithium ist ein Leichtmetall mit der geringsten Dichte der (unter Standardbedingungen) festen Elemente. Lithium ist äußerst reaktiv gegenüber Wasser und Luft und kommt daher in der Natur nicht als Metall vor. Wichtige Lithiumverbindungen sind Lithiumcarbonat ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), Lithiumchlorid ( $\text{LiCl}$ ) und Lithiumhydroxid ( $\text{LiOH}$ ). In vielen Statistiken wird häufig die Einheit LCE (Lithium Carbonate Equivalent) verwendet.

### 8.10.1. Wesentliche Anwendungen

Im nachfolgenden Diagramm ist die Verteilung der globalen Anwendung für Lithium (in der Regel in Form unterschiedlicher Lithiumverbindungen) nach (USGS, 2017) aufgeführt. Mittlerweise stellen Batterieanwendungen (überwiegend wieder aufladbare Lithium-Ionen Batterien) mit 39 % die mengenmäßig wichtigste Anwendung dar, gefolgt von Glas und Keramik mit 30 %. Das rasante Wachstum von unterschiedlichen Anwendungen von Lithium-Ionen Batterien (Elektromobilität, Energiespeicher, Power Tools usw.) macht diese Anwendung zum starken Wachstumstreiber für die globale Lithiumnachfrage. Die USGS nennt einen Anstieg des globalen Verbrauchs (gerechnet als reiner Lithiumgehalt) von 33.300 Tonnen (2015) auf 37.800 Tonnen (2016), ein Anstieg um 13,5 % binnen einen Jahres (USGS, 2017).

**Abbildung 8-27: Anwendungsfelder Lithium 2016**

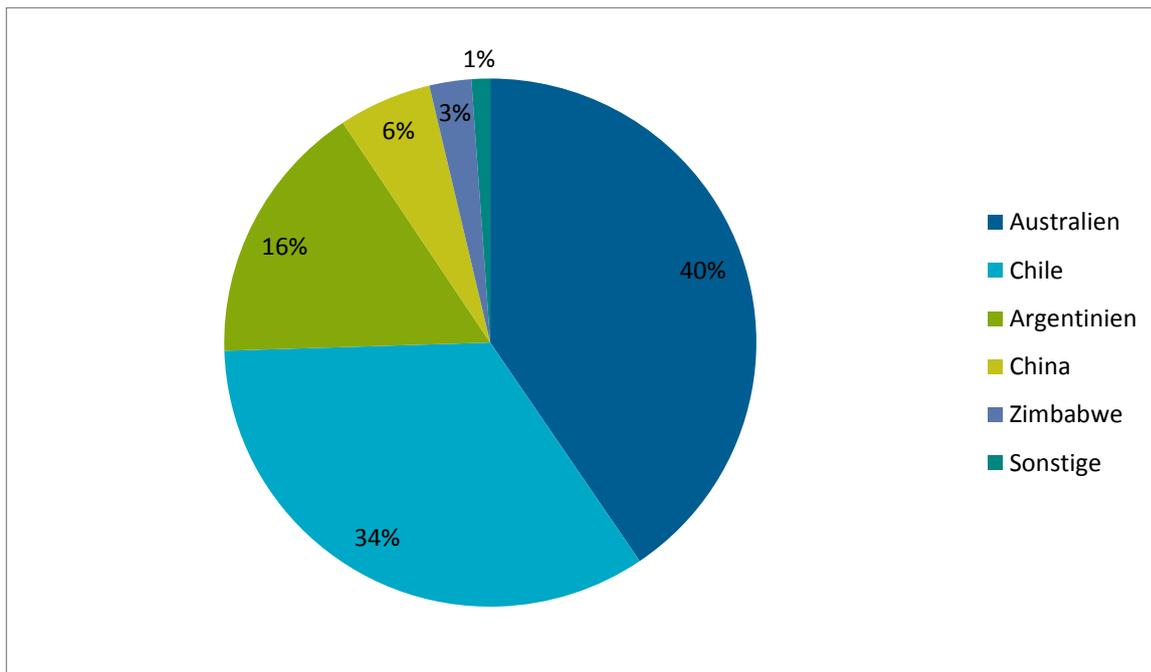
Quelle: USGS, 2017

### 8.10.2. Wesentliche Herkunftsländer

2016 wurden global 35.000 Tonnen Lithium (gerechnet als reiner Lithiumgehalt) aus natürlichen Lagerstätten gewonnen (USGS, 2017). Diese Daten enthalten aus Geheimhaltungsgründen nicht die Minenproduktion der USA. Diese dürfte derzeit zusätzlich noch eine niedrige vierstellige Größe ausmachen) (eigene Schätzung Öko-Institut). Lithium bzw. besser gesagt Lithiumverbindungen werden aus spezifischen Salzseen (engl. brines) oder Erzen (ein wichtiges Lithiumerz ist Spodumen) gewonnen.

Im Jahre 2016 wurde die globale Minenproduktion durch die drei Länder Australien, Argentinien und Chile dominiert.

Abbildung 8-28: Globale Minenproduktion Lithium 2016 (in%)



Quelle: USGS 2017, ohne Produktion USA

Recycling spielt bislang nur eine sehr untergeordnete Rolle für die Versorgung. Allerdings werden umfassende F+E-Aktivitäten unternommen (LiBRi, 2011; LithoRec II 2016; EcoBatRec, 2016), um einen Einstieg in das industrielle Lithiumrecycling zu starten. Die in jüngster Zeit feststellbaren Preisanstiege für Lithium erhöhen die wirtschaftlichen Chancen für ein zukünftiges Recycling von Lithiumverbindungen – speziell aus Lithium-Ionen Batterien. Nach (USGS, 2017) wurde auf Spotmärkten außerhalb Chinas zwischen 2015 und 2016 ein Anstieg von 40 – 60 % der Lithiumpreise registriert.

### 8.10.3. Probleme / HotSpots

Neben Erzvorkommen sind vor allem ausgewählte Salzseen eine wichtige natürliche Rohstoffquelle für Lithium. Hier ist als mögliches Problem eine großflächige Zerstörung einzigartiger Natur- und Lebensräume zu nennen. Dies wird für den Raum Südamerika speziell für die Salar de Uyuni in Bolivien diskutiert. Bisher ist die Lithium-Gewinnung in der Salar de Uyuni nicht realisiert. Aber die globale Nachfrage nach Lithium wird stark steigen und damit auch der Druck auf ökologisch sensible natürliche Lagerstätten. Nach (BGR, 2016) wird das globale Nachfragewachstum jährlich mehr als 10 % betragen: die Nachfrage wird von 160000 t Lithiumcarbonat- Äquivalenten (LCE) in 2013 über 285.000 t (2020) auf 405.000 t LCE im Jahr 2025 ansteigen (BGR, 2016).

### 8.10.4. Rohstoffspezifische Ziele

Für Lithium können folgende rohstoffspezifische Ziele formuliert werden:

- **Recycling von Lithium aus den Li-Ionen-Batterien** muss in naher Zukunft realisiert werden: Hierfür sind u. a. weitere F&E-Maßnahmen und voraussichtlich ordnungsrechtliche Vorgaben notwendig.

- **Erarbeiten von Kriterien für einen schonenden Abbau von Lithium:** Für den großflächigen Abbau von Lithium in besonderen Naturlandschaften sind für Umwelt- und sozioökonomisch akzeptable Standards Kriterien mit Stakeholdern zu entwickeln und einzuführen.

Die rohstoffspezifischen Ziele müssen in den nächsten Jahren konkretisiert und (z. B. für Recyclingziele) quantifiziert werden. Durch die global stark wachsende Nachfrage nach Lithiumverbindungen ist dies eine vordringliche Aufgabe.

#### 8.10.5. Quellen

BGR, 2016: Supply and Demand of Lithium and Gallium, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Mai 2016

LiBRi, 2011: Treffer, F. et al.: Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzeptes für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge– Lithium-Ionen Batterierecycling Initiative – LiBRi, Verbundpartner Umicore AG & Co. KG, Hanau, Daimler AG, Stuttgart, Öko-Institut e.V., Darmstadt, TU Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik, gefördert durch das BMU, Nov. 2011.

LithoRec II, 2016: Kwade, A.; Diekmann, J.; Hanisch, C. et al.: Recycling von Lithium-Ionen-Batterien- LithoRec II, Abschlussbericht der TU Braunschweig, gefördert durch das BMUB, März 2016.

EcoBatRec, 2016: Weyhe, R.T.; Friedrich, B.: Abschlussbericht zum Verbundvorhaben Demonstrationsanlage für ein kostenneutrales, ressourceneffizientes Processing ausgedienter Li-Ionen Batterien aus der Elektromobilität - EcoBatRec -, ACCUREC Recycling GmbH, Mülheim, IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling, Institut und Lehrstuhl der RWTH Aachen, gefördert durch BMUB, März 2016.

USGS, 2017: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2017 <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/mcs-2017-lithi.pdf>

#### 8.11. Factsheet Cadmium

Cadmium fällt unter die Nicht-Massenrohstoffe und ist Cluster-Repräsentant des Clusters NMR „Phase-out-Materialien“. Cadmium weist eine EoL-Recyclingrate von >10-25 % nach UNEP (2011) auf und ist daher auch im Cluster NMR 2 „gut recycelbare Rohstoffe“ vertreten.

Das sehr seltene Element Cadmium ist als Cadmiumoxid ein Rohstoff mit sehr hoher Toxizität. In der Europäischen Union ist der Einsatz von Cadmium seit 2011 in Schmuck, Legierungen zum Löten und PVC aufgrund der hohen Toxizität verboten. Die Cadmium-Verwendung in Elektro- und Elektronikprodukten ist unter RoHS aufgeführt und die Verwendung in Farben und Lacken ist in REACH<sup>56</sup> in der EU-Verordnung 2016/217 (EU, 2016) im Februar 2016 neu begrenzt worden.

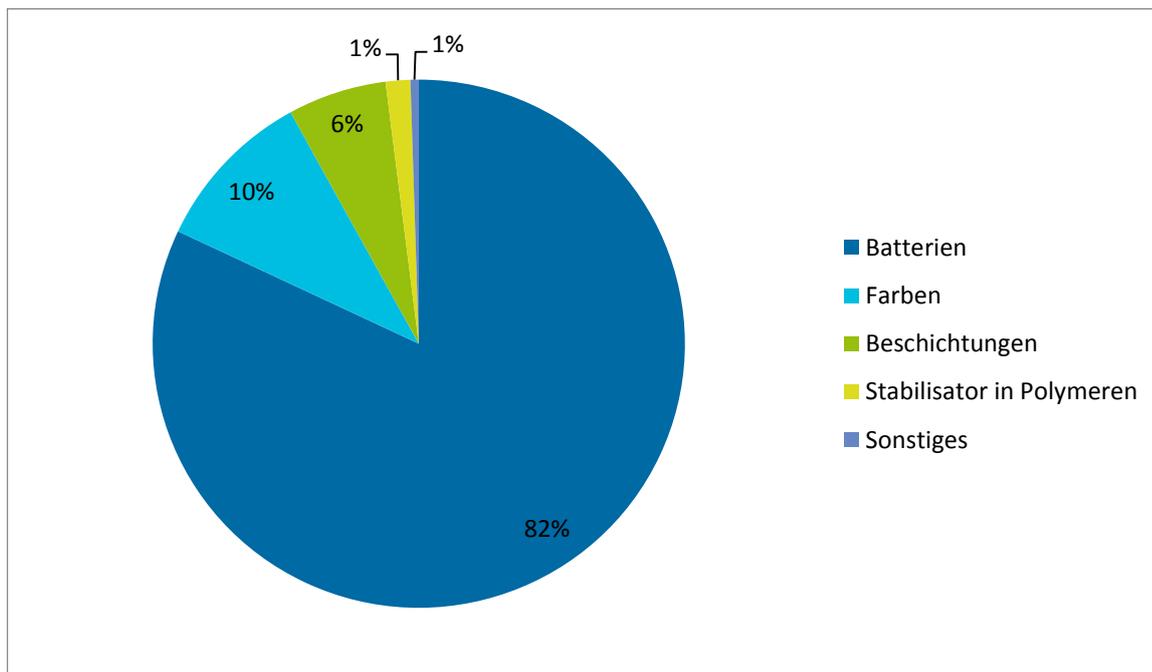
<sup>56</sup> REACH = Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals / Registrierung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe

Zudem wird Cadmium<sup>57</sup> in der Altfahrzeug-Richtlinie (2000/53/EG) unter den Rohstoffen genannt, die nicht mehr in Werkstoffen und Bauteilen von Fahrzeugen in Verkehr gebracht werden dürfen.

### 8.11.1. Wesentliche Anwendungen

Die letzten verfügbaren Daten zum Einsatz von Primärmaterial beziehen sich auf das Jahr 2005. Hauptanwendungsgebiet sind auch dort bereits die Batterien mit 13.240 Tonnen pro Jahr gefolgt von Farben (1.615 Tonnen), Beschichtungen (969 Tonnen), Stabilisator in Polymeren (242 Tonnen) und anderen Anwendungen (81 Tonnen). Unter die sonstigen Anwendungen fallen u. a. Dünger und Pestizide. (Wikipedia, 2017)

**Abbildung 8-29: Einsatzbereiche von Primär-Cadmium in 2005**



Quelle: UNEP, 2010

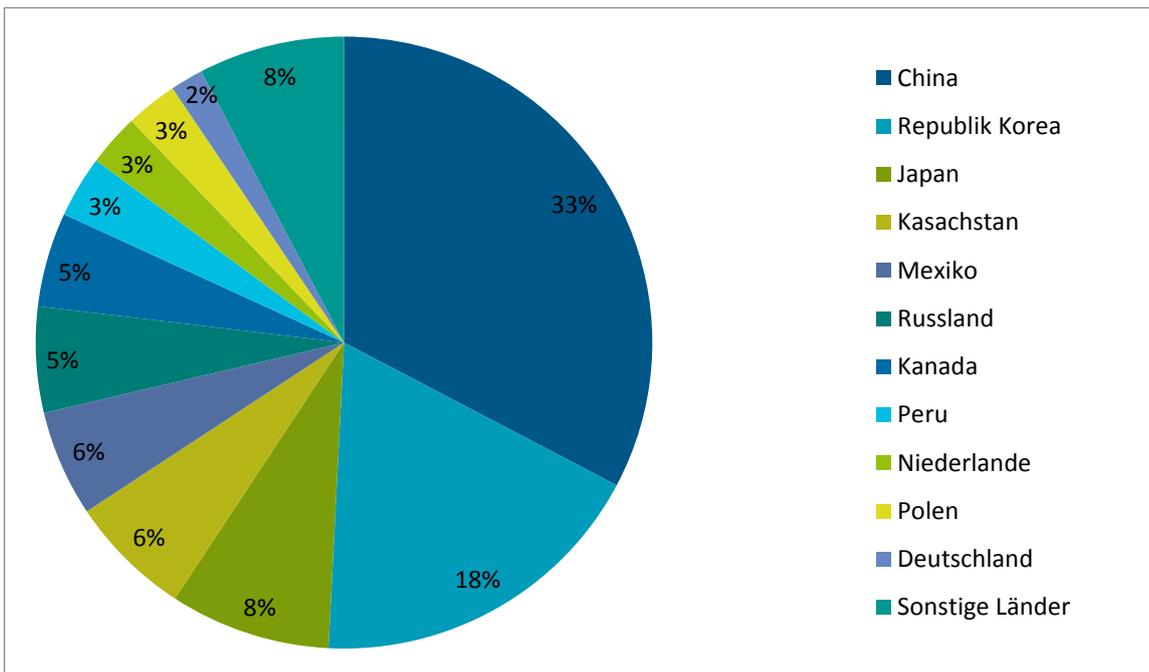
### 8.11.2. Wesentliche Herkunftsländer

Cadmium wird v. a. als Beiprodukt in der primären Zinkförderung gewonnen.

Die globale Cadmium-Produktion wird bei USGS (2016a) als Raffinerieproduktion ausgewiesen. In der folgenden Kuchengraphik werden die Cadmium-Raffinerieproduzenten in 2015 illustriert. Weltweit wurden 23.200 Tonnen raffiniertes Cadmium produziert (USGS, 2016a). In die Raffinerieproduktion gehen neben den Primärmaterialien ebenso die Sekundärmaterialien ein.

<sup>57</sup> Nach Anhang II der EU-Altfahrzeug-Direktive darf Cadmium in Batterien für Elektrofahrzeuge eingesetzt werden. Hier trägt die Kommission im Rahmen des Verfahrens nach Artikel 4 Absatz 2 Buchstabe b) und im Rahmen einer umfassenden Umweltverträglichkeitsprüfung der Verfügbarkeit von Ersatzstoffen sowie der Notwendigkeit Rechnung, die Verfügbarkeit von Elektrofahrzeugen aufrechtzuerhalten.

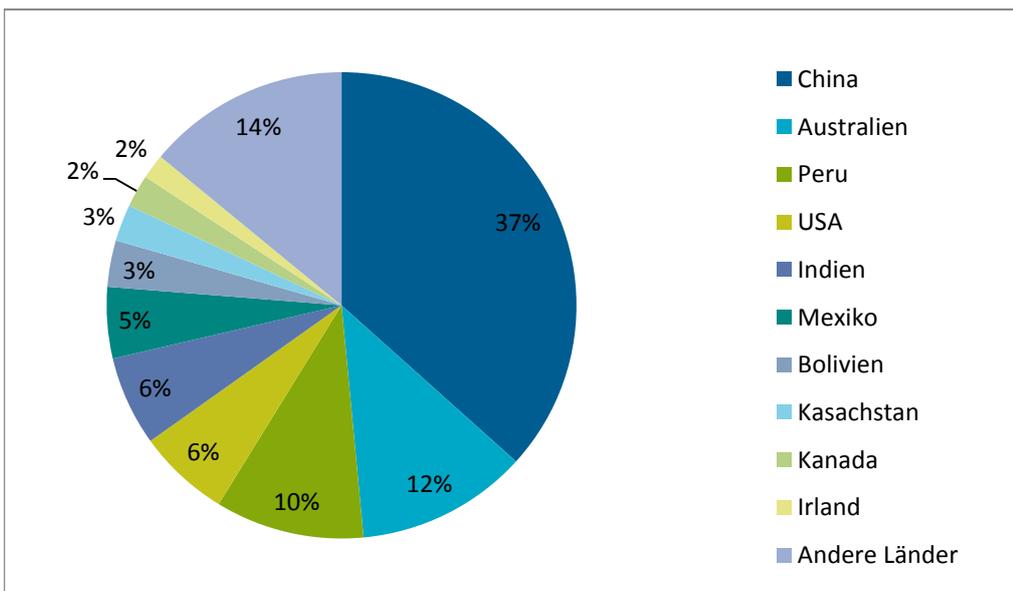
Abbildung 8-30: Weltweite Raffinerieproduktion, 2015



Quelle: USGS, 2016a

Da Cadmium als Beiprodukt der primären Zinkförderung gewonnen wird, kann die Herkunft der Primärproduktion von Cadmium anhand der Zink-Primärförderung näherungsweise hergeleitet werden. Nach USGS (2016b) lag die Minenproduktion – also Primärproduktion – von Zink in 2015 bei 13.400.000 Tonnen. Mehr als die Hälfte der Zinkproduktion stammt aus den Hauptförderländern China (37 %), Australien (12 %) und Peru (10 %).

Abbildung 8-31: Primäre Zinkförderung in 2015

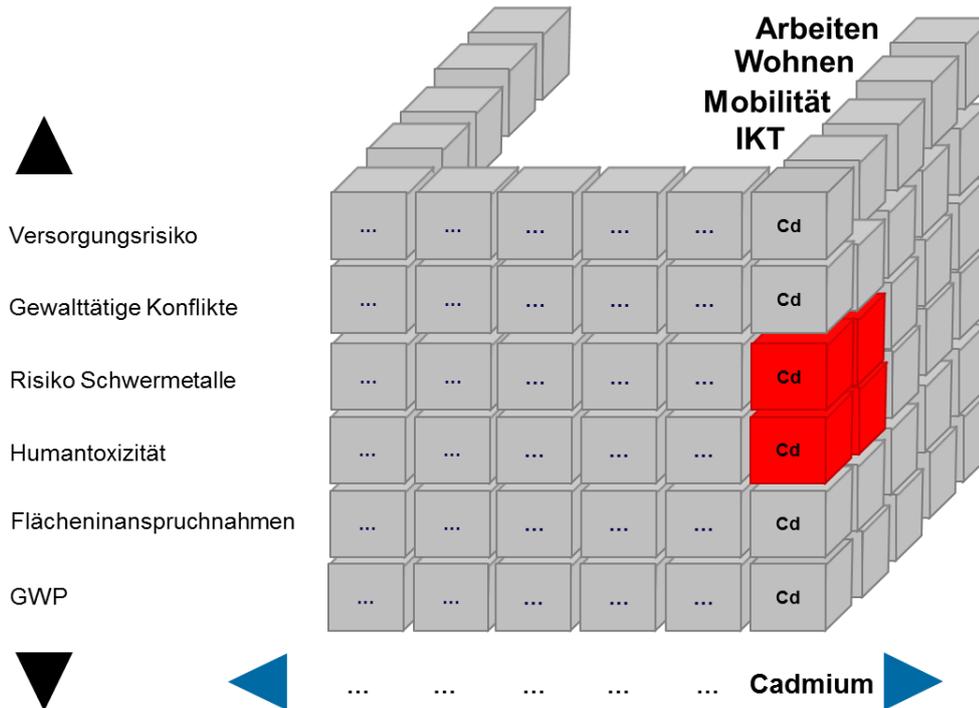


Quelle: USGS, 2016b

### 8.11.3. Probleme / HotSpots

Cadmium ist als Cadmiumoxid ein Rohstoff mit sehr hoher Toxizität. In den ökologischen Nachhaltigkeitskategorien Humantoxizität und Risiko der Schwermetallbelastung wird das Schwermetall Cadmium als sehr relevant eingestuft. (UNEP, 2010)

Abbildung 8-32: HotSpots Cadmium



Quelle: Eigene Abbildung Öko-Institut e. V.

### 8.11.4. Rohstoffspezifische Ziele

Aufgrund der hohen Toxizität ist der Cadmiumeinsatz in vielen Anwendungen bereits verboten. Es handelt sich hier um ein sogenanntes „Phase-out-Material“. Daher liegen die Ziele für eine Rohstoffwende zum einen in einer Fortführung von Phase-out-Regulierungen nach dem Vorbild der Minamata Konvention für Quecksilber. Um dies zu erreichen, müssen Übereinkommen zur Eindämmung der Nutzung von Cadmium erarbeitet und die Phase-out-Regulierungen fortgeschrieben werden.

Zum anderen müssen geeignete Senken – in diesem Fall Sondermülldeponien – gefunden werden. Im Zuge der Phase-out-Phase wird der Rohstoff, der sich bereits auf dem Markt befindet, gesammelt. Für die Lagerung des Rohstoffs müssen geeignete Senken gefunden werden. Untertagedeponien für Sonderabfälle kommen hierfür vor allem in Betracht. Neben dem Cadmium aus bestehenden Produkten muss ebenso auch Cadmium, welches als ungewolltes Nebenprodukt aus der Zink-Primärproduktion entsteht, deponiert werden.

### 8.11.5. Quellen

EU, 2016: Verordnung (EU) 2016/217 der Kommission vom 16. Februar 2016 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich Cadmium. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0217&from=DE> zuletzt abgerufen am 09.11.2016

UNEP, 2010: United Nations Environment Programme: Final review of scientific information on cadmium. Dezember 2010. ([http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead\\_Cadmium/docs/Interim\\_reviews/UNEP\\_GC26\\_INF\\_11\\_Add\\_2\\_Final\\_UNEP\\_Cadmium\\_review\\_and\\_appendix\\_Dec\\_2010.pdf](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Interim_reviews/UNEP_GC26_INF_11_Add_2_Final_UNEP_Cadmium_review_and_appendix_Dec_2010.pdf))

UNEP, 2011: Recycling Rates of Metals. A Status Report. Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Buchert, M.; Hagelüken, C.; Reck, B.; Sibley, S.; Sonnemann, G. URL: [http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metals\\_Recycling\\_Rates\\_110412-1.pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metals_Recycling_Rates_110412-1.pdf).

USGS, 2016a: U.S. Geological Survey: 2015 Minerals Yearbook. CADMIUM, Oktober 2016 <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cadmium/myb1-2015-cadmi.pdf>

USGS, 2016b: U.S. Geological Survey: Mineral Commodity Summaries, ZINC, Januar 2016 <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zinc/mcs-2016-zinc.pdf>

Wikipedia, 2017: Cadmium; abgerufen am 4.4.2017, unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Cadmium>

## 8.12. Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“

### Policy Paper

- Policy Paper: Deutschland 2049: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Darmstadt, Juli 2015  
[http://www.resourcefever.org/publications/articles/D2049\\_Policy%20Paper\\_Juli2015.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/articles/D2049_Policy%20Paper_Juli2015.pdf)
- Policy Paper: Deutschland 2049: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Darmstadt, Juni 2016  
[http://www.resourcefever.org/publications/articles/D2049\\_PolicyPaper\\_2\\_Juni2016.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/articles/D2049_PolicyPaper_2_Juni2016.pdf)
- Policy Paper: Rohstoffspezifische Ziele - Deutschland 2049: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Darmstadt November 2016  
[http://www.resourcefever.org/publications/articles/D2049\\_PolicyPaper\\_3\\_final\\_November2016.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/articles/D2049_PolicyPaper_3_final_November2016.pdf)

### Präsentationen des 1. Stakeholderworkshops am 5. Februar 2015 in Berlin

- Ein strategischer Beitrag des Öko-Instituts  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_Workshop\\_2015\\_1\\_Einstiegsf\\_olien\\_Buchert.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_Workshop_2015_1_Einstiegsf_olien_Buchert.pdf)
- Bewertung von Rohstoffen – wo liegen die großen Impacts?  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_Workshop\\_2015\\_2\\_Stahl\\_Man\\_hart.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_Workshop_2015_2_Stahl_Man_hart.pdf)

- Eckpunkte für ein Rohstoffwende-Szenario  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_Workshop\\_2015\\_3\\_Huenecke.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_Workshop_2015_3_Huenecke.pdf)
- Instrumente für eine Rohstoffwende – ein Ausblick  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_Workshop\\_2015\\_4\\_Schulze.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_Workshop_2015_4_Schulze.pdf)
- Nächste Projektschritte  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_Workshop\\_2015\\_5\\_Abschluss\\_Buchert.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_Workshop_2015_5_Abschluss_Buchert.pdf)

### **Präsentationen des 2. Stakeholderworkshops am 18. Februar 2016 in Berlin**

- Rohstoffwende Deutschland 2049: Überblick Ziele und Szenarien  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_2\\_WS\\_1\\_Einstiegsfolien\\_Buchert\\_18Feb2016.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_2_WS_1_Einstiegsfolien_Buchert_18Feb2016.pdf)
- Bedürfnisfelder: Szenario-Ergebnisse (Megatrends) ausgehend von 2013  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_2\\_WS\\_2\\_Beduerfnisfelder\\_Huenecke\\_Bulach\\_Schleicher\\_Mottschall\\_18Feb2016.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_2_WS_2_Beduerfnisfelder_Huenecke_Bulach_Schleicher_Mottschall_18Feb2016.pdf)
- Ausgewählte Rohstoffe: Szenario-Ergebnisse und konkrete Ziele  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_2\\_WS\\_3\\_Rohstoffe\\_Degreif\\_Buchert\\_18Feb2016.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_2_WS_3_Rohstoffe_Degreif_Buchert_18Feb2016.pdf)
- Beispielfall Kies - Instrumente zur Schonung des Rohstoffs „Kies“  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_2\\_WS\\_4b\\_Instrumente\\_Kies\\_Hermann\\_18Feb2016.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_2_WS_4b_Instrumente_Kies_Hermann_18Feb2016.pdf)
- Beispielfall: Seltene Erden / Neodym – Stand, Umweltbewertung, Instrumente  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_2\\_WS\\_4a\\_Instrumente\\_Neodym\\_Schmidt\\_18Feb2016.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_2_WS_4a_Instrumente_Neodym_Schmidt_18Feb2016.pdf)
- Nächste Schritte  
[http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049\\_2\\_WS\\_5\\_Naechste\\_Schritte\\_Buchert\\_18Feb2016.pdf](http://www.resourcefever.org/publications/presentations/D2049_2_WS_5_Naechste_Schritte_Buchert_18Feb2016.pdf)

### **Präsentationen Jahrestagung des Öko-Instituts am 1. Dezember 2016 in Berlin**

- Rohstoffwende Deutschland 2049: Teil 1: Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Berlin, 1.12.2016  
[https://www.oeko.de/uploads/oeko/aktuelles/Jahrestagung\\_2016/D2049\\_buchert.pdf](https://www.oeko.de/uploads/oeko/aktuelles/Jahrestagung_2016/D2049_buchert.pdf)
- Rohstoffwende Deutschland 2049: Teil 2: Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Berlin, 1.12.2016  
[https://www.oeko.de/uploads/oeko/aktuelles/Jahrestagung\\_2016/D2049\\_degreif.pdf](https://www.oeko.de/uploads/oeko/aktuelles/Jahrestagung_2016/D2049_degreif.pdf)

### **Weitere ausgewählte Veröffentlichungen / Vorträge**

- Präsentation der Projektergebnisse auf der Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 2017 (6.3.2017)

- Präsentation der Projektergebnisse auf dem PolRess-Vernetzungs-Workshop „Weiterentwicklung der ressourcenpolitischen Debatte im Spannungsfeld zwischen inkrementeller Veränderung und tiefgreifendem Wandel“ in Berlin (13.3.2017)
- Beitrag zu den Projektergebnissen in der et (energiewirtschaftliche Tagesfragen) Ausgabe 4-2017