

## Policy Paper 3: Rohstoffspezifische Ziele Deutschland 2049 - Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft



Darmstadt,  
November 2016

### **Autorinnen und Autoren**

Dr. Matthias Buchert  
Dr. Winfried Bulach  
Stefanie Degreif  
Andreas Hermann  
Katja Hünecke  
Moritz Mottschall  
Tobias Schleicher  
Dr. Hartmut Stahl  
Dr.-Ing. 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>II</b>
<b>1. Kurze Einführung - Das Projekt Rohstoffwende Deutschland 2049</b>	<b>3</b>
<b>2. Die Rohstoffwende braucht rohstoffspezifische Ziele</b>	<b>8</b>
<b>3. Rohstoffspezifische Ziele für Massenrohstoffe</b>	<b>9</b>
3.1. Cluster MR 1 „Heimische Baurohstoffe“: Kriterien und Ziele	10
3.2. Cluster MR 2 „Baustoffe“: Kriterien und Ziele	11
3.3. Cluster MR 3 „Hauptmassenmetalle“: Kriterien und Ziele	13
3.4. Cluster MR 4 „Industriesalze“: Kriterien und Ziele	15
3.5. Cluster MR 5 „Sonstige Massenmetalle“: Kriterien und Ziele	16
3.6. Cluster MR 6 „Sonstige Massenrohstoffe“: Kriterien und Ziele	17
<b>4. Rohstoffspezifische Ziele für Nicht-Massenrohstoffe</b>	<b>18</b>
4.1. Cluster NMR 1 „Seltene Erden“: Kriterien und Ziele	20
4.2. Cluster NMR 2 „Gut recycelbare Rohstoffe“: Kriterien und Ziele	21
4.3. Cluster NMR 3 „Konflikte & Kleinbergbau“: Kriterien und Ziele	23
4.4. Cluster NMR 4 „Besonderes potentiell Landschaftsrisiko“: Kriterien und Ziele	25
4.5. Cluster NMR 5 „Phase-out-Materialien“: Kriterien und Ziele	26
4.6. Cluster NMR 6 „Sonstige Nicht-Massenrohstoffe“: Kriterien und Ziele	27
<b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>28</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	<b>31</b>
<b>7. Anhang</b>	<b>32</b>
7.1. Definition der End-of-Life-Recyclingrate	32

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Rohstoff-Fokus der Rohstoffwende Deutschland 2049	4
Abbildung 3-1:	Cluster der Massenrohstoffe (MR)	9
Abbildung 4-1:	Cluster der Nicht-Massenrohstoffe (NMR)	19
Abbildung 4-2:	EoL-Recyclingraten für 60 Metalle (UNEP, 2011)	21
Abbildung 4-3:	Geschätzte EoL-Recyclingraten für Edelmetalle in den Haupt-Anwendungssektoren und Relevanz der Hauptanwendungssektoren pro Metall (UNEP, 2011)	22
Abbildung 7-1:	Definition der End-of-Life-Recyclingrate (nach UNEP 2011)	32

## 1. Kurze Einführung - Das Projekt Rohstoffwende Deutschland 2049

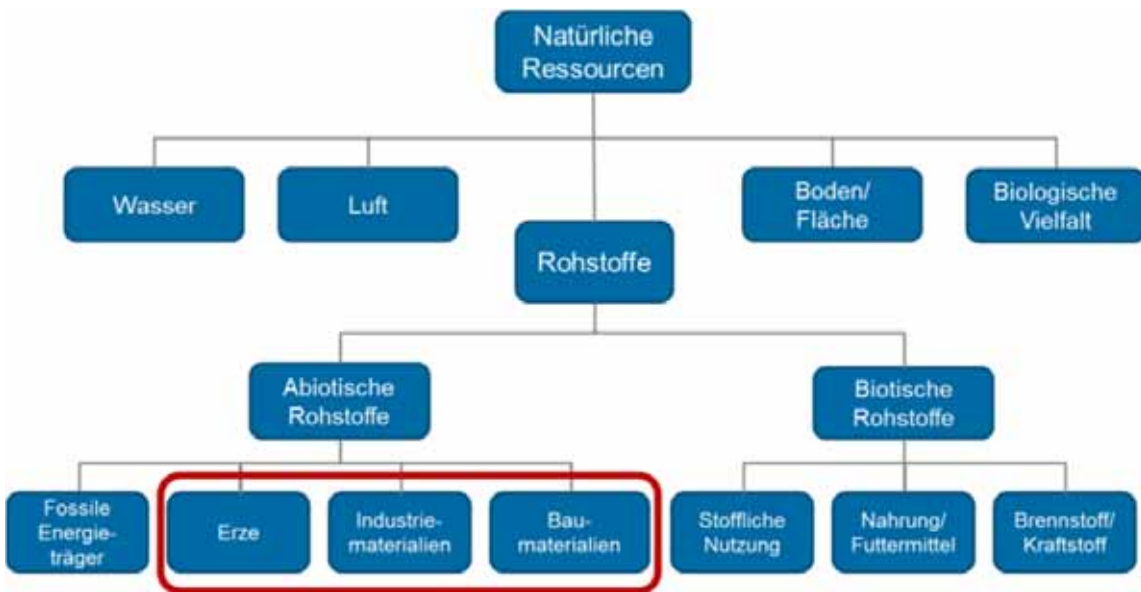
Im Rahmen des Eigenprojektes „Rohstoffwende Deutschland 2049“ erarbeitet das Öko-Institut seit Sommer 2014 eine umfassende Strategie für eine Rohstoffwende. Anfang 2015 wurde im Rahmen des Projekts ein erster Stakeholder-Workshop durchgeführt. Wichtige Diskussionsbeiträge der Teilnehmer aus Politik, Wissenschaft, Industrie und NGOs flossen in die weitere Arbeit ein. 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 nun vorliegende 3. Policy Paper fokussiert auf rohstoffspezifische Ziele. Auf der Jahrestagung des Öko-Instituts am 1. Dezember 2016 in Berlin werden die Projektergebnisse der „Rohstoffwende Deutschland 2049“ vorgestellt. Der Endbericht des Gesamtprojekts wird bis Ende 2016 fertiggestellt und anschließend veröffentlicht. Das Öko-Institut finanziert das strategische Projekt „Rohstoffwende Deutschland 2049“ ausschließlich mit Eigenmitteln.

Mit dieser Arbeit wird vom Projektteam des Öko-Instituts ein umfassender strategischer Beitrag für eine langfristige Rohstoffwende in Deutschland bis 2049 vorgelegt. 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“) werden dafür rohstoffspezifische Ziele erarbeitet. Zur Zielerreichung werden notwendige Maßnahmen und Instrumente vorgeschlagen und ausgearbeitet.

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.

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

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



Quelle: Darstellung Öko-Institut in Anlehnung an ProgRess

### 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 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.<sup>1</sup>

Im Folgenden werden die wichtigsten methodischen Schritte kurz wiedergegeben. Diese sind:

<sup>1</sup> Das methodische Vorgehen im Projekt ist bereits im [1. Policy Paper](#) zum Projekt „Rohstoffwende Deutschland 2049“ ausführlich beschrieben worden.

1. Analyse der Charakteristika der untersuchten Rohstoffe anhand der drei Nachhaltigkeitssäulen
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

### Charakteristika der untersuchten Rohstoffe

Anhand der drei Nachhaltigkeitssäulen Ökonomie, Ökologie und Soziales werden 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. Eine Betrachtung weiterer ökologischer, sozialer und ökonomischer Kategorien könnte in zukünftigen Analysen miteinbezogen werden.

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

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

Quelle: Zusammenstellung 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. Wird ein Rohstoff in einer Kategorie als Hot-

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

Spot identifiziert, werden 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 werden 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 Bedarfs 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 (siehe [1. Policy Paper](#)).

### **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 Abschnitt 3 und 4 dieses Policy Papers 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>3</sup>) ein Rohstoffwende-Szenario erstellt und die Ergebnisse im Vergleich zu einem Business-As-Usual-Szenario (als Referenz) analysiert. Die detaillierten Ergebnisse der Szenarien wurden am 18. Februar 2016 ausführlich auf dem 2. Stakeholder-Workshop zum Projekt „Rohstoffwende Deutschland 2049“ vorgestellt. 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 den Kapiteln 3 und 4 näher vorgestellt.

## **Entwicklung von geeigneten spezifischen Maßnahmen und Instrumenten**

Geeignete Maßnahmen und Instrumente zur Erzielung von Entlastungspotenzialen sind wichtige Erfolgsfaktoren einer nachhaltigen Rohstoffpolitik. Erste Ergebnisse wurden im 2. Policy Paper für die Beispiele Kies und Neodym vorgestellt. Weitere Instrumente werden im Endbericht zum Projekt erläutert.

---

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

## 2. Die Rohstoffwende braucht rohstoffspezifische Ziele

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. Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, ist die Unterteilung in Massen- und Nicht-Massenrohstoffe ein erster wichtiger Schritt. 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.

### 3. Rohstoffspezifische Ziele für 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 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 importierte Basismetalle (in fertigen Produkten, als Halbzeuge oder Erze) mit hohen End-of-Life(EoL)-Recyclingraten<sup>4</sup>. Zur Herleitung angemessener rohstoffspezifischer Ziele werden die Massenrohstoffe nach charakteristischen Kriterien in sechs Cluster untergliedert und zu jedem Cluster ein Cluster-Repräsentant identifiziert. Im Abschlussbericht 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 werde die Kriterien für die Clusterauswahl und Rohstoffzuordnung kurz erläutert. Darauf aufbauend werden rohstoffspezifische Ziele für die sechs Cluster der Massenrohstoffe vorgestellt.

Abbildung 3-1: 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 Naturstein 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

<sup>4</sup> EoL-Recyclingrate: Die EoL-Recyclingrate beziffert den Anteil des recycelten End-of-Life-Metalls zu den anfallenden EoL-Produkten (siehe auch Abbildung im Anhang)

### 3.1. 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, Naturstein, 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 Naturstein 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. 2016a). 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. 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 etwas dämpft. Im Rohstoffwende-Szenario wird eine Halbierung des jährlichen Kiesbedarfs bis 2049 erreicht. Die Szenario-Ergebnisse für Kies sowie Instrumente für eine nachhaltige primäre Kiesgewinnung wurden im 2. Policy Paper dargestellt. Weitere Instrumente für die Erreichung der identifizierten Ziele werden im Abschlussbericht 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, Naturstein 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, Naturstein und Sand (für Kies um 45 %) bis 2049:** Im Rahmen des 2. Policy Papers wurden die Reduzierungspotenziale am Beispiel von Kies gezeigt. Es kann eine absolute Reduzierung von 45 % gegenüber 2013 durch Recycling, Lebensdauererlängerung 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.

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

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

	<b>Cluster MR 2</b> (2 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	<b>Baustoffe</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Zement</b>
<b>Rohstoffe</b>	Kalk gebrannt Zement

Dieses Cluster adressiert die beiden Baustoffe, welche nicht direkt gefördert und dann genutzt werden können, sondern die zuvor noch eine 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.

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.

Für den Cluster-Repräsentanten Zement 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. Allein

die Nutzung als Recyclingbeton ist im Falle des Zements möglich. Dieser substituiert Kies oder Naturstein, aber keinen Zement.

Im Fall von Zement können die Kohlenstoffemissionen 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>5</sup> der Investition in Zementwerken, 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. Im 2. Policy Paper 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, welche 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>5</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.

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

Das Cluster MR 3 „Hauptmassenmetalle“ umfasst die drei Metalle Eisen/Stahl<sup>6</sup>, Aluminium und Kupfer.

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

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. Im Business-As-Usual Szenario wurde ein leichter Anstieg von rund 2 % abgebildet. Im Rohstoffwende-Szenario konnte ein Einsparpotenzial von rund 40 % aufgezeigt werden. Der Weg um diese Potenziale zu erschließen wird im Abschlussbericht skizziert.

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>6</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. 2016b) 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) 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 Dammbruch kommen kann. Die Zertifizierung könnte, wie für Neodym im 2. Policy Paper beschrieben, in einem mehrstufigen Verfahren eingeführt werden.



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

Das Cluster MR 4 „Industriesalze“ umfasst Kali- und Steinsalz.

	<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-Repräsen-tant</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. In greifbare Nähe ist die Realisierung damit nicht gerückt, da es vielfach Kritik gibt und die Einleitung dennoch zu Salzfrachten führen würde.

Eine technische Lösung zur Verminderung der Abfälle existiert, jedoch ist diese für die Industrie nicht ökonomisch darstellbar und wird deshalb nicht in die Praxis überführt. Stattdessen sind zur Einhaltung weiterer Grenzwerte eine Eindickung der Salzabfälle und eine anschließende Einstapelung im Untergrund geplant.

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.

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

Das Cluster MR 5 „Sonstige Massenmetalle“ umfasst die vier Metalle Zink, Blei, Chrom und Mangan.

	<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>7</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>7</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.

**3.6. 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 nochmals 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 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 deutsche Gewässer. 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.

#### **4. Rohstoffspezifische Ziele für 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. Im Abschlussbericht 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, Molybdän, Gold, Silber, Wolfram). Diese Rohstoffe sind in folgender Abbildung in roter Schrift gekennzeichnet. In den folgenden Unterkapiteln werde die Kriterien für die Clusterauswahl und Rohstoffzuordnung kurz erläutert. Darauf aufbauend werden Ziele für die sechs Cluster der Nicht-Massenrohstoffe vorgestellt.

Abbildung 4-1: Cluster der Nicht-Massenrohstoffe (NMR)

	<b>Cluster NMR 1</b> (16 Rohstoffe)	<b>Cluster NMR 2</b> (16 Rohstoffe)	<b>Cluster NMR 3</b> (7 Rohstoffe)	<b>Cluster NMR 4</b> (1 Rohstoff)	<b>Cluster NMR 5</b> (2 Rohstoffe)	<b>Cluster NMR 6</b> (18 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	<b>Seltene Erden</b>	<b>Gut recycelbare Rohstoffe</b>	<b>Konflikte &amp; Kleinbergbau</b>	<b>Besonderes potent. Landschaftsrisiko</b>	<b>Phase-out-Materialien</b>	<b>Sonstige Nicht-Massenrohstoffe</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Neodym</b>	<b>Platin</b>	<b>Zinn</b>	<b>Lithium</b>	<b>Cadmium</b>	
<b>Rohstoffe</b>	alle SEE: Praseodym Scandium Europium Terbium Erbium Thulium Yttrium Cer Neodym Samarium Gadolinium Dysprosium Ytterbium Lutetium Lanthan Holmium	Eisen-Metalle (Molybdän, Nickel, Niob)  Alle Nicht-Eisen-Metalle (Magnesium, Kobalt, Zinn)  Edelmetalle (Ruthenium, Rhodium, Palladium, Iridium, Platin, Silber, Gold)  Rhenium Wolfram Cadmium	Kobalt Zinn Silber Gold Molybdän 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

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

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

Das Cluster NMR 1 „Seltene Erden“ umfasst alle 16 Seltenen Erden<sup>8</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 der radioaktiven Belastung auf. Bei der Gewinnung der Seltenen Erden entstehen radioaktive und toxisch belastete Tailings<sup>9</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. (siehe ökologische Indikatoren für Nicht-Massenrohstoffe im 2. Policy Paper).

Der Cluster-Repräsentant Neodym wurde im Rahmen dieses Projektes intensiv untersucht. 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 durch den Einsatz der Neodym-Eisen-Bor-Permanentmagnete in der Elektromobilität. Die Szenario-Ergebnisse für Neodym sowie Instrumente für eine nachhaltige primäre Neodymgewinnung wurden im 2. Policy Paper dargestellt. Die Instrumente für die Erreichung der identifizierten Ziele werden im Abschlussbericht detailliert beschrieben.

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 Sammel- und Recyclingstruktur ist hierfür unbedingt notwendig.
- **Verlängerung der Nutzungsdauer von IKT<sup>10</sup>-Produkten um 50 % bis 2049:** Seltene Erden werden in IKT-Produkten eingesetzt wie z.B. in Festplatten, Displays, Bildschirmen oder Lautsprechern.
- **Einsatz von zertifiziertem Primärmaterial: In 2049 soll 80 % des benötigten Primärmaterials aus zertifiziertem Primärmaterial stammen.** Im Rahmen des 2. Policy Papers

<sup>8</sup> Mit Ausnahme von Promethium (Pm), da es nicht als natürliches Element vorkommt  
<sup>9</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>10</sup> IKT = Informations- und Kommunikations-Produkte

wurde das Vorgehen am Beispiel von Neodym hin zum Zertifizierungssystem sowie Zertifizierungsabstufungen beschrieben. Im Abschlussbericht wird das Zertifizierungssystem am Beispiel Neodym detailliert beschrieben.

### 4.2. Cluster NMR 2 „Gut recycelbare Rohstoffe“: Kriterien und Ziele

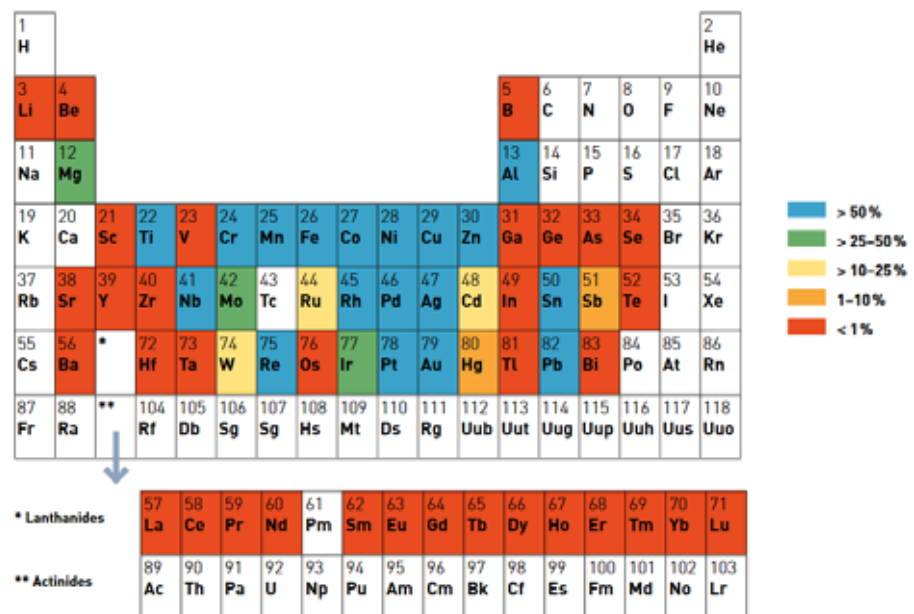
Im Cluster NMR 2 „gut recycelbare Rohstoffe“ gruppieren sich Rohstoffe, die bereits heute hohe EoL-Recyclingraten aufweisen.

	<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 4-2: EoL-Recyclingraten für 60 Metalle (UNEP, 2011)



Die EoL-Recyclingraten eines Rohstoffs fallen in ihren verschiedenen Anwendungsbereichen unterschiedlich aus, was folgende Abbildung (4-3) 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 4-3: 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						Jewellery, coins 5)
	Vehicles 2)	Electronics 3)	Industrial applications 3)	Dental 4)	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	
Pt	60-70	50-55	0-5	80-90	15-20	10-20	90-100
Au	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 Pro-



zessabläufen aber auch in den Sammlungsverfahren liegen. Andere Ursachen sind ebenfalls möglich.

Die Rohstoffe Molybdän, 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).

### 4.3. 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> (7 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, Molybdän 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>	Kobalt Zinn Silber Gold Molybdän Tantal Wolfram	Zum anderen weisen Rohstoffe in diesem Cluster ein hohes Konfliktrisiko auf. Die Datengrundlage beruht hier auf der Anzahl dokumentierter gewalttätiger Konflikte mit Rohstoffbezug in den größten Abbauländern. Dies betrifft Molybdän, 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 2010) 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 wird im Endbericht des Projektes 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.

#### 4.4. Cluster NMR 4 „Besonderes potentielltes Landschaftsrisiko“: Kriterien und Ziele

Cluster NMR 4 „besonderes potentielltes Landschaftsrisiko“ zeichnet sich durch einen Rohstoff aus, dessen Gewinnung einen Landschaftseingriff in die besondere Naturlandschaft der Salzseen<sup>11</sup> - überwiegend in Südamerika - aufweist

	<b>Cluster NMR 4</b> (1 Rohstoff)	<p>Mit diesem Cluster wird auf besondere Naturlandschaften in Südamerika abgezielt – im speziellen auf die Salar de Uyuni in Bolivien<sup>12</sup>. Die Gewinnung von Lithium weist eine hohe Flächeninanspruchnahme auf und könnte eine großflächige Zerstörung des einzigartigen Natur- und Lebensraumes nach sich ziehen.</p>
<b>Cluster-name</b>	<b>Besonderes potent. Landschaftsrisiko</b>	<p>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&amp;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.</p>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Lithium</b>	
<b>Rohstoffe</b>	Lithium	

Somit sind folgende Ziele für das Cluster „besonderes potentielltes 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.

<sup>11</sup> Die Gewinnung von Lithium findet ebenso aus Erz (z.B. Spodumen) statt.

<sup>12</sup> Bisher ist die Lithium-Gewinnung in der Salar de Uyuni nicht realisiert. Aber der Druck auf die weltweiten Lithium-Vorkommen wird steigen.

#### 4.5. 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)
<b>Cluster-name</b>	<b>Phase-out-Materialien</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	<b>Cadmium</b>
<b>Rohstoffe</b>	<b>Cadmium</b> Quecksilber

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.

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>13</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>14</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).

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 in der EU-Verordnung 2016/217 (EU 2016) im Februar 2016 neu begrenzt worden.

Zudem werden Cadmium<sup>15</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.

<sup>13</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>14</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.

<sup>15</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.

- **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.

#### 4.6. 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 nochmals verschiedenartige Eigenschaften und Charakteristika auf.

	<b>Cluster NMR 6</b> (18 Rohstoffe)
<b>Cluster-name</b>	<b>Sonstige Nicht-Massenrohstoffe</b>
<b>Cluster-Repräsentant</b>	
<b>Rohstoffe</b>	Graphit Beryllium Gallium Selen Arsen Zirkonium Antimon Bismut Tellur Germanium Strontium Indium Barium Thallium Hafnium Titan Vanadium Osmium

Für diese 18 Rohstoffe sind einzelne Untersuchungen notwendig. Als erste Priorisierung sollte insbesondere Graphit näher betrachtet werden. Graphit wurde in der kurzen 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.

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.

Rohstoffspezifische Untersuchungen zu ökologischen und sozialen Auswirkungen sind daher unbedingt notwendig.

Definition der Ziele noch offen:

Für die Rohstoffe in diesem Cluster müssen rohstoffspezifische Analysen zu den jeweiligen Charakteristika durchgeführt werden und bei Bedarf Ziele für eine Rohstoffwende formuliert werden.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

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 (siehe 2. Policy Paper). 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.

### Erste quantitative Ziele

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 und Instrumente werden im Abschlussbericht in einer sehr detaillierten Ausarbeitung beschrieben. Für diese konkreten Maßnahmen und Instrumenten können die nächsten Schritte zu einer weiteren politischen Ausgestaltung und Implementierung in Angriff genommen werden.

### Erste qualitative Ziele

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 Instrumenten. 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.

## Definition der rohstoffspezifischen Ziele noch offen

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

Für die quantitativen Ziele werden bis Jahresende die geeigneten Maßnahmen und Instrumente für eine Erreichung der Ziele im Rahmen einer Rohstoffwende in Deutschland in 2049 vertieft und weiter ausgearbeitet. So werden Ansätze zur Zertifizierung von Seltenen Erden ausgestaltet oder Anforderungen an Branchen und Unternehmen hinsichtlich ihrer Verantwortung zur Minimierung menschenrechtlicher und ökologischer Risiken in der Wertschöpfungskette ihrer Produkte detailliert dargestellt. Der Endbericht zum Projekt mit detaillierten Ausarbeitungen zu ausgewählten rohstoffspezifischen Instrumenten und Maßnahmen sowie einer strategischen Zusammenfassung wird Ende 2016 auf der Internetseite des Öko-Instituts veröffentlicht.

Die Gesamtergebnisse des strategischen Projektes „Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft“ werden am 1. Dezember 2016 bei der Jahrestagung des Öko-Instituts in Berlin einem breiten Publikum vorgestellt und mit den Teilnehmern dieser Veranstaltung diskutiert.

Im Rahmen des Projektes konnte eine umfassende Strategie für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft für Deutschland skizziert werden. Anhand der rohstoffspezifischen Analysen mit Szenario-Berechnungen wurde deutlich, dass rohstoffspezifische Ziele und Maßnahmen notwendig sind. Für ausgewählte Rohstoffe konnte das Öko-Institut eine tiefere Analyse durchführen. Aber es wurde auch deutlich, dass weitere Forschungen notwendig sind, um die Ausgestaltung der nachhaltigen Rohstoffwirtschaft für Deutschland zu präzisieren.

Zur Erreichung dieses Zieles 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.

Das Öko-Institut schlägt vor, alle vier Jahre die rohstoffspezifischen und clusterspezifischen Ziele sowie die zugrundeliegenden Daten der Szenarien – wie z.B. Bevölkerungsentwicklung, Marktdurchdringung der Elektromobilität, Wohnungsmarkt etc. – zu überprüfen. Mit Hilfe dieses Monitorings kann sichergestellt werden, dass die Ziele weiterverfolgt werden und gegebenenfalls zeitnah angepasst werden können.



## 6. Literaturverzeichnis

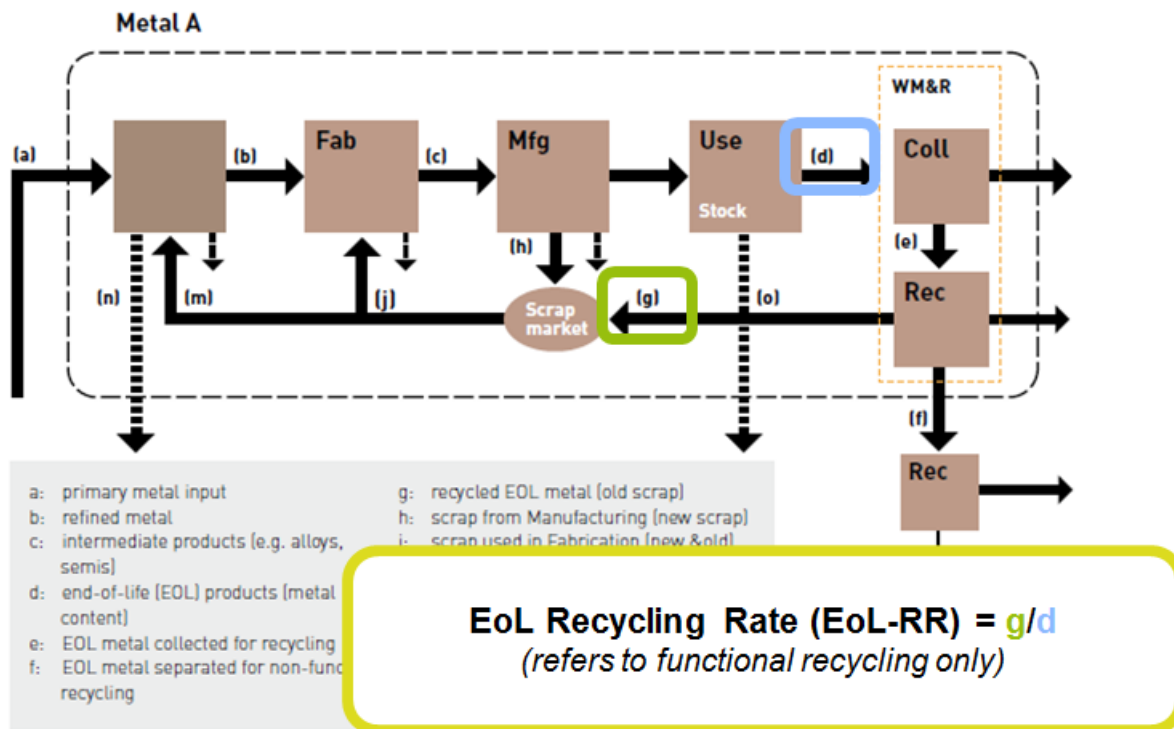
- BMUB 2016: Die Minamata-Konvention – das weltweite Übereinkommen zu Quecksilber. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
<http://www.bmub.bund.de/themen/gesundheit-chemikalien/gesundheit-und-umwelt/die-quecksilber-konvention-der-vereinten-nationen/> zuletzt abgerufen am 09.11.2016
- Buchert et al. 2016a: 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. 2016b: Klimaschutzpotenziale des Metallrecyclings und des anthropogenen Metalllagers. Buchert, M.; Bulach, W.; Stahl, H.
- 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>.
- 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
- ka-news.de, 2011: Kiesabbau in der Region: Her mit dem Kies! URL: <http://www.ka-news.de/region/karlsruhe/Karlsruhe~/Kiesabbau-in-der-Region-Her-mit-dem-Kies:art6066,660908>; zuletzt abgerufen am 10.10.2016.
- 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).
- 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-in-china/>

## 7. Anhang

### 7.1. Definition der End-of-Life-Recyclingrate

Die EoL-Recyclingrate bezieht den Anteil des recycelten End-of-Life-Metalls (in Abbildung grüner Kasten „g“) zu den anfallenden EoL-Produkten (in Abbildung blauer Kasten „d“).

Abbildung 7-1: Definition der End-of-Life-Recyclingrate (nach UNEP 2011)



Quelle: UNEP, 2011