



# Bericht

zur

## Ressourcenstrategie für Bayern



Autoren: Reller, Armin; Fendt, Julia; Böckenholt, Christian

Universität Augsburg

Wissenschaftszentrum Umwelt / Lehrstuhl für Ressourcenstrategie



## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung: Zukunftsfähigkeit des Wirtschafts- und Kompetenzstandortes Bayern .....	1
2. Die Begrenztheit natürlicher Ressourcen: eine stoffliche und politische Bestandsaufnahme für Bayern .....	2
3. Herausforderungen und Kernelemente einer Ressourcenstrategie für Bayern .....	7
4. Die Kernelemente der Bayerischen Ressourcenstrategie als Wegweiser für einen zukunftsorientierten und innovativen Umgang mit Ressourcen .....	15
5. Umsetzung der Bayerischen Ressourcenstrategie: Vom Wissen zum Handeln.....	27
Abkürzungsverzeichnis.....	31
Glossar.....	32
Literaturverzeichnis.....	36

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konzept der Stoffgeschichten.....	3
Abbildung 2: Anteile der Wirtschaftssektoren an der Bruttowertschöpfung 2014 in Bayern.....	5
Abbildung 3: Rohstoffnutzung in der bayerischen Wirtschaft.....	5
Abbildung 4: Politische Strategien .....	6
Abbildung 5: Häufigkeit der Stoffklassen in bayerischen Maßnahmen .....	7
Abbildung 6: Zunehmende Materialdiversität in der Technikgeschichte .....	8
Abbildung 7: Stoffwege .....	9
Abbildung 8: Elemente der Bayerischen Ressourcenstrategie .....	10
Abbildung 9: Verwertungskette von Elektroaltgeräten .....	13
Abbildung 10: Aktive Ressourcenforschung.....	17
Abbildung 11: Produktepässe für das ‚Elektromobil‘ und die ‚Lithium-Ionen-Batterie‘ .....	20
Abbildung 12: Gesammelte Bauteile aus Elektroaltgeräten .....	23
Abbildung 13: Bearbeitungsstand der Kernelemente durch die bayerische Politik .....	26
Abbildung 14: Rohstoffproduktivität in Deutschland .....	29
Abbildung 15: Rohstoffproduktivität in Bayern .....	29

## Abstract

Aufgrund diverser Risiken bei der Versorgung mit ↗Ressourcen für den Wirtschafts- und Technologiestandort Bayern stellt sich die Frage, wie eine Rohstoffwende für Bayern gelingen kann. Der vorliegende Bericht identifiziert daher zunächst die Importabhängigkeit sowie die Schonung von Ressourcen und Umwelt als Herausforderungen für die Bayerische Ressourcenstrategie. Um diese zu meistern, gilt es, Wertstoffe im Kreislauf zu erhalten, zum Beispiel durch verstärktes Recycling. Es wurden fünf Kernelemente einer bayerischen Ressourcenstrategie herausgebildet, die auf der Grundlage der Förderung des Recyclings zu verstehen sind: Bewusstseinsförderung, Schaffung von Transparenz, Optimierung der Ressourceneffizienz und -verfügbarkeit, Erhöhung der Substitution und Begrenzung der ↗Dissipation von Funktionsmaterialien. Anhand aktueller Beispiele aus der Praxis wurden die jeweiligen Kernelemente näher beschrieben und erläutert.

Obwohl die bayerische Politik bereits eine Vielzahl von Maßnahmen im Bereich Ressourcen initiiert und implementiert hat, konnte durch eine im Rahmen des Berichtes durchgeführte Bestandsaufnahme festgestellt werden, dass die politischen Aktivitäten weiterhin offene Handlungsfelder in den einzelnen Kernelementen aufweisen. Dies gilt vor allem für die Schaffung von Transparenz in globalen ↗Wertschöpfungsketten. Doch auch im Hinblick auf die anderen Kernelemente wird sowohl die Fortführung und Intensivierung bestehender als auch die Entwicklung weiterer Maßnahmen empfohlen. Um die vorhandenen Potentiale eines nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen in Zukunft noch besser nutzen zu können, offeriert der Bericht im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes konkrete und lokal umsetzbare Lösungsansätze und Implementierungsvorschläge.

## 1. Einleitung: Zukunftsfähigkeit des Wirtschafts- und Kompetenzstandortes Bayern

Ressourcen erfüllen für den Menschen vielfältige Funktionen. Als ökologische Dienstleistungen ermöglichen sie uns das Leben auf der Erde. In der Wirtschaft werden Ressourcen als Produktionsfaktoren eingesetzt und verschaffen uns über Güter Funktionen wie Mobilität und Kommunikation, die unseren Alltag erleichtern und Wohlstand schaffen. Aber Ressourcen haben im Sinne einer intakten Umwelt auch eine Erholungsfunktion für den Menschen. Diesbezüglich gaben 93 % der Befragten bei der *BR-Bayernstudie 2015* des Bayerischen Rundfunks an, dass Landschaft bzw. Natur für sie ein „Wohlfühlfaktor“ sind.

Der Wohlstand und die prosperierende Wirtschaft Bayerns basieren auf der historisch gewachsenen Verknüpfung von materiellen Ressourcen, insbesondere von Metallen und mineralischen Rohstoffen, mit den immateriellen Ressourcen Erfahrungswissen und Fachkompetenz. Obwohl vor allem energetische und metallische Ressourcen importiert werden mussten und müssen, ist es Bayern auf der Grundlage seines im Laufe von etwa 200 Jahren erarbeiteten Erfahrungs- und Wissensschatzes gelungen, seine Position als Technologieführer in mannigfaltigen Sparten bis heute zu behaupten. Bayerische Unternehmen stellen aus zugelieferten Komponenten weltweit nachgefragte Endkompositionen her, die aufgrund der herausragenden Ingenieurskompetenz bayerischer Unternehmen von Konkurrenten nicht kopiert werden können.

Visionärer Unternehmergeist und Innovationskraft verwandelten die Region zielstrebig vom Agrar- zum Technologiestandort mit herausragenden Kompetenzen in der metallverarbeitenden, chemischen, pharmazeutischen, elektrischen oder mechanischen Industrie. Aber auch die Energie- und die Landwirtschaft zeichnete sich durch zukunftsfähige Entwicklungen wie die unterschiedliche Nutzung großräumig anbaubarer und regenerativer Biomasse als Nahrungs- und Futtermittel sowie Rohstoff und Energieträger aus. Diese Position ist eine exzellente Ausgangslage für die Bewahrung und Weiterentwicklung der Zukunftsfähigkeit des Wirtschafts- und Kompetenzstandortes Bayern. Diese gilt es zu wahren und auf der Grundlage von strategischen Rahmenbedingungen in eine wirtschaftlich erfolgreiche, ökologisch verantwortbare und innovative Gesamtentwicklung von morgen zu überführen.

Die in Bayern hergestellten Produkte basieren auf einer Vielzahl von ↗**Funktionsmaterialien** und spiegeln den globalen Trend der Technisierung der Welt wider. Die ↗**Technosphäre** ist gekennzeichnet durch: (1) die exponentielle Zunahme der ↗**Materialdiversität** (Abbildung 7), (2) globale Dimensionen und (3) vermehrte Abhängigkeit von Energieträger- und Ressourcenverfügbarkeit. ↗**Kritikalitätsbetrachtungen** einzelner Ressourcen als auch komplexer Rohstoffszenarien zeigen, dass Kriterien wie geologische Verfügbarkeit, ökologisches Gefährdungspotential oder politisch-soziale Probleme entlang der ↗**Wertschöpfungsketten** ein hohes Risiko für die Volkswirtschaft bergen. Damit ist für Deutschland und andere, auf Rohstoffimporte angewiesene Länder, eine Ressourcenpolitik von strategischer Bedeutung.

Derzeit werden dem Planeten zu viele ↗**primäre Ressourcen** in zu kurzer Zeit entnommen und gleichzeitig beim Abbau von Bodenschätzen und der Entsorgung von Gütern zu viele Schäden in der ↗**Biosphäre** angerichtet. Daher ist es höchste Zeit, Wege zu erforschen und zu begehen, die von einer Müll und Schadstoffe produzierenden Wegwerfwirtschaft hin zu einer Ressourcen- und Umwelt schonenden Kreislauf- und Recyclingwirtschaft führen. Mit der Initiierung der

Visionärer Unter-  
nehmergeist und  
Innovationskraft  
Bayerns

Rohstoffwende Bayern wurde im Freistaat der Weg bereitet, den erarbeiteten Wohlstand bei einer steigenden, globalen Konsumentenzahl unter begrenzten ↗Ressourcenbeständen zu bewahren.

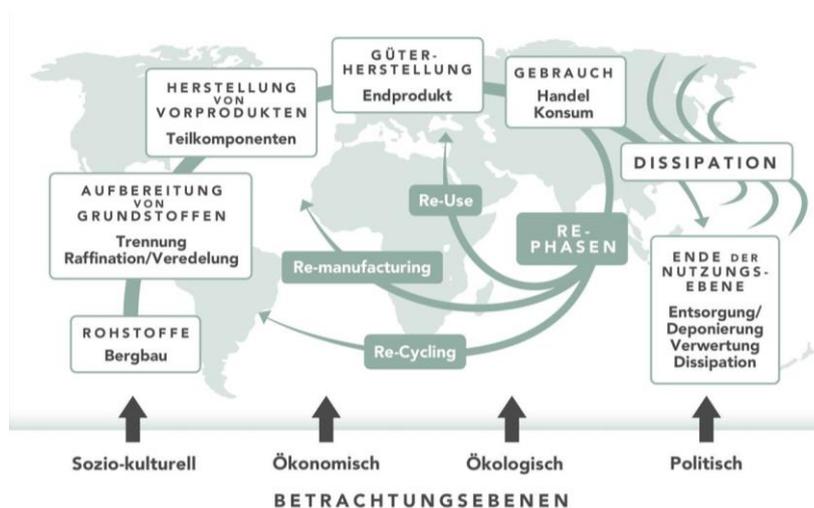
Dieser Bericht ist im Rahmen des bayerischen Forschungsverbundes ↗ForCYCLE erarbeitet worden. Der Verbund ging aus der „Initialstudie – Ressourcenstrategie für Bayern unter besonderer Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen“ hervor, die im Auftrag des damaligen Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit vom ATZ Entwicklungszentrum sowie vom Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie der Technischen Universität München erstellt wurde.

Der vorliegende Bericht ist eine Auskopplung eines Projektberichts, der Ende August 2017 abgeschlossen wird. Dieser dient als Erweiterung der Bayerischen Ressourcenstrategie und liefert Empfehlungen und Maßnahmenvorschläge für einen zukunftsfähigen Umgang mit Ressourcen. Im Folgenden wird zunächst eine stoffliche und politische Bestandsaufnahme der Ressourcen in Bayern dargestellt (Kap. 2). Danach wird auf die Herausforderungen für eine bayerische Ressourcenstrategie eingegangen sowie davon ausgehend fünf Kernelemente als Lösungswege präsentiert (Kap. 3), um dann die bayerische Ressourcenstrategie als Wegweiser für einen zukunftsorientierten Umgang mit Ressourcen und deren Implementierungsvorschläge (Kap. 4) mithilfe zahlreicher Beispiele zu erläutern.

## **2. Die Begrenztheit natürlicher Ressourcen: eine stoffliche und politische Bestandsaufnahme für Bayern**

Eine zukunftsweisende Ressourcenstrategie bedingt, dass die Entstehungsgeschichte, die Nutzungsphase und die Nachnutzung von Ressourcen effizient und transparent gestaltet werden. Da die Verfügbarkeit von Stoffen oder Materialien limitiert ist, wird es entscheidend sein, Stoffkreisläufe zu entwickeln. Diese Stoffkreisläufe ermöglichen eine möglichst hohe Rohstoffproduktivität, den Einsatz umweltfreundlicher Stoffe sowie die Vermeidung des Verlusts von Funktionsmaterialien. Entsprechend benötigen wegweisende politische Entscheidungen fundiertes und möglichst umfangreiches Wissen über noch nicht genutzte und bereits im ↗anthropogenen Lager befindliche ↗Ressourcenbestände. Dies betrifft sowohl die noch nicht verarbeiteten Ressourcen als ↗Primärrohstoffe als auch die bereits verarbeiteten Ressourcen als ↗Sekundärrohstoffe. Entsprechend ist Wissen über die gesamte ↗Stoffgeschichte, vom Bergbau bis zur ↗Dissipation (die möglichst vermieden werden soll) und der Rückführung in den Kreislauf (Rezyklierung), nötig (s. Abbildung 2).

Abbildung 1: Konzept der Stoffgeschichten



Quelle: Wissenschaftszentrum Umwelt, Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

Es gilt, dieses Wissen zu erfassen, laufend zu aktualisieren und zu erweitern. Die entsprechenden politischen Rahmenbedingungen sollen so konstituiert werden, dass eine effiziente und möglichst vollständige Ressourcennutzung, die Rezyklierungsphasen beinhaltet, erzielt wird.

### Stoffströme in Bayern

Die bayerische Land- und Forstwirtschaft besitzt mit ihrem reichen Portfolio an biogenen Primärrohstoffen wie Holz, Getreide, Obst, etc. traditionell stark in der Außen- und Selbstwahrnehmung verankerte Wirtschaftszweige mit hoher Wertschöpfungskraft. Im Bereich der Bioökonomie – für den 2015 in Bayern ein Sachverständigenrat berufen wurde – werden diese biogenen Stoffe als umweltfreundliche  $\rightarrow$  Substitute für andere Stoffe wie Metalle eingesetzt (StMELF 2015). Auch mineralische Rohstoffe wie Kies, Sand, Steine oder Kalk und Ton können den regionalen Bedarf an Baustoffen größtenteils abdecken (vgl. StMWi 2002). Dies zeigt auch die Statistik über Aus- und Einfuhren des Statistischen Landesamtes Bayern. Im Jahr 2015 erzielte Bayern einen Exportüberschuss von 15 Mio. Euro allein mit Steinen und Erden.

Im Bereich der Industriegüterproduktion sind die Verhältnisse grundlegend anders: Fossile Energieträger, Metalle und Kunststoffe bilden die Grundlage für eine erfolgreich produzierende und weltweit aktive Automobil- und Maschinen- sowie Chemie- und Pharmaindustrie. Die notwendigen Ressourcen werden zu über 90 % importiert, in Bayern verarbeitet und die Endprodukte zum großen Teil mit hoher Wertschöpfung exportiert (vgl. Babies et al. 2011). Im Jahr 2015 verzeichnete Bayern einen Importüberschuss an Rohstoffen von 11,1 Mrd. Euro (insbesondere bei fossilen Energieträgern und Metallen). Halbwaren, Vor- und Enderzeugnisse wiesen hingegen einen Exportüberschuss von 33,2 Mrd. Euro auf. Dass in Bayern vor allem hochwertige Güter produziert werden, lässt sich daran ablesen, dass 2015 im Verhältnis zum Export 30,7 Mrd. t mehr Stoffe importiert wurden, und gleichzeitig ein monetärer Exportüberschuss von insgesamt 22,1 Mrd. Euro erzielt wurde (Bayerisches Landesamt für Statistik 2016). Diese Zahlen weisen auf den erheblichen Transfer von Stoffmengen ins Inland hin, die hierzulande veredelt und gewinnbringend exportiert werden.

Reiches Portfolio bayerischer Land- und Forstwirtschaft

Import von über 90 % der Industriegüter

Beim Import von Waren werden Kosten für Energieaufwand und Umweltbelastungen in den ersten Schritten von ↗Wertschöpfungsketten oft externalisiert. Prognostizierte Rückgänge des Ressourcenverbrauchs aufgrund von Miniaturisierung und Digitalisierung traten nur zum Teil ein (vgl. Madlener und Alcott 2011). In Deutschland trat zwar eine Entkopplung von Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum ein (s. Abbildung 14), hingegen stieg der globale Ressourcenverbrauch nach der Finanz- und Wirtschaftskrise Ende der 2000er Jahre rasant an.

### Verwendung

In den vergangenen zwei Dekaden wurde für die Produktion von Gerätschaften wie beispielsweise dem Automobil eine Vielzahl von bisher nicht genutzten Materialien, insbesondere global verteilte Metalle, funktionalisiert. Aufgrund des komplexen Produktdesigns und der hohen ↗Materialdiversität gestaltet sich das Recycling allerdings zunehmend als schwierig. Bei der Produktion hochwertiger Güter ist Bayern Vorreiter in der Entwicklung und Produktion von Automobilen. So befinden sich in einem modernen **Elektromobil** mindestens 40 Elemente des Periodensystems.

### **Beispiel Elektromobil**

Die Endlichkeit fossiler Energieträger und die negativen Folgen ihrer Verbrennung auf die Erderwärmung befördern gegenwärtig den Trend im Automobilssektor weg vom Verbrennungsmotor hin zum Elektromotor.

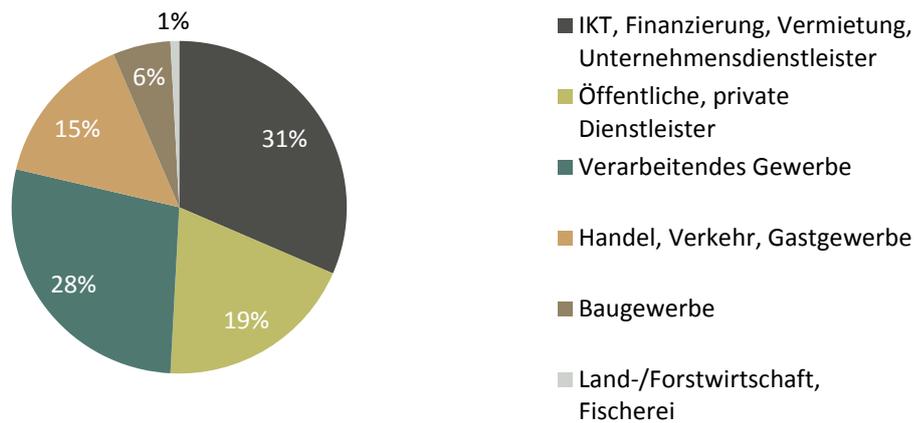
Der bayerische Automobilhersteller BMW war weltweit ein Pionierkonzern in diesem Bereich. Mit dem ersten Elektroauto seiner Flotte, dem BMW i3, der seit 2013 produziert und verkauft wird, wurde ein Auto konstruiert, das gegenüber vergleichbaren Automobilen 30-50 % weniger Treibhausgase entlang seiner ↗Wertschöpfungskette verursacht (Umweltdialog 2013). Trotz seiner 230 kg schweren, im Unterboden verbauten Lithium-Ionen-Batterie des Zulieferers Samsung SDI mit 8 Modulen, kommt es auf ein Leergewicht von knapp 1.300 kg und rangiert damit im unteren Mittelfeld seiner Fahrzeugklasse. Dies wird möglich durch die Leichtbauweise, bei der in der Karosserie neben Stahl mit unterschiedlichen Legierungen vor allem Aluminium sowie unterschiedliche Kunststoffe – insbesondere carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) – verbaut werden. Der Automobilkonzern wirbt selbst damit, dass der BMW i3 eine um ein Drittel verbesserte Ökobilanz aufweist, als konventionelle Fahrzeuge (BMW 2016).

Die Herausforderungen bestehen insbesondere hinsichtlich des hochwertigen Recyclings von CFK, der gesicherten Versorgung mit Lithium, der Speicherkapazität der Batterie sowie des flächendeckenden Aufbaus von Ladestationen.

Die Trennung der verbauten stofflichen Vielfalt erfordert einen aufwendigen Recyclingprozess mit zahlreichen Arbeits- und Verfahrensschritten. Zwar werden die Recyclingverfahren kontinuierlich optimiert, die Rückgewinnung einiger Metalle wie z.B. Eisen und Aluminium ist allerdings noch nicht befriedigend gelöst.

Entsprechend ist in Bayern das verarbeitende Gewerbe mit dem Automobilssektor einer der wichtigsten Wertschöpfungsbranches (Abbildung 2). Für die bayerische Wirtschaft essentiell erforderliche Ressourcen sind insbesondere Stahl, Aluminium und Kupfer. Diese Metalle werden alle **importiert**.

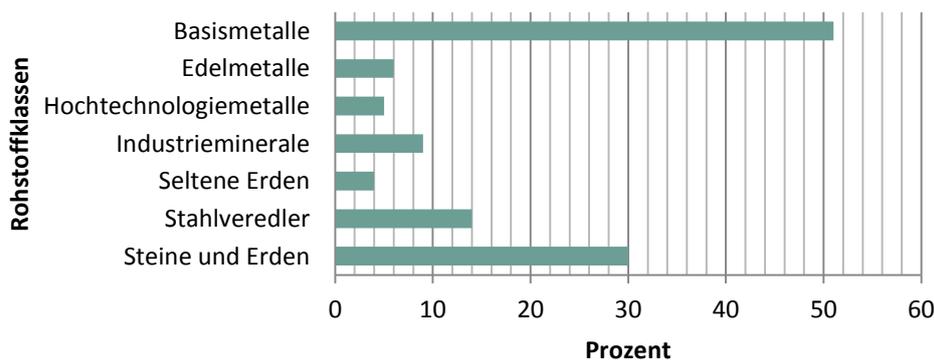
Abbildung 2: Anteile der Wirtschaftssektoren an der Bruttowertschöpfung 2014 in Bayern



Quelle: Eigene Darstellung nach StMWi 2015

In Abbildung 3 sind jene Stoffklassen aufgelistet, die von bayerischen Unternehmen verarbeitet werden. Teilweise verarbeiten Unternehmen mehr als eine Stoffklasse. Wie die Abbildung zeigt, sind in Bayern neben den Massenrohstoffen wie Basismetallen und Steinen und Erden insbesondere Edel-, Hochtechnologie- und Seltenerdmetalle für die Wertschöpfung von Bedeutung. Im Zusammenhang mit einer effizienten Wertschöpfung gilt es allerdings zu beachten, dass nicht allein die Quantität sondern oft die Qualität, besonders die Reinheit der verarbeiteten Materialien, für bestimmte Funktionen und eine langfristig schadstofffreie Nutzung, bspw. von Glas, entscheidend ist. Über die Bedeutung einzelner Stoffklassen für die Wertschöpfung liefert die Abbildung jedoch keine Aussagen: Sie lässt unberücksichtigt, dass auch geringe stoffliche Mengen für die Herstellung und Funktionsfähigkeit eines Konsumgutes von größter Relevanz sein können. In Deutschland lag der Gesamtkonsum an Rohstoffen im Jahr 2011 bei 1,3 Mrd. t. Davon entfielen 21 % auf Biomasse, 31 % auf fossile Energieträger, 46 % auf Minerale und 2 % auf Metalle. Nichtsdestotrotz haben Metalle eine hohe ökonomische Relevanz (Luttner et al. 2016).

Abbildung 3: Rohstoffnutzung in der bayerischen Wirtschaft



Rohstoffnutzung in der bayerischen Wirtschaft

Quelle: Eigene Darstellung nach BIHK 2015: 8

Ein reflektierter Umgang mit Ressourcen bildet nicht nur kurzfristig die Voraussetzung für technische Innovationen und damit auch für ökonomische Erfolge, vielmehr trägt er mittel- und langfristig zur Schonung der Umwelt sowie zur langfristigen Ausrichtung einer funktionierenden bayerischen Gesellschaft bei. Hierzu sind sowohl das Wissen über die gegenwärtigen

Stoffbestände Bayerns als auch die politischen Gestaltungsmöglichkeiten notwendig, um Entscheidungen zu treffen, die auf bestehenden Ansätzen aufbauen und bedarfsgerecht erweitert werden.

### Politischer Umgang mit Ressourcen

Der Umgang – insbesondere bzgl. der Zugriffsrechte – mit natürlichen Ressourcen war schon immer Gegenstand von menschlichen Interaktionen und Aushandlungsprozessen. Über die globalisierten Märkte finden heute Angebot und Nachfrage für bestimmte Güter und Stoffe innerhalb von Sekunden zusammen. Über den Marktpreis wird Knappheit signalisiert und Anreize für die Entwicklung stofflicher Alternativen – [↗Substitute](#) – und die Suche und Inbetriebnahme neuer Lagerstätten sowie die Intensivierung der Sekundärrohstoffproduktion gesetzt. Letztere hat auch den Vorteil, dass in der Regel wesentlich weniger Energie- und Chemikalieneinsatz bei der Produktion, im Vergleich zum Bergbau, notwendig ist. Dadurch wird die Umwelt geschont. Solcher Umwelt- und Ressourcenschutz ist Gegenstand einer Vielzahl von verbindlichen Regelwerken und Abkommen sowie politischer Strategien auf allen politischen Ebenen. Abbildung 4 zeigt ausschnitthaft, dass die Bayerische Ressourcenstrategie Teil der globalen, europäischen und nationalen Rahmenwerke ist und sich somit an übergeordneten Leitlinien wie dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramm orientiert.

Politische Strategien

Abbildung 4: Politische Strategien



Quelle: Eigene Darstellung

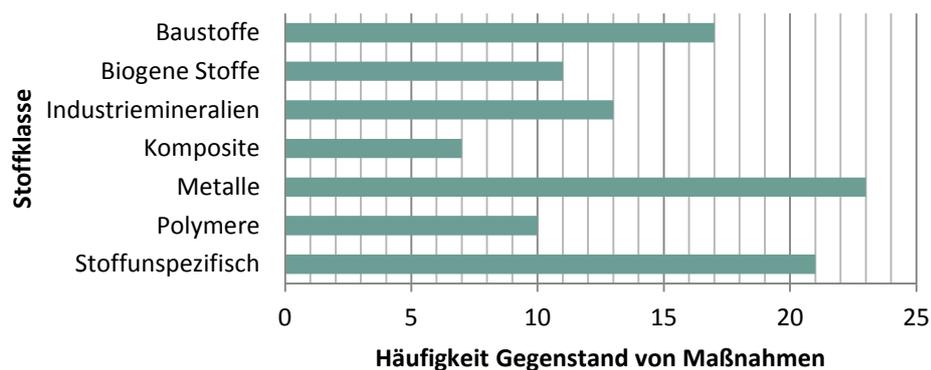
Das Wissen über die Begrenztheit der natürlichen Ressourcen ist in Bayern bereits seit vielen Jahren im politischen Bewusstsein verankert. Dies wurde bspw. in der Publikation *Rohstoffprogramm für Bayern*, die 1978 vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr publiziert wurde, deutlich.

Eine vorausgegangene Analyse im Rahmen des Projektverbundes [↗ForCYCLE](#) (Studie Rohstoffpolitische Strategien der Bundesländer) der Strategien der Bundesländer zeigt, dass vor allem ökonomische Motive, die mit den Begriffen „Arbeitsplatz- und Wohlstandssicherung“ sowie „Preisschwankungen der Rohstoffmärkte“ bezeichnet wurden, Anlass der politischen Bemühungen sind. Sie sollen durch Maßnahmen zur Verbesserung der Energie- und [↗Ressourceneffizienz](#), der Versorgungssicherheit und durch die Erweiterung der Wissensbasis

erreicht werden. Hintergrund sind insbesondere die hohen Rohstoffpreise zwischen 2005 und 2008, die Unternehmen des produzierenden Gewerbes stark belasteten, da der Anteil der Materialkosten im Durchschnitt bei ca. 40 % der Gesamtkostenstruktur liegt (Weber und Oberender 2014). Zudem sorgten die Exportbeschränkungen von China auf Seltenerdelemente 2010 nicht nur für einen erheblichen Preisanstieg, sondern erhöhten das Bewusstsein der Importabhängigkeit.<sup>1</sup>

In Bayern bezogen sich die bisherigen ressourcen- und innovationspolitischen Maßnahmen<sup>2</sup> auf unterschiedliche Stoffklassen. Der Fokus der identifizierten 63 Maßnahmen lag insbesondere auf den Stoffklassen *Metalle* und *Baustoffe* (s. Abbildung 5).

Abbildung 5: Häufigkeit der Stoffklassen in bayerischen Maßnahmen



Quelle: Böckenholt, Christian; Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

Als Ziele der Maßnahmen wurden besonders häufig die Erweiterung der Wissensbasis und ökonomische Ziele wie die Verbesserung der  $\nearrow$ Ressourceneffizienz sowie Wirtschaftsförderung formuliert.

Neben den ökonomischen Zielen, spielt in Bayern insbesondere die strategische Berücksichtigung ökologischer Aspekte eine bedeutende Rolle. Durch Substitution umweltbelastender Stoffe und dem vermehrten Einsatz von  $\nearrow$ Sekundärrohstoffen sollen die planetaren Ressourcen geschont und aktiver Umweltschutz betrieben werden.

Strategische Berücksichtigung ökologischer Aspekte

### 3. Herausforderungen und Kernelemente einer Ressourcenstrategie für Bayern

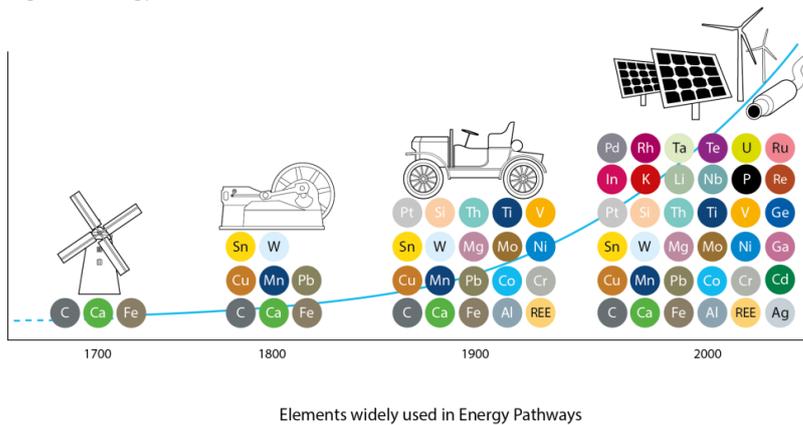
Abbildung 6 zeigt die exponentiell zunehmende Diversität und Mobilisierung von Materialien, v.a. Metalle, innerhalb des letzten Jahrhunderts. Ein stetiger und rasanter Anstieg in der Diversität von Materialien führt dazu, dass zunehmend komplexe Produkte entstehen und Kleinstmengen verschiedenster Stoffe in der Umwelt verteilt werden.

<sup>1</sup> Die Exportbeschränkungen wurden zum Jahresbeginn 2015 von China wieder aufgehoben. Die Exportobergrenze von 31.000 t, die zwischen 2010 und 2014 für Seltenerdelemente galt, wurde nie ausgeschöpft. Trotz der Preissteigerung und den Klagen gegen diese Beschränkung seitens der EU, den USA, Mexiko und Japan, lagen die Exporte immer weit unter der Obergrenze (Nestler 2015).

<sup>2</sup> Siehe Studie *Rohstoff- und innovationspolitische Maßnahmen in Bayern*. Es handelt sich hierbei um Aktivitäten in den Bereichen Wissenschaft, Politik und Wirtschaft zur Förderung eines zukunftsfähigen Umgangs mit Ressourcen.

Abbildung 6: Zunehmende Materialdiversität in der Technikgeschichte

Ages of Energy

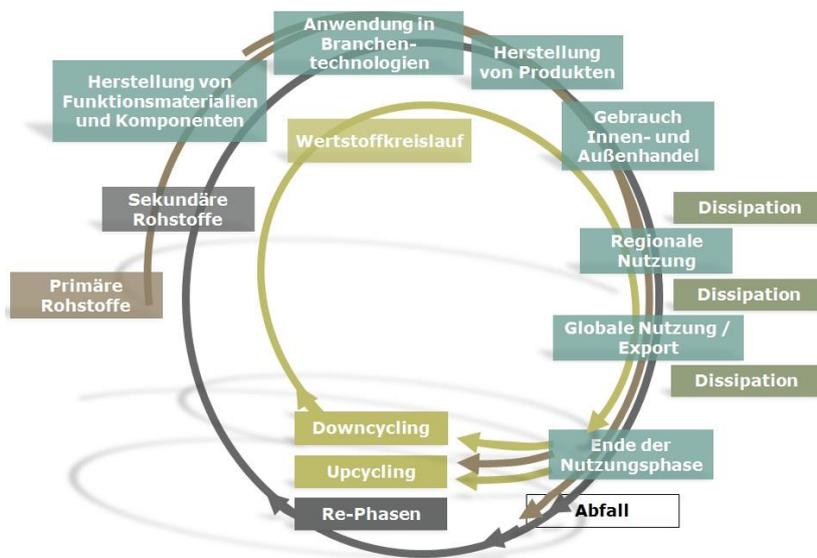


Quelle: Zepf et al. 2014

Um unter diesen Voraussetzungen einen zukunftsweisenden Umgang mit Ressourcen gestalten zu können, bedarf es eines Vorgehens in Teilschritten. Zunächst ist eine Identifikation der Herausforderungen für eine Ressourcenstrategie Bayerns erforderlich, um dann die Kernelemente spezifizieren zu können. Bestehende Strategien wie die Rohstoffinitiative der EU-Kommission berücksichtigen zwar Stoffmengen, aber nicht oder zu wenig deren Funktionen. Eine weitere Ausdifferenzierung und Spezifizierung der Ressourcenfunktionen ist allerdings notwendig, d.h. Kriterien wie Herkunft, Reinheitsgrad, Funktionsform etc. müssen miteinbezogen werden, um eine sinnvolle Ressourcennutzung gewährleisten zu können. Ebenso sind ↗Rebound-Effekte nicht zu vernachlässigen. Denn auch wenn auf eine Entkopplung des Ressourceneinsatzes von der Wertschöpfung abgezielt wird, ist ein kontinuierlicher Anstieg des Ressourcenverbrauchs beobachtbar. Dies gilt es bei der Entwicklung einer Strategie ebenso zu beachten, wie die Rolle der ↗Externalisierung von Kosten für Energieaufwand und Umweltbelastungen am Anfang der ↗Wertschöpfungsketten. Zur Schonung der Umwelt ist zudem die Vermeidung ungewollter ↗Dissipation ein wichtiger Ansatz, um die natürlichen ↗Senken zu bewahren.

Aus umweltpolitischer Perspektive ist eine Trendwende beim Ressourcenverbrauch notwendig. Von zentraler Bedeutung für eine erfolgreiche Umsetzung einer **Rohstoffwende Bayern** ist daher das Kriterium des Erhalts von Wertstoffen im Wertstoffkreislauf und damit der signifikanten Erhöhung des Anteils von Sekundärrohstoffen in der Produktion. Dies geschieht mittels Recycling von Wertstoffen nach ihrer Nutzung und der Rückführung in den Kreislauf und eine daraus folgende kaskadenartige Nutzung von Wertstoffen. Vor dem Hintergrund endlicher Ressourcen ist eine intelligente Kombination von Re-Phasen (Re-Use, Re-manufacturing, Recycling) sowie die Verringerung der ↗Dissipation von Wertstoffen ebenso ein entscheidender Faktor (s. Abbildung 7).

Abbildung 7: Stoffwege



Quelle: Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

Das Beispiel des Elektromobils zeigte, dass immer komplexere Materialverbünde in Umlauf gebracht werden und die Auftrennbarkeit verschiedener Materialverbünde, deren Stoffe in kleinstmengen in einem Produkt verbaut sind, energetisch und ökologisch nicht einfach zu bewerkstelligen ist. Neben dem Umgang mit der **Materialdiversität** gilt es **Schwachstellen und Lücken in den Wertschöpfungsketten** zu identifizieren, um vorbeugend auf drohende Liefer-schwierigkeiten reagieren zu können.

Die Ressourcenstrategie des StMUV besteht aus vier Handlungsfeldern: **W** **R** **E** **S** **S** **E** **N** **E** **F** **F** **I** **Z** **I** **E** **N** **Z** **I** **E** **N** **Z** in der Wirtschaft, Forschung und Entwicklung, Bildung und Bewusstsein für Ressourcenschutz sowie aktive Ressourcenpolitik. Ziele sind die Steigerung der Ressourceneffizienz, eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft, Substitution kritischer und umweltbelastender Stoffe und die Förderung eines bewussten und nachhaltigen Umgangs mit den verfügbaren Ressourcen (StMUV 2016). Durch diese Unterteilung können klare Kompetenzbereiche abgegrenzt und involvierte Akteure identifiziert werden.

Handlungsfelder der Ressourcenstrategie des StMUV

Insgesamt muss für einen zukunftsweisenden und reflektierten Umgang mit Ressourcen dringend das Bewusstsein über die Zusammenhänge von Ressourcennutzung, -verbrauch und Umweltwirkungen gestärkt werden. Diesbezüglich wurden fünf Kernelemente identifiziert, welche die Handlungsfelder der Bayerischen Ressourcenstrategie inhaltlich konkretisieren, die Bausteine hinsichtlich der Förderung eines **ressourcenspezifischen und bedarfsorientierten Recyclings** erweitern und durch Erhöhung von Sekundärrohstoffen im Wertstoffkreislauf zur Umwelt- und Ressourcenschonung beitragen (s. Abbildung 8).

Reflektierter Umgang mit Ressourcen

Abbildung 8: Elemente der Bayerischen Ressourcenstrategie

Kernelemente und Ziele der Bayerischen Ressourcenstrategie



Quelle: Eigene Darstellung

Die **fünf untenstehenden Kernelemente** adressieren die genannten **Herausforderungen** und sind auf der Grundlage der **Förderung des Recyclings** als ressourcenspezifische, handlungsorientierten Erweiterung der **Bausteine** der Bayerischen Ressourcenstrategie zu verstehen:

Zentrale Elemente der Strategie

- (1) **Bewusstsein für ↗Ressourcenkompetenz fördern**
- (2) **Transparenz für eine zukunftsweisende Ressourcennutzung schaffen**
- (3) **↗Ressourceneffizienz und -verfügbarkeit optimieren**
- (4) **Substitution kritischer Ressourcen realisieren**
- (5) **↗Dissipation von ↗Funktionsmaterialien minimieren**

#### (1) **Bewusstsein für Ressourcenkompetenz fördern**

Bewusstsein für Ressourcenkompetenz

Zentraler Ansatzpunkt für eine bayerische Ressourcenstrategie ist die **Verbesserung des öffentlichen Bewusstseins für eine schonende Ressourcennutzung**. Sie ist Grundlage anderer Elemente der Strategie.

Bewusstsein fördern bedeutet, Öffentlichkeit und Wirtschaft für Ressourcenschonung und -schutz zu sensibilisieren. Dabei geht es darum, den menschlichen Ressourcenverbrauch und dessen Auswirkungen auf die Umwelt zu verstehen und zu berücksichtigen, um klug mit den verfügbaren Stoffen umzugehen (Exner et al. 2016). Welchen Lebensstil verfolgen wir? Wieviel konsumieren wir wovon? Welche Funktionen nutzen wir? Sozial und kulturell geprägte Lebensstile, Konsumverhalten und gesellschaftlich geprägte Wertvorstellungen bestimmen das Ausmaß und die Intensität der Ressourcennutzung sowie die Reintegration nach der Nutzungsphase und bestimmen die daran anknüpfenden Herausforderungen. Verhaltensanpassungen hin zu einem umwelt- und ressourcenschonenderen Konsum, benötigen entsprechende alternative Konsum- und Verhaltensangebote.

Die Bewusstseinschaffung über kulturübergreifende Zusammenhänge hat eine hohe Bedeutung, denn die Ressourcen, die der Mensch täglich konsumiert und die ihn mitprägen, sind das Ergebnis internationaler und kulturräumlicher Entwicklungen sowie globaler Arbeitsteilung. Themen wie Kinderarbeit, Arbeits- oder Umweltschutz werden in anderen Regionen der Welt unterschiedlich geregelt. Bei der Einführung von höheren Umwelt- und Sozialstandards gilt es bspw. zu beachten, dass diese keine negativen sozio-ökonomischen Effekte auslösen. Zwar sind politische Entscheidungen stets auch mit der Schlechterstellung von Individuen verbunden, nichtsdestotrotz können sie adaptiv gestaltet werden, sodass Nachbesserungen beim Eintreten unerwünschter Effekte möglich sind.

**Beispiel Metallgewinnung:** Der Abbau und die Aufbereitung von Gold verursachen über 40 % der weltweiten Quecksilberemissionen. Umweltverschmutzung, Energieaufwand und soziale Kosten werden teilweise ↗externalisiert, d.h. in die Produzentenregion verlagert. Dies ist umso tragischer, als dort Umwelt- und Sozialstandards meist unzureichend sind. Die Zertifizierungsinitiative für die „Konfliktmineralien“ Gold, Wolfram, Zinn und Tantal in der Region der Großen Seen durch den ↗Dodd-Frank Act führte zu einer Verbesserung der Lebens- und Arbeitsbedingungen. Allerdings kam es durch die Herkunftsnachweise zu verstärktem Schmuggel, insbesondere von Gold, in die Nachbarstaaten der Demokratischen Republik Kongo sowie zu Exportrückgängen, die zu einer Verschlechterung der regionalen Erwerbsmöglichkeiten führte (Manhart und Schleicher 2013).

Beispiel Metallgewinnung

Das Wissen über solche Kontexte hilft, den eigenen Ressourcenkonsum kritisch zu reflektieren und gegebenenfalls anzupassen. Bei der individuellen Entscheidungsfindung ist der damit einhergehende Nutzen zentral. Sind nicht nur der Preis, sondern die umweltbedingten und sozialen Kosten eines Produktes transparent, unterstützt dies den nachhaltigen Ressourcenkonsum. Um umweltbedingte und soziale Kosten bewerten zu können, bedarf es zunächst einer grundlegenden ↗Ressourcenkompetenz und eines Wissens über die komplexen Zusammenhänge unserer globalisierten, vernetzten Welt. Zur Bewusstseinsbildung und einer Überbrückung der bekannten Kluft zwischen Wissen und Handeln dienen Maßnahmen in Form von z.B. Ausstellungen wie die Ressourceneffizienz-Ausstellung der bayerischen Industrie- und Handelskammern (IHKs).

Überwindung der Kluft zwischen Wissen und Handeln

Bewusstsein und **Kritikfähigkeit** sollen durch verstärkte Informationspolitik und Aufklärung zu einem nachhaltigen und verantwortlichen Konsumverhalten und einer entsprechenden Produktionsweise führen. Durch Module für Bildung und Bewusstsein auf allen Bildungsebenen, v.a. bei der Erwachsenenbildung, berufsbegleitender und politischen Bildung soll ein Bewusstsein für Ressourcenschonung geschaffen werden. Zur konsequenten Vermittlung von ressourcenrelevanten Zusammenhängen bietet sich das Konzept der ↗Stoffgeschichten (Huppenbauer und Reller 1996; Bösch et al. 2004; Marschall et al. 2013) als geeignetes Instrument an.

## (2) Transparenz für eine zukunftsweisende Ressourcennutzung schaffen

Eine Erhöhung der Transparenz ist für die gesamten ↗Wertschöpfungsketten von Konsumgütern notwendig. Dabei soll offengelegt werden, wer an Lieferketten beteiligt ist und welche Stoffe in welcher Weise verarbeitet werden und woher diese stammen. Das ist eine Grundvoraussetzung für ein effizientes Recycling und effektive ↗Kaskadennutzung mittels Zusammenführung gleicher Stoffverbände (Held und Reller 2016). Die einzelnen Schritte der Wert-

Transparenz für eine zukunftsweisende Ressourcennutzung

schöpfungsketten der meisten Güter wie z.B. Mobiltelefone sind auf der globalen Ebene verortet. D.h. vielmals sind Wertschöpfungsketten kulturraumüberschreitend.

**Beispiel Lieferengpässe:** Ein Erdbeben in Japan führte ab April 2016 zu Lieferverzögerungen bei Mercedes-Benz und BMW. Das Erdbeben sorgte für einen Brand bei einem Halbleiterhersteller, der Komponenten für das Head-up-Display (HUD) bei Mercedes und das Navigationsgerät von BMW liefert. Durch den Ausfall dieses Zulieferers kam es zu Auslieferverzögerungen von mehreren Monaten bei den Automobilherstellern (Tajitsu und Yamazaki 2016).

Transparenz in Zulieferstrukturen ermöglichen das frühzeitige Erkennen und Reagieren auf kritische Versorgungslagen sowie die Vermeidung von menschenrechtswidrigen Arbeitsbedingungen bspw. in der Textilindustrie. Ebenso gilt es Zulieferstrukturen und Zulieferkonzentrationen offenzulegen und damit Abhängigkeiten bzw. Lieferengpässe zu erkennen und zu vermeiden (vgl. Waltz et al. 2016).

Mit stoffgeschichtlichen Studien und [Kritikalitätsanalysen](#) lassen sich die stofflichen Zusammensetzungen von Halbprodukten und Produkten bestimmen. Dadurch können unerwünschte soziale Effekte wie die Finanzierung bewaffneter Konflikte durch den Rohstoffhandel vermieden werden. Dies bewahrt Unternehmen vor öffentlicher Kritik und möglichen Reputationsverlusten.

Aber auch bei der Produkttransparenz herrscht noch Handlungsbedarf. So zeigt eine Umfrage in allen EU-Ländern mit über 25.000 Befragten im Auftrag der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2013, dass ein Bewusstsein über die positiven Umweltwirkungen von umweltfreundlichen Produkten weit verbreitet ist, gleichzeitig wird jedoch ein Mangel an Vertrauen in Unternehmen bezüglich der realen Umweltfreundlichkeit der Produkte festgestellt. Erhebliches Potential besteht zudem bei der Steigerung der Verfügbarkeit und Sichtbarkeit umweltfreundlicher Produkte. Ebenso wurden verbindliche Informationen zur Produktlebensdauer gewünscht (TNS Political & Social 2013).

### (3) Ressourceneffizienz und -verfügbarkeit optimieren

Ressourceneffizienz und -verfügbarkeit optimieren

Für einen zukunftsweisenden Einsatz von Ressourcen ist ihre Kaskadennutzung zentral. Durch Mehrfachnutzung eines Stoffes oder Produktes wird ein möglichst langer Verbleib im Stoffkreislauf gewährleistet, was durch eine [modularisierte Produktgestaltung](#) erleichtert wird. Dadurch steigt die [Ressourcenproduktivität](#), denn es werden weniger [Primärrohstoffe](#) benötigt. Dies leistet einen positiven Beitrag zum Klimaschutz, denn die Gewinnung und Aufbereitung von Metallerzen ist bspw. für 7 bis 8 % des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich (Norgate und Jahanshahi 2010). Aufgrund des wesentlich geringeren Energieaufwands ist das Recycling vieler Stoffe umweltschonender als der primäre Bergbau. In Einzelfällen wie bei der Rückgewinnung von Indium aus Displays kann der Prozess aufwendiger sein als die Primärgewinnung. Zur Verbesserung des Recyclings ist die Optimierung der Koordination von Stoffflüssen entscheidend. Gelingt dies, können qualitativ hochwertige Rezyklate hergestellt werden, die preislich mit den Primärrohstoffen konkurrieren können.

Paradebeispiele für Kaskadennutzung

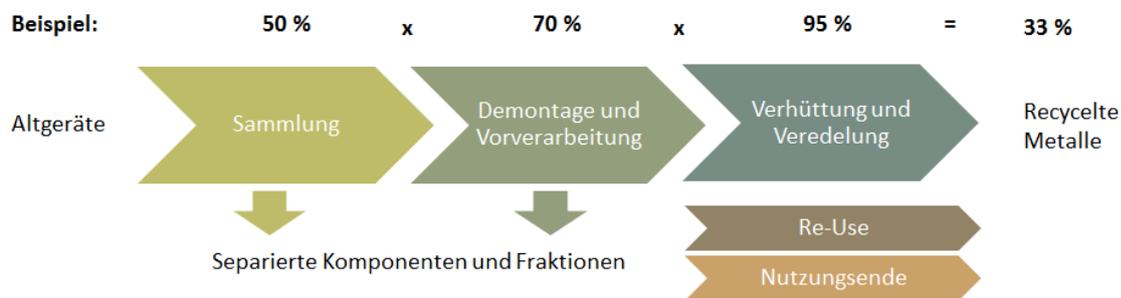
Als Beispiel für eine **Kaskade** mit großem Zukunftspotential ist Aluminium zu nennen. Dieser Stoff kann endlos recycelt werden. Zur Erzeugung von Primäraluminium braucht es gut achtmal mehr Energie als bei der Produktion von Sekundäraluminium durch Umschmelzen. Zudem werden beim Recycling im Vergleich zum Bergbau von Aluminium gut 90 % weniger CO<sub>2</sub>-

Emissionen emittiert. Aber die Kaskadennutzung geht über einfaches Recycling hinaus, denn sie bedeutet Mehrfachnutzung (Förtsch und Meinholz 2015).

Das Paradebeispiel für Kaskadennutzung ist **Holz**, das als Altholz in Deutschland in verschiedene Qualitätskategorien eingeteilt wird. Diese Qualitätsangabe erleichtert Mehrfachnutzung und macht diese attraktiver (Höglmeier et al. 2016).

Für die Bündelung von Stoffströmen ist es wichtig, dass verarbeitete Stoffe nach der Nutzungsphase von Gerätschaften den richtigen Strömen zugeführt werden. **Elektroschrott** ist beispielsweise zu einer wichtigen Ressourcenquelle geworden. Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG, letzte Neufassung Oktober 2015) regelt in Deutschland die Entsorgung von Elektroaltgeräten, als Umsetzung der EU-Richtlinie von 2012/19/EU WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipment, dt.: Elektro- und Elektronikgeräteabfall). Dennoch werden in Europa nur 35 % des Elektroschrotts fachgerecht recycelt (Huisman et al. 2015). Ca. 1,5 Mio. t werden teilweise illegal exportiert und landen auf Deponien in Afrika oder anderenorts. Ziel für Bayern sollte es sein, das kontrollierte Recycling von Elektrogeräten zu erhöhen und dadurch möglichst viele Wertstoffe zurückzugewinnen. Das bedeutet aber auch die Notwendigkeit einer möglichst effizienten Sammellogistik (s. Abbildung 9). Bei den Massentstoffen wie Stahl liegt der Anteil von recyceltem Material in der industriellen Fertigung bereits bei über 40 %. Bei anderen Metallen wie bspw. den Seltenerdelementen liegen die Recyclingraten unter einem Prozent. Häufig ist der Recyclinganteil bei Stoffen für Zukunftstechnologien noch nicht bekannt.

Abbildung 9: Verwertungskette von Elektroaltgeräten



Quelle: Eigene Darstellung nach Hagelüken et al. 2016

Für die Optimierung der Ressourcennutzung ist die Erschließung neuer sekundärer Rohstoffquellen und die Verfügbarmachung  $\nearrow$ anthropogener Lagerstätten (Urban Mining) ein zentrales Thema. Wertvolle deponierte bzw. installierte Stoffe können so rückgeführt werden. Langfristig könnte das Mining von Deponien vielversprechend sein (Schiller et al. 2015). Diese sind hinsichtlich ihres Umfangs allerdings begrenzt. Gleichzeitig besteht bisher meist zu wenig Wissen darüber, welche Stoffe in welchen Mengen und Gemischen vorliegen. Zudem können dort auch Schadstoffe angereichert sein, die gegen einen Abbau sprechen.

Erschließung neuer sekundärer Rohstoffquellen

Auch bei der Nutzung von regionalen Ressourcen, insbesondere von Holz, erweist sich die kaskadenartige Nutzung als erfolgreich, indem dieser Wertstoff nicht nur als Brennstoff, sondern in mehreren Funktionen (z.B. als Baustoff) eingesetzt wird. In Zukunft sollten weitere vielversprechende Nutzungspotenziale für solche biogenen Ressourcen erschlossen werden. Im Rahmen der Bioökonomie gibt es in Bayern hierzu bereits einige Forschungsaktivitäten.

Kritische Stoffe:  
versorgungskri-  
tisch, umweltbe-  
lastend, sozial-  
unverträglich

#### (4) Substitution kritischer Ressourcen realisieren

Die Entwicklung von Kompetenzen zur **Entkopplung der Abhängigkeit von strategischen Materialien mittels Substitution** ist ein maßgeblicher Schritt auf dem Weg zu einer robusten Versorgung mit Ressourcen. Wissenschaftliche Einrichtungen wie das Fraunhofer IWKS oder das Fraunhofer UMSICHT stellen treibende Kräfte in Bayern dar, welche ↗**Substitute** für kritische ↗**Funktionsmaterialien** erforschen und eine Risikoabschätzung erstellen.

Eine Substitution kritischer Stoffe kann insbesondere auch mit der Förderung des Einsatzes und der Erforschung nachwachsender Rohstoffe (Biomasse) erfolgen.

Für spezifische Materialien wie beispielsweise die als Magnete genutzten Seltenerdmetalle Dysprosium und Neodym müssen Schwachstellen in ↗**Wertschöpfungsketten** identifiziert und kurzfristig durch ein effektives Recyclingkonzept, das ungewollte ↗**Dissipation** in einem geschlossenen Kreislauf verhindert, behoben werden. Langfristig muss Knappheit bei steigender globaler Nachfrage ggf. durch Substitutionsforschung behoben werden.

Substitution kann an verschiedenen Stellen von Produktionsketten erforderlich sein: bei der Bereitstellung von Ausgangsmaterialien/ -stoffen, bei den verwendeten Betriebs- oder Begleitstoffen, aber auch bei den eingesetzten Verfahren. So lassen sich umweltgefährdende Stoffe wie z.B. Blei oder Quecksilber oder auch Materialverbände ersetzen. Es zeigt sich, dass Materialien mit hochspezifischen Funktionen wie z.B. Indium (unabdingbarer Bestandteil von Indiumzinnoxid, einem elektrisch leitfähigen transparenten Glas) schwieriger zu substituieren sind, als solche mit „klassischen“ wie z.B. mechanischen Eigenschaften.

Beispiele erfolgreicher Substitution

#### Beispiele erfolgreicher Substitution

**FCKW:** Nach dem Nachweis über die negativen Auswirkungen von FCKW auf die Ozonschicht wurde das Kühlmittel gesetzlich verboten, was zu erfolgreichen Substitutionen durch Ersatzstoffe wie R 123 und R 124 führte (Bösch 2000).

**Quecksilber:** Aufgrund der bekannten hohen Giftigkeit von Quecksilber wurde der Stoff weitgehend substituiert. Allerdings wird er nach wie vor im ↗**Kleinbergbau** von bspw. Gold eingesetzt.

Minimieren von  
Dissipation

#### (5) Dissipation von Funktionsmaterialien minimieren

Materialien werden in höchst unterschiedlichen Anwendungsformen technisch genutzt. Liegen Kleinstmengen vor, ist eine ungewollte und unkontrollierte Verteilung in Luft und Wasser häufig. Dadurch gehen Ressourcen verloren. In der modernen Technik werden ↗**Funktionsmaterialien** in ganz unterschiedlichen Formen und Ausdehnungen eingesetzt. Dissipierte Stoffe kann man aufgrund ihrer mikroskopischen Dimension kaum oder nur mit erheblichen Aufwand zurückgewinnen; sie gehen aufgrund ihrer Nutzungsart verloren. Die ↗**Bioaktivität** dieser Stoffe in Kleinstmengen ist meist unbekannt. Die Konsequenzen dissipierter Stoffe sind bisher noch wenig erforscht. Aufgrund dieser Unsicherheiten ist es im Sinne des Vorsorgeprinzips geboten, die Mobilität von Stoffen bzw. Ressourcen, also deren Feinverteilung in der Umwelt, aufzuzeigen, zu kontrollieren und zu verringern. Durch das möglichst weitgehende Schließen von Stoffkreisläufen könnte die ungewollte Dissipation weitestgehend reduziert werden. In vielen Fällen lässt sich aber Dissipation aufgrund der Nutzungsarten nicht verhindern.

**Beispiel reaktiver Stickstoff:** Aufgrund unterschiedlicher Nutzungsarten, v.a. bei der Düngung wird reaktiver Stickstoff ins Grund- und Trinkwasser eingetragen. Da sich bereits große Mengen von Nitrat im Umlauf befinden, herrscht bei diesem Stoff keine Knappheit, sondern Überfluss, den es zu balancieren gilt (Ertl und Soentgen 2015).

**Beispiel Titandioxid:** Dieser Stoff befindet sich in Alltagsprodukten wie Zahnpasta, Sonnencreme und Wandfarbe. Zudem wird es auch als Nanoteilchen verwendet und so großflächig in der Umwelt verteilt. Nanoteilchen sind so klein, dass sie in menschliche Zellen eindringen können. Welche Effekte sie haben können, ist bisher kaum erforscht.

**Beispiel Mikroplastik:** Hierbei handelt es sich um Kunststoffpartikel, deren Größe kleiner als fünf Millimeter ist. Mikroplastik wird teilweise für Kosmetika bereits in dieser Größe hergestellt, oder entsteht durch Abrieb von Textilien oder Autoreifen. Die negativen Auswirkungen durch Abfälle in der Meeres- und Küstenumwelt sind bereits bei über 600 Arten von Lebewesen bekannt (Essel et al. 2015).

Aufgrund möglicher Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen von dissipierten Stoffen, besonders auch im Nanobereich, besteht hoher Bedarf an der Erforschung der [Bioaktivität](#) von Nanomaterialien.

#### **4. Die Kernelemente der Bayerischen Ressourcenstrategie als Wegweiser für einen zukunftsorientierten und innovativen Umgang mit Ressourcen**

Der Freistaat Bayern kann bereits auf ein breites Instrumentarium und Wissen im Umgang mit Ressourcen bauen. Es gilt zu prüfen, ob die laufenden Maßnahmen ausreichen, um die gegebenen und sich abzeichnenden Herausforderungen zu bewältigen. Hierzu wurden bereits Handlungsfelder identifiziert, bei denen auf Landesebene angesetzt werden kann. Die genannten Kernelemente der Ressourcenstrategie für Bayern im vorliegenden Bericht konkretisieren diese und stellen Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Strategie dar. Sie greifen ineinander und stehen in Austausch- und Wechselwirkungsprozessen. Bereits erfolgreich implementierte Maßnahmen können gestärkt werden; mit weiterführenden Maßnahmen können verbleibende Lücken geschlossen werden.

Die folgende Bestandsaufnahme der rohstoffpolitischen Aktivitäten zeigt bestehenden Handlungsbedarf entlang der fünf Kernelemente auf. Zu den jeweiligen Kernelementen werden entsprechende Lösungsansätze vorgeschlagen.

**(1) *Bewusstsein für Ressourcenkompetenz fördern:*** Eine zentrale Bedeutung im Umgang mit Ressourcen nimmt die Förderung des Bewusstseins über Zusammenhänge ein. Die individuelle Ressourcenkompetenz – das Wissen um die Risiken und Potentiale der Nutzung primärer und [sekundärer Rohstoffe](#) – muss Teil der Produzenten- und Konsumentenverantwortung werden und in entsprechender Weise mittels Medien, Regulierungen und Bildungsmodulen allen Bürgerinnen und Bürgern Bayerns verständlich und nachvollziehbar vermittelt werden. Mit Projekten wie dem Schulwettbewerb „Ressourcenkönige – ein Königreich für Wertstoffe“ des StMUV werden Schülerinnen und Schüler in Bayern für den Ressourcenschutz sensibilisiert. Auch die Ausstellung ‚Rohstoffmine Stadt‘ im Rahmen der Landesgartenschau 2016 in Bay-

reuth greift die Thematik auf und trägt beispielhaft zur Förderung von Bildung und Bewusstsein für Ressourcenschutz bei.

Reflektierten Umgang mit Ressourcen fördern

Bei vielen Akteuren entlang der ↗**Wertschöpfungskette**, unabhängig ob Konsumenten oder Unternehmen, besteht noch eine Wissenslücke über die ökologischen und sozialen Effekte, die mit dem alltäglichen Ressourcenkonsum zusammenhängen. Darüber hinaus kann eine offene Kommunikationskultur über Risiken und mögliche Folgen verwendeter Stoffe auf Umwelt und Verbraucher gestärkt werden. Hier gilt es neue Formen des Umgangs mit Unsicherheiten und Wissenslücken zu erarbeiten, die einen reflektierten Umgang mit Ressourcen fördern.

Bildung und Bewusstsein für Ressourcenschutz schaffen

## Themenbereich: Bildung und Bewusstsein für Ressourcenschutz

### Lösungsansatz

Eine Ressourcenstrategie darf nicht nur technisch oder ökonomisch motiviert sein. Sie hat auch eine kulturelle Dimension, wie an Filmen, Erzählungen und Kunstwerken deutlich wird, die moderne Produkte oder Stoffwege kritisch thematisieren. Solche kulturelle Dimensionen erweitern den Horizont ressourcenbezogenen Denkens und Handelns und zugleich die allgemeine Auseinandersetzung mit ressourcenstrategischen Themen in der Gesellschaft. Sie sind daher gezielt durch Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)<sup>3</sup> zu fördern.

In Analogie zur ↗**Energiewende** soll die Rohstoffwende für Bayern als gleichermaßen relevantes gesellschaftspolitisches Ziel betrachtet werden. Durch die offene, narrative Darstellung können durch Ansätze wie dem Konzept der ↗**Stoffgeschichten** die entscheidenden Zusammenhänge zwischen Ressourcennutzung und Lebensstil und damit auch Ge- und Verbrauch von Konsumgütern, insbesondere in der Erwachsenenbildung, verständlich kommuniziert werden. Generell gilt es, in den primären, sekundären und tertiären Bildungsstufen die Ressourcenproblematik angemessen in die Bildungspläne einzubauen.

Künftig ist es entscheidend, Ressourcenexperten auszubilden, die das Potential von Maßnahmen zur Ressourcenschonung verstehen, vermitteln und kommunizieren können. Damit lässt sich der Übergang vom Wissen zum Handeln in allen Bereichen erfolgreich gestalten.

### Nutzen

- Aufdeckung der komplexen Nebenfolgen des Ressourcenkonsums
- Sensibilisierung für Handlungsfolgen
- Bewusstseinsbildung für Ressourcenschutz
- Förderung von Kritikfähigkeit und Entscheidungskompetenz der Verbraucher/Konsumenten durch stetige Erweiterung der Wissensbasis (siehe auch Themenfeld Forschung und Entwicklung stärken)
- Integration in Bildungskonzepte in allen Bildungssektoren

### Empfehlung

Für das Gelingen der Rohstoffwende muss das Thema Bildung und Bewusstsein für Ressourcenschutz durch Maßnahmen wie „Ressourcenkönige – ein Königreich für Rohstoffe“ in den Lehrplänen aller Bildungssektoren integriert werden. Darüber hinaus soll ein Online-Lehrmodul als Entscheidungsbasis für die Konsumentinnen und Konsumenten entwickelt

<sup>3</sup> Bildung für nachhaltige Entwicklung ist als Forschungsfeld seit 1995 etabliert und wird stetig weiterentwickelt (Schmidt 2013, 2015).

werden, in dem die Konsequenzen spezifischer Handlungsoptionen wie bspw. der [ökologische Fußabdruck](#) aufgezeigt werden. Dies könnte den bereits bestehenden Bereich „Verbraucherbildung Bayern“ erweitern. Ziel Bayerns sollte es weiterhin sein, sich beim nationalen Projekt BilRes verstärkt einzubringen, um überregionale Kompetenzen zu nutzen.

**➤Ressourcenkompetenz in der Wirtschaft:** Für wirtschaftliche Akteure sollte ein innerbetriebliches Bildungsmodul implementiert werden, das die Kompetenz der Unternehmen verbessert, bewusst mit Ressourcen umzugehen und entsprechende bereits bestehende Umweltmanagementsysteme wie EMAS oder ISO 14001 zu nutzen. Das Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern (REZ) oder die bayerischen IHKs könnten solche Schulungen durchführen. An der bayerischen IHK Mittelfranken gab es bereits das Projekt der „Energiescouts“, bei dem Auszubildende ein Verständnis über den Weg von Energie, von der Erzeugung bis zum Verbrauch sowie zu Energieeffizienz erwarben und durch gegenseitigen Austausch vertieften (Escher 2015). Dieses Projekt sollte allgemein auf „Ressourcenscouts“ erweitert werden. Erste Ansätze werden bspw. mit Fördermittelschulungen erfolgreich umgesetzt.

### Themenbereich: Wissensbasis ausbauen und Forschung und Entwicklung stärken

#### Lösungsansatz

Das Konzept der Ressourcenstrategie lässt sich nicht allein aus einer naturwissenschaftlich-technischen Sichtweise bearbeiten und weiterentwickeln. Vielmehr erfordern die globalen Dimensionen der Thematik u.a. historische, geographische aber auch gesellschaftspolitische und soziokulturelle Betrachtungsebenen. Die Weiterentwicklung dieser disziplinübergreifenden Forschungsaktivitäten ist dann die Grundlagen für konkrete Entwicklungen und dem entscheidenden Schritt vom Wissen zum Handeln.

Für eine zukunftsfähige Ressourcennutzung ist es unabdingbar, auf die ständig im Fluß befindlichen wirtschaftlichen, politischen und sozio-kulturellen Entwicklungen sowie auf die entsprechend eintretenden Effekte reagieren zu können. Dies erfordert die Entwicklung einer Wissensbasis und daraufhin die Erstellung von Zukunftsszenarien, d.h. von vorteilhafteren Lösungswegen. Nach Abwägung der Chancen und Risiken können Handlungsempfehlungen gegeben werden. „Um die Nutzungskontexte dauerhaft steuern zu können, ist eine stetige Ressourcenforschung notwendig.“ (Reller et al. 2016: 398)

Praktisch bedeutet dies eine Intensivierung der Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen und die Förderung interdisziplinärer Forschungsprojekte und Forschungsverbundvorhaben wie [ForCYCLE](#) oder [BayBiotech](#).

Abbildung 10: Aktive Ressourcenforschung



Quelle: ForCYCLE, Universität Augsburg

Besondere Bedeutung soll der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses geschenkt werden. Mit Graduiertenkollegs wie das im Jahr 2012 initiierte „Ressourcenstrategische

Forschung und  
Entwicklung stärken

Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“ und sachspezifisch konzipierten, internationalen Austauschprogrammen, sollen die individuellen Kompetenzen gefördert werden. Durch diese Art von Austausch erwachsen Innovationspotenziale und fachübergreifende Synergien. Mit einer solchen fächerübergreifenden Ressourcenbildung, die bislang zu kurz kommt, kann Bayern Vorreiter in Sachen Ressourcenkompetenz werden.

#### Nutzen

- Konzeptionelle und strategische Wissensgrundlage für die Struktur, mit der ↗**Stoffgeschichten** konstruiert, Kritikalitätsanalysen durchgeführt und der Prozess vom Wissen zum Handeln initiiert werden kann
- Internationalisierung zur Bearbeitung globaler Herausforderungen
- Transdisziplinäre Forschung ermöglicht „Blick über den Tellerrand“ und fördert die Berücksichtigung von unbeabsichtigten Nebenfolgen und ↗**Rebound-Effekten**
- Ermittlung von Risiken und Potenzialen für weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf
- Förderung des Forschungs- und Innovationsstandorts Bayern

#### Empfehlungen

Insgesamt besteht hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Bereich der Ressourcenforschung. Die genannten Vorhaben – Forschungsverbünde, Graduiertenkollegs etc. – sollen proaktiv angeboten werden. Eine Internationalisierung sollte angestrebt werden, um der globalen Dimension der Thematik gerecht zu werden.

Zukunftsweisende Ressourcennutzung durch Förderung von Transparenz

**(2) Transparenz für eine zukunftsweisende Ressourcennutzung schaffen:** Für den Erfolg der Bayerischen Ressourcenstrategie ist es wichtig, detaillierte Kenntnisse über die globalen Lieferketten zu erhalten. Hier besteht noch erheblicher Handlungsbedarf, auch wenn die dazu nötigen Stellschrauben wesentlich im europäischen und nationalen Recht verortet sind.

Der Aspekt der ↗**Externalisierung** von Kosten sollte in Form von negativen Sozial- und Umweltauswirkungen nicht unberücksichtigt bleiben. Da wenige Länder ähnlich hohe Umweltauflagen wie Deutschland haben, werden in anderen Ländern bspw. ↗**Prozesswasser**, das beim Abbau oder der Verarbeitung von ↗**Primärrohstoffen** notwendig ist, nicht aufbereitet. Gleiches gilt für die Renaturierung von Abbaugebieten. Dadurch werden verschmutzte Böden unbrauchbar für weitere Nutzungen.

#### Beispiel Umweltverschmutzung

Im Oktober 2010 brach im ungarischen Dorf Kolontár ein Rückhaltebecken für Rotschlamm einer Aluminiumhütte. Der giftige Schlamm erreichte im Dorf eine Höhe von bis zu zwei Metern. Zehn Menschen starben und etwa 150 wurden verletzt. Die giftigen Wässer gelangten über Bäche und kleinere Zuflüsse in die Donau und führten zu Fischsterben (Geets 2015).

Lokaler und globaler Ressourcenschutz notwendig

Gefordert sind nicht nur der lokale, sondern auch der globale Ressourcenschutz im Rahmen der eigenen Verantwortung und Kritikfähigkeit, denn viele Stoffe werden im Ausland abgebaut und häufig auch im Ausland zu Produkten und Gütern, die wir alltäglich nutzen, verarbeitet. Durch die räumliche Trennung von Produzenten und Konsumenten sind direkte negative Sozial- und Umweltwirkungen für die Konsumenten häufig nicht sichtbar. Die Qualitätsbeeinträchtigung der Umweltmedien Luft, Wasser und Boden in anderen Teilen der Welt hat durch die Beeinträchtigung der ↗**Senkenfunktion** der Umweltmedien – der Fähigkeit Schadstoffe zu

binden – langfristig negative Wirkungen auf alle Menschen, somit auch auf die bayerische Bevölkerung (vgl. SRU 2005).

Des Weiteren können Schwachstellen im globalisierten Zuliefernetzwerk durch die prozess- und funktionsbezogene Betrachtung von Stoffströmen auf ihrem Weg vom Bergbau bis zur Nachnutzungsphase von bayerischen Unternehmen identifiziert werden. Dadurch kann frühzeitiger auf drohende Lieferengpässe reagiert und aktiv eine Diversifizierung der Zulieferer betrieben werden.

Für KMUs stellt das Informationszentrum UmweltWirtschaft (IZU) des Bayerischen Landesamts für Umwelt bereits einen Überblick zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement bereit. Aufgrund der neuen CSR-Richtlinie der Bundesregierung und der daraus entstandenen Berichtspflicht für Kapitalgesellschaften mit mehr als 500 Mitarbeitern sowie Verbänden, steigt die Relevanz der Betrachtung von Wertschöpfungsketten aufgrund der rechtlichen Vorgaben (LfU 2017).

### Themenbereich: Steigerung der Produkttransparenz

#### Lösungsansatz

Halbprodukte und Produkte sind meist nur begrenzt hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung durchschaubar. Woher die Materialien kommen, aus denen sie gefertigt sind, ist nicht selten unklar. Oft fehlt es an Informationen über die Abbaubedingungen von Ressourcen, insbesondere bei der Metallgewinnung (vgl. Zepf 2013). Auf Bundesebene wird im Rahmen des Integrierten Umweltprogramms 2030 bereits das Konzept des „zweiten Preisschildes“, das die Umweltwirkungen besonders umweltrelevanter Produkte und Dienstleistungen darstellt, vom BMUB diskutiert (BMUB 2016a). Als Lösungsansatz zur Steigerung der Produkttransparenz wird als Instrument ein **Produktepass** vorgeschlagen. Im Bereich der IPP und Ressourceneffizienz im [Umweltpakt Bayern](#) wurde als Maßnahme die Bereitstellung eines Management-Tools für die Lieferkette ([BOMcheck = bill of material-check](#)) vorgeschlagen, welche als globale elektronische Datenbank fungiert und für die Elektro- und Elektronikindustrie eingesetzt wird (Umweltpakt Bayern 2015). Als Erweiterung kann eine Art Produktepass auch für andere Industriezweige gelten, mit dessen Hilfe Herkunft, Herstellungsweisen und Inhaltsstoffe erfasst werden. In diesem werden Informationen über die stoffliche Zusammensetzung und den [modularen Aufbau](#) von Produkten vermittelt. Entsprechend kann auch mit Halbzeugen verfahren werden, indem mittels elektronisch gestützter Datenbanken Wiederverwertungspotentiale aufgezeigt werden.

Das langfristige Ziel der Sammlung derart produkt- und stoffspezifischer Informationen und deren Dokumentation in einem Produktepass ist die Etablierung eines umfassenden Wissensarchivs; ein unerlässliches Tool für Entscheidungsträger, die konkrete Angaben über Qualitäten, Quantitäten, Risiko- sowie Innovationspotentiale genutzter und zu nutzender Ressourcen benötigen.

Stoffliche Zusammensetzungen werden von Unternehmen allerdings nicht freiwillig veröffentlicht, da dies als Wettbewerbsnachteil bewertet wird. Für eine funktionierende Stoffkreislaufwirtschaft ist es jedoch entscheidend, diese Informationen in der Nachnutzungsphase für die Verwerter verfügbar zu machen. Ein Lösungsansatz in diesem Dilemma könnte die verschlüsselte Weitergabe von wettbewerbssensiblen Daten sein.

**Beispiel Automotive-Bereich:** Hier werden derartige Ansätze bereits verfolgt, indem 9 große Automobilhersteller, u.a. Audi und BMW, ihre verbauten Stoffkomponenten und verwendeten Werkstoffe in Form von Materialblättern in einer Materialdatenbank (IMDS) hinterlegen (Kerkow et al. 2012).

Die Beispiele in Abbildung 11 zeigen Ausgestaltungsmöglichkeiten für das Instrument Produktpass. Wird dies für alle Komponenten eines Automobils umgesetzt, ergibt sich eine umfassende Wissensbasis über Wiederwendungsmöglichkeiten der Komponenten.

Abbildung 11: Produktpässe für das ‚Elektromobil‘ und die ‚Lithium-Ionen-Batterie‘

**Produktbezeichnung:** Elektromobil XY  
**Verarbeitete Module:** Karosserie, Verglasung, Räder, Reifen, Motor, Scheinwerfer, Scheibenwischer, Batterie, Auspuff, Katalysator, Bremsen, Sitze, Armaturen, Airbags, etc.

**Modulbezeichnung:** Lithium-Ionen-Batterie XY  
**Funktion(en):** Energiespeicher, etc.  
**Verarbeitete Stoffe:** Kohlenstoff (Graphit), Lithium, Nickel, Kobaltoxid oder Eisenphosphat, etc.  
**Herkunft der verarbeiteten Stoffe:** Bsp. Lithium: Chile (Bergwerkxy), Nickel: Philippinen und Indonesien (Bergwerke xy)  
**Verarbeitende Unternehmen:** Raffinerie xy; Unternehmen xy  
**Wiederverwendungsmöglichkeiten:** Neu laden und Einbau in Gebrauchtfahrzeugen, Einsatz als Speichermedium für Energie aus Wind- oder Solarkraft, etc.

Quelle: Eigene Darstellung

Analoge Konzepte oder Systeme können z.B. in der Elektronikbranche oder verwandten Bereichen wie Maschinen- und Gerätebau entwickelt und nutzbringend eingesetzt werden.

Durch die Einführung des Produktpasses wird entsprechend des Umfangs der angegebenen Informationen die Transparenz entlang der Wertschöpfungsketten signifikant verbessert, sofern die Informationen, im Gegensatz zum IMDS, zugänglich sind.

#### Nutzen

- Transparenz hat positive Effekte auf andere Kernelemente
- Verbesserung der kaskadenartigen Nutzung von Stoffen
- Erleichterung der Bündelung von Stoffströmen durch Hinweise auf stoffliche Zusammensetzungen
- Erkennen von Risiken wie Ressourcenverfügbarkeit (auf Material und Komponenten bezogen)

#### Empfehlungen

Die Einführung von Produktpässen erleichtert die Zusammenarbeit zwischen Produktentwickler und Verwertungsunternehmen. Eine Voraussetzung zur Implementierung ist die Integration des Produktpasses in die Durchführungsverordnung zur Ökodesign-Richtlinie (RL 125/2009/EG). Bayerische Unternehmen könnten als **Best-Practice-Beispiele** für die Einführung eines Produktpasses in Form eines Wettbewerbs prämiert werden. Instrumente wie der Produktpass sollen als Informationsträger in die Industrienorm 4.0 integrierbar sein. Mittelfristig sollten die gesammelten Informationen auf einer zentralen Internetseite auch der Bevölkerung zur Verfügung gestellt werden, um individuelle Konsumententscheidungen auch nach Kriterien wie der Wiedernutzbarmachung durch z.B. Reparatur treffen zu können.

**(3) ↗Ressourceneffizienz und -verfügbarkeit optimieren:** Die Bereiche Materialeffizienz und Recycling finden bereits große Beachtung. Mit der Etablierung des REZ wurde 2016 das Handlungsfeld *Ressourceneffizienz in der Wirtschaft* gestärkt und ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Kreislaufwirtschaft und dem effektiveren Einsatz von Ressourcen geleistet. Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Maßnahmen sowie Beratungsangebote von den bayerischen Industrie- und Handelskammern, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen. Durch eine bedarfsorientierte Unterstützung von Unternehmen sowie einem steten Austausch zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft kann die Ressourceneffizienz kontinuierlich optimiert werden. Hier gibt es fortlaufendes Verbesserungspotential.

### Themenbereich: Einführung von Pfand auf Einwegprodukte und Einsatz von Mehrwegprodukten ausweiten

Empfehlung: Pfand auf Einwegprodukte

#### Lösungsansatz

Um die Verbesserung des Recyclings voranzutreiben und den Konsum von Einwegprodukten zu reduzieren bzw. um die Stoffe an den Sammelstellen konsequent trennen und fach- und stoffgerecht entsorgen zu können, empfehlen sich handlungsleitende Maßnahmen durch z.B. monetäre Anreize. Die Ergebnisse des Bürgerdialogs „GesprächsStoff: Ressourcenschonend leben“, der im Vorfeld von ProgRes II stattfand, zeigen, dass die Bereitschaft in der Bevölkerung besteht, dieses Steuerungsinstrument anzunehmen (Zebralog und UfU 2015). Das Beispiel der Einzelhandelskette REWE, die seit Juni 2016 auf den Verkauf von Einweg-Plastiktüten verzichtet, verdeutlicht die bereits in Gang gesetzte Sensibilisierung für das Thema Abfall vs. Wertstoff und die Wechselwirkung von Wissen und Handeln.

Allein die Zahlen sprechen für Mehr- statt Einweg: So können bspw. Mehrwegflaschen aus Plastik oder Glas 25 bis 50-mal genutzt werden. Dies schont die Ressourcen in erheblichem Maße. Einwegverpackungen sollten, wo möglich, vermieden werden. Vorbildliche Ansätze bedürfen rechtlicher Steuerung, politischer Unterstützung und gesellschaftlicher Akzeptanz. Letzteres insbesondere bzgl. des gegenwärtigen Trends, vermehrt Einwegverpackungen zu produzieren und zu konsumieren, insbesondere bei Getränken.

#### Nutzen

- Abfallvermeidung
- Bündelung von Stoffströmen
- Förderung eines bewussten Ressourcenkonsums

#### Empfehlungen

Generell sollte auf Bundesebene die Nutzung von Einweg-Verpackungen durch rechtliche Maßnahmen reduziert werden. Flankierend sollen alternative Verpackungstechnologien wie Mehrweg-Coffee-to-go-Becher erarbeitet werden. Entsprechende Ideenworkshops und Kreativwerkstätten können gerade auf regionaler Ebene zu weitreichenden organisatorischen, sozialen und mentalen Veränderungen beitragen. Auch für die Kommerzialisierung neuer Technologien und Konzepte, die von Händlern und Abfallverwertungsunternehmen idealerweise gemeinsam entwickelt werden, bedarf es politischer Unterstützung. Innovationen, die zur Abfallvermeidung beitragen und die Ressourceneffizienz steigern, gilt es zu unterstützen. Geeignet sind dazu entsprechende Flankierungen mit wissenschaftlicher Expertise als auch durch die Beratung bzgl. Finanzierung und Zuschüssen im Rahmen der Angebote von REZregio.

## Themenbereich: Neujustierung der Bewertungsinstrumente

### Lösungsansatz

Unterschiedliche Bewertungsmethoden wie z.B. die ↗**Lebenszyklusanalyse** (engl. Life Cycle Assessment) werden bereits zur ökonomischen Analyse von Ressourcen eingesetzt. Darüber hinaus könnten Kritikalitätsanalysen für eine Berücksichtigung der Auswirkungen des Ressourcenverbrauchs auf Mensch und Umwelt sorgen. Den etablierten Kritikalitätsanalysen (z.B. Graedel et al. 2011) mangelt es allerdings an der Berücksichtigung qualitativer Faktoren (Gantner 2016; Buchert et al. 2015). Es gilt ebenso qualitative Konzepte wie bspw. Fehlerbaumanalysen anzuwenden, bzw. bereits bestehende Ansätze mit neuem Wissen zu kombinieren, um fundierte politische und wirtschaftliche Entscheidungen über Investitionen treffen zu können.

Eine rein technische-wirtschaftliche Bewertung von Ressourcen wird der Sachlage nicht vollständig gerecht. Gerade die häufig unbekanntem stofflichen Zusammensetzungen, der in Form von Halbzeugen und Fertigprodukten indirekt importierten Stoffe gilt es offenzulegen, um sie überhaupt und zielführend mit stoffgeschichtlichen Kriterien zu bewerten. Diese qualitativen Bewertungen berücksichtigen außer technischem Machbarkeitswissen und ökonomischen Zielvorgaben zeitliche, räumliche, soziale, ökologische und geopolitische Dimensionen. Enorme Preisschwankungen von Seltenerdmetallen wie Europium, Erbium und Terbium sind z.B. nicht der physischen (Nicht-)Verfügbarkeit geschuldet, sondern durch die geopolitische Situation, mit China als faktisch monopolistischen Produzenten, zu erklären.

### Nutzen

- Fundierte Entscheidungsgrundlage
- Einbezug externer sozialer und ökologischer Effekte
- Fokus auf Qualität statt auf Masse bei der Bewertung von Stoffen
- Fokus auf die ganzheitliche Bewertung von Stoffen

### Empfehlungen

Neben den quantitativen Indikatoren soll die Betrachtung von qualitativen Faktoren (sozio-kulturell, ökonomisch, ökologisch und politisch) die Bewertung von Ressourcen spezifizieren und damit eine umfassendere Entscheidungsgrundlage für zukunftsweisende Nutzungskonzepte eröffnen. Das ↗**Konzept der Stoffgeschichten** (s. Abbildung 1), welches die Wechselwirkungen entlang der qualitativen Betrachtungsebenen und Faktoren miteinbezieht, eignet sich besonders, um eine spezifizierte Bewertung von Ressourcen vorzunehmen.

## Themenbereich: Produktdesign

### Lösungsansatz

Möchte die bayerische Politik zukunftsweisende und innovationsorientierte Weichenstellungen initiieren, sollte sie sich verstärkt dafür einsetzen, dass Produkte recyclinggerecht entworfen werden. Dies erfordert einen ↗**modularen Aufbau** von Geräten und erleichtert damit nach der Erstnutzung die Integration in andere Nutzungskaskaden. Auch für die Reparaturfähigkeit ist dieser Ansatz vorteilhaft. Sammellogistiken können so auf Module ausgerichtet werden, was das Recycling vereinfacht und effektiver macht. Produkte könnten möglicherweise hinsichtlich ihrer Wiederverwert-/Rezyklierbarkeit bspw. im Rahmen des Produktpasses zertifiziert werden.

Abbildung 12: Gesammelte Bauteile aus Elektroaltgeräten



Quelle: Zepf, Volker; Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

Bisher gibt es für dieses relativ neue Konzept nur wenige Beispiele, die eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Produktpolitik betreibt. Immerhin haben Unternehmen der Automobil- und Elektronikbranche mit der Reduktion der Vielfalt verwendeter Kunststoffe begonnen und damit die Recyclingbedingungen drastisch verbessert. Ein weiteres Positivbeispiel ist der niederländische Smartphone-Hersteller Fairphone. Das Unternehmen konzipiert seine Produkte so, dass sie aus einzelnen Modulen bestehen, die bei Defekt oder bei Wunsch eines technischen Upgrades ausgewechselt werden können (Schiske et al. 2016).

#### Nutzen

- Steigerung der ↗Ressourcenproduktivität durch verbesserte Wiederverwertungs- und Recyclingraten
- Erleichterung der Bündelung von Stoffströmen
- Verbesserung der kaskadenartigen Nutzung von Stoffen
- Einsparung von Kosten durch geringeren Primärrohstoffbedarf
- Schonung von Umwelt und Ressourcenquellen

#### Empfehlungen

Die nationale und die bayerische Politik sollten sich für die Konzeption und Implementierung entsprechender Ökodesign-Richtlinien auf europäischer Ebene einsetzen. Hier sollte die Politik Ansätze mit Unternehmen aus der Wiederverwertungs- und Reparatur-Branche erarbeiten. Die Produzenten und die Wiederverwerter sollten gemeinsam innovative Produktdesignkonzepte ausarbeiten und mit geplanten Produktions- und Recyclingzyklen möglichst geschlossene Stoffkreisläufe etablieren. In Bayern gilt es die ↗Integrierte Produktpolitik (IPP) auszuweiten, sodass immer mehr Unternehmen diese in ihrer Produktgestaltung berücksichtigen. Zudem sollte im Konzept der IPP für die Nachnutzungsphase der Produkte anschließende Nutzungskaskaden eingeplant und analog zum Fairphone die Modulbauweise gefördert werden.

**(4) Substitution kritischer Ressourcen realisieren:** Eine gezielte Erforschung von ↗Substituten für ineffiziente, gefährliche und umweltschädliche Stoffe ist wichtig, um Ressourcen und Umwelt zu schonen. Im Fokus stehen auch biotische Stoffe als abbaubare Ersatzstoffe für z.B. verschiedene synthetische Kunststoffe. Die Verarbeitung biotischer Stoffe wie Cellulose und ↗Lignin oder die Erprobung umweltfreundlicher Separationsmethoden vermindern Umwelt-

belastungen. Dabei müssen die komplexen Folgen des Einsatzes von Substituten stets berücksichtigt werden. Die Erforschung möglicher Substitute für kritische Ressourcen oder für umweltschonende Verfahren sollte weiterhin intensiv mit gezielten Maßnahmen gefördert werden.

Empfehlung: Substitution ausweiten

## Themenbereich: Substitutionsmöglichkeiten entwickeln und erproben

### Lösungsansatz

Aufgrund unterschiedlicher Entwicklungen sind Ressourcen teilweise großen Preisschwankungen unterworfen. Neben technischen Innovationen erfordern ebenfalls neu auftretende Umweltbelastungen die Substitution bislang genutzter Ressourcen. Die Substitute sollen die gleichen Funktionen erfüllen und gleichzeitig die unerwünschten Effekte des Ausgangsmaterials vermeiden oder möglichst gering halten. Substitute sollten wiederverwendbar, umweltfreundlich und in genügendem Maße verfügbar sein (Massenrohstoffe) sowie mit möglichst einfachen Prozessen produziert werden können.

Die Suche nach Substituten sollte nicht nach Stoffen, sondern nach Funktionen erfolgen. Neben stofflichen Substitutionen, können auch alternative Gewinnungsmethoden aus [anthropogenen Lagerstätten](#) in Betracht gezogen werden (Urban Mining).

Substitution kann durchaus zu innovativen Lösungen führen. Bspw. wurden in Elektromotoren magnetische Materialien auf Basis von Seltenerdmetallen (v.a. Neodym) aufgrund deren kritischer Verfügbarkeit bereits durch ferritische Stoffsysteme ersetzt.

Bei der Bewertung alternativer Stoffe sollte auf das [Konzept](#) der Stoffgeschichten zurückgegriffen werden. Dabei müssen mögliche Auswirkungen durch Substitution fundiert kalkuliert und im kleinen Rahmen erprobt werden, um ungewünschte Nebenfolgen zu vermeiden.

**Beispiel Substitution von auf organischen Materialien basierende Sonnenschutzmittel durch Titan- und Zinkoxid:** Als Ersatz für umweltschädliche organische Funktionsmaterialien werden in Sonnencremes mineralische Substanzen wie Titan- und Zinkoxid mit hohen Lichtschutzfaktoren eingesetzt. Hierbei wurde bei der Substitution nur auf die Funktion als Lichtschutzfaktor geachtet und die [Zellgängigkeit](#) der teils nanoskopischen Stoffe vernachlässigt. Auch wenn bisher noch keine gesundheitlichen Nebeneffekte von nanoskaligem Titandioxid nachgewiesen ist, so sind noch viele Fragen ungeklärt. D.h. es gilt bei innovativen Substitutionslösungen stets zu untersuchen, ob [unintendierte Auswirkungen](#) auf Umwelt und Gesundheit (bspw. mögliche Auswirkungen aufgrund der Zellgängigkeit der Nanopartikel im menschlichen Körper) – die möglicherweise erst längerfristig erkennbar sind – vorliegen (Strobel et al. 2014).

### Nutzen

- Verringerung von Importabhängigkeiten
- Schonung der Umwelt und der Ressourcen
- Minderung von Umwelt- und Gesundheitsrisiken

### Empfehlung

Bestehende Stoffkompetenz soll erhalten bleiben und ausgeweitet werden, um damit aus Fehlentwicklungen Nutzen zu ziehen. Insbesondere sollte in die Entwicklung innovativer, umweltfreundlicher Recyclingverfahren, wie sie bspw. in den Forschungsverbänden

➤ BayBiotech oder ➤ ForCYCLE entwickelt werden, investiert werden. Die Suche nach Substituten hat den Charakter von präventiver Forschungsarbeit: ➤ Unbeabsichtigte Effekte bzw. für Mensch und Umwelt schädliche Stoffe sollen möglichst früh erkannt bzw. verhindert werden. Dies erfordert grundlagenwissenschaftliche und angewandte Forschung, sowie das Einbeziehen der Wirtschaft.

**(5) ➤ Dissipation von Funktionsmaterialien minimieren:** Eine verbesserte Kreislaufführung leistet einen signifikanten Beitrag zur Reduktion von unbeabsichtigter Dissipation. Mit dem Schwerpunkt der Integrierten Produktpolitik des ➤ Umweltpaktes Bayern unterstützt das StMUV die Wirtschaft bei der Fertigung ressourceneffizienter und umweltfreundlicher Produkte. Dieses Konzept ist ein erster Schritt zu einer verbesserten ➤ Kaskadennutzung und wird daher weiterhin verfolgt und ausgebaut.

Kaskadennutzung fördern

Im Bereich *Forschung und Entwicklung* wurden insbesondere in den vergangenen zehn Jahren mit der Einrichtung von Forschungsverbänden wie ➤ ForCYCLE oder ➤ BayBiotech zahlreiche bayerische Forschungseinrichtungen mit Aufträgen zur Erweiterung der Informationsbasis beauftragt. Teilprojekte im Forschungsverbund ForCYCLE befassen sich unter anderem mit der Dissipationslimitierung von Wert- und Schadstoffen in Gläsern oder der Rückgewinnung von Buntmetallen aus Industrieabwässern.

Forschungsverbände ForCYCLE und BayBiotech

#### Themenbereich: Dissipation minimieren

##### Lösungsansatz

Die Minimierung der nicht beabsichtigten Feinstverteilung von Stoffen in der Umwelt stellt eine große Herausforderung dar. Sollten feinstverteilte Stoffe ➤ bioaktiv sein, ist meist unklar, welche Auswirkungen sie auf Mensch und Umwelt haben. Zudem ist die Rückführung feinstverteilter Stoffe in kontrollierte Stoffkreisläufe technisch äußerst anspruchsvoll und dementsprechend sehr kostenintensiv. Beispiele wie die globale Dissipation von sogenanntem Mikroplastik in Nahrungsmitteln, Alltagsprodukten, Trinkwasser etc. zeigen die hohe Relevanz dieser Problemstellung. Deshalb ist es von großer Bedeutung, die Mobilität von Stoffen zu erkennen und wenn möglich zu steuern, was über die bis dahin angewandten Maßnahmen wie z.B. Emissionsgrenzwerte hinausgeht.

Die ungewollte Dissipation kann reduziert werden, indem die Stoffgeschichten und kritischen ➤ Materialien in Produkten transparent gemacht werden, sodass gegebenenfalls an ➤ neuralgischen Punkten eingegriffen werden kann.

**Beispiele Dissipation von Gadolinium und Platin:** Gegenwärtig gelangt das Funktionsmaterial Gadolinium, das als ➤ Kontrastmittel in Krankenhäusern verwendet wird, ins Abwasser und in Kläranlagen (vgl. Bau und Dulski 1996). Hätte man in Krankenhäusern die Möglichkeit Gadolinium gesondert aufzufangen, könnte dessen Dissipation größtenteils verhindert werden. Eine analoge Situation herrscht bei der Anwendung von Platinverbindungen in der Krebstherapie vor. Die ➤ Bioaktivität solcher chemischen Verbindungen in der Umwelt und ihrer negativen Auswirkungen sollte weiter erforscht werden (Groh et al. 2011). Die gegenwärtigen ➤ Applikationsformen sind aber nicht geeignet, diesen Dissipationsprozess zu verhindern.

Empfehlung: Dissipation verringern

Insgesamt gilt es für kritische, dissipierende Stoffe ↗Senken zu schaffen und dadurch eine räumliche Feinstverteilung bzw. unkontrollierte Mobilität in unterschiedlichen Medien möglichst zu unterbinden.

Das Recycling von Edelmetallen aus Katalysatoren z.B. Autoabgaskatalysatorsystemen ist ein Beispiel für die gezielte Unterbindung der Dissipation bzw. der erfolgreichen Re-↗Akkumulation von Wertstoffen. In diesem Sinn ist die Wiedergewinnung von sekundären Wertstoffen die beste Gegenmaßnahme zur Verhinderung dissipativer Stoffverluste.

#### Nutzen

- Verhinderung des Verlusts wertvoller Ressourcen
- Schonung von Mensch und Umwelt
- Steigerung der Ressourcenproduktivität

#### Empfehlungen

Die Aufklärung und quantitative Erfassung der realen Dissipation von Wertstoffen ist unabdingbar. Gewonnene Erkenntnisse erlauben die Verminderung der unbeabsichtigten Freisetzung von Wirkstoffen und verringern damit das Risiko der Entwicklung gefährlicher ↗Bioaktivitäten. Weiterhin sollen Forschungsprojekte wie ForCYCLE zur Schließung von Stoffkreisläufen beitragen. Zusätzlich soll die Erforschung der Umweltwirkungen hochmobiler Stoffe intensiviert werden. In einem Austausch von Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft können Schwachstellen aufgedeckt und Handlungsansätze ermittelt werden. Sammellogistiken können dann wirksam sein, wenn sie den Dissipationsmustern Rechnung tragen, d.h. an geeigneten Stellen der ↗Wertschöpfungsketten und Nutzungsketten ↗Senken einzurichten und damit die kritischen Stoffe zu akkumulieren.

Zusammenfassend ist in Abbildung 13 der Bearbeitungsstand der Kernelemente dargestellt. Nach dem Ampelsystem wurde die jeweilige Vorgehensweise zur Verbesserung der fünf Kernelemente, basierend auf der Analyse bestehender politischer Maßnahmen in Bayern, klassifiziert. Dabei symbolisiert die grüne Markierung vielversprechende, die gelbe grundlegende und die rote noch aufzubauende Aktivitäten. Während bereits umfangreiche und vielversprechende Ansätze zur Optimierung des Ressourceneffizienz und -verfügbarkeit initiiert wurden, lässt sich der dringendste Handlungsbedarf bei der Schaffung von Transparenz entlang der Wertschöpfungsketten identifizieren. Die Steigerung der Transparenz hat positive Auswirkungen auf die Verbesserung aller übrigen Kernelemente.

Bearbeitungsstand  
der strategischen  
Kernelemente

Abbildung 13: Bearbeitungsstand der Kernelemente durch die bayerische Politik

Bewusstsein fördern	•Diverse Ansätze, die noch auszuweiten sind
Transparenz schaffen	•Globale intransparente Wertschöpfungsketten
Ressourceneffizienz optimieren	•Zahlreiche Ansätze mit vielversprechenden Ergebnissen
Substitution erhöhen	•Forschungsprojekte mit vielversprechenden Ansätzen
Dissipation begrenzen	•Forschungsprojekte mit vielversprechenden Ansätzen

Quelle: Eigene Darstellung

## Mehrwert einer Ressourcenstrategie für Bayern

Die Kernelemente der Bayerischen Ressourcenstrategie greifen wechselseitig ineinander und konkretisieren die bereits identifizierten Handlungsfelder. Die genannten bestehenden und vielversprechenden Maßnahmen sollten fortgeführt und intensiviert werden. Weitere Aktivitäten sind jedoch notwendig, um einen zukunftsweisenden Umgang mit Ressourcen zu gestalten. Durch die Fähigkeit, Trends zu steuern und den Umgang mit Ressourcen aktiv zu gestalten, wird insgesamt die ↗Resilienz verbessert und die Fähigkeit Bayerns auf externe Einflüsse zu reagieren gestärkt.

Mehrwert einer Ressourcenstrategie für Bayern

Darüber hinaus wird die Wettbewerbsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft mittels landeseigener Kernkompetenzen, unternehmerischer Innovationskraft und eigenem „Know-How“ gefördert. Dies kann ein bedeutendes Alleinstellungsmerkmal gegenüber anderen Bundesländern werden, sodass Bayern eine Vorreiterrolle im weitsichtigen Umgang mit Ressourcen einnehmen würde.

Förderung der Wettbewerbsfähigkeit der bayerischen Wirtschaft

Für einen zukunftsweisenden Aufbau einer Ressourcenstrategie Bayerns sind eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Kernkompetenzen und die Anpassung an neue Begebenheiten durch einen stetigen Austausch von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft im Zusammenspiel mit der Gesellschaft notwendig. Diesbezüglich wird in Bayern bereits seit Jahren das Thema Ressourceneffizienz in der Wirtschaft durch die IHKs, das REZ oder durch Kooperationen von Forschungseinrichtungen und Unternehmen wie bei ForCYCLE, integriert.

Die aus umweltpolitischer Perspektive notwendige Trendwende beim Ressourcenverbrauch kann angestoßen werden durch:

Notwendige Trendwende beim Ressourcenverbrauch

- **Steigerung des Einsatzes von ↗Sekundärrohstoffen in der Produktion und bedarfsgerechte Erhöhung der Sekundärrohstoffproduktion** mittels Recycling von Wertstoffen nach ihrer Nutzung und der Rückführung in den Kreislauf und einer daraus **folgenden kaskadenartigen Nutzung** von Wertstoffen
- **Recyclinggerechtes Produktdesign (in Bayern durch IPP)**
- **Kontinuierliche Optimierung von Sammellogistiken**, um einen möglichst großen Teil der Stoffe nach der Nutzungsphase wiederzuverwerten
- **Bewusstsein** für einen effizienten und umweltschonenden Umgang mit Ressourcen muss auf individueller als auch auf der Ebene der Unternehmen weiter gestärkt werden.

Konkret bedeutet dies für Bayern: Die schrittweise und konsequente Erhöhung der Recyclingraten mit dem Ziel einer verbesserten, effizienten Ressourcennutzung. Datenbasierte und entsprechend den aktuellen geopolitischen und sozioökonomischen Ist-Szenarien stets zu aktualisierende Kritikalitätsanalysen ermöglichen eine fundierte Bedarfsanalyse zur Vermeidung von Rohstoffengpässen und stärken die Importunabhängigkeit.

Schrittweise und konsequente Erhöhung der Recyclingraten

## 5. Umsetzung der Bayerischen Ressourcenstrategie: Vom Wissen zum Handeln

Mit der Gründung des Bayerischen Staatsministeriums für Umweltfragen und Landesentwicklung wurde 1970 in Bayern das erste Umweltministerium weltweit gegründet. Damit zeigte die bayerische Politik bereits früh die Sensibilisierung für den Umweltschutz. In den letzten Jahren wurde der gestiegene Materialeinsatz und die stetig wachsende ↗Materialdiversität in der

Sensibilität der bayerischen Politik für Umweltschutz

Wirtschaft sowie die damit verbundenen Umweltfolgen mit der Bayerischen Ressourcenstrategie sowie der Bayerischen Nachhaltigkeitsstrategie politisch adressiert.

Anreize für positives Verhalten

Aufgrund der skizzierten Eingebundenheit in das Völkerrecht, das EU- und Bundesrecht, ist die rechtliche Handlungskompetenz auf der bayerischen Landesebene limitiert. Die in Kapitel 4 genannten Lösungsansätze waren nach dem Grundsatz „global denken, lokal handeln“ auf lokale Umsetzungsmöglichkeiten ausgerichtet. Da Ressourcenschutz kein eigenes Rechtsgebiet ist und keine eigenen Gesetze hat, gilt es einen effektiven Maßnahmen-Mix zu treffen, der adaptiv auf die sich wandelnden Herausforderungen angepasst werden kann. Zumal die ökonomische Bewertung von Umweltschäden schwierig ist, sollte diese grundsätzlich vermieden werden. Ordnungspolitische Gesetze in Form von Verboten haben durch die Verbindlichkeit der Ziele zwar eine höhere Durchsetzungsfähigkeit, doch werden dadurch Akteure, die sich freiwillig umweltfreundlich und ressourcenschonend verhalten, nicht belohnt, was tendenziell innovatives Verhalten ausbremst. Entsprechend sollten jene Akteure, die sich freiwillig nachhaltig verhalten im Rahmen eines kooperativen Umweltschutzes belohnt werden und durch die Belohnung Mitstreiter zur Nachahmung anregen. Dies wird in Bayern bereits mit dem [Umweltpakt](#), der 1995 von Politik und Wirtschaft unterzeichnet wurde, praktiziert.

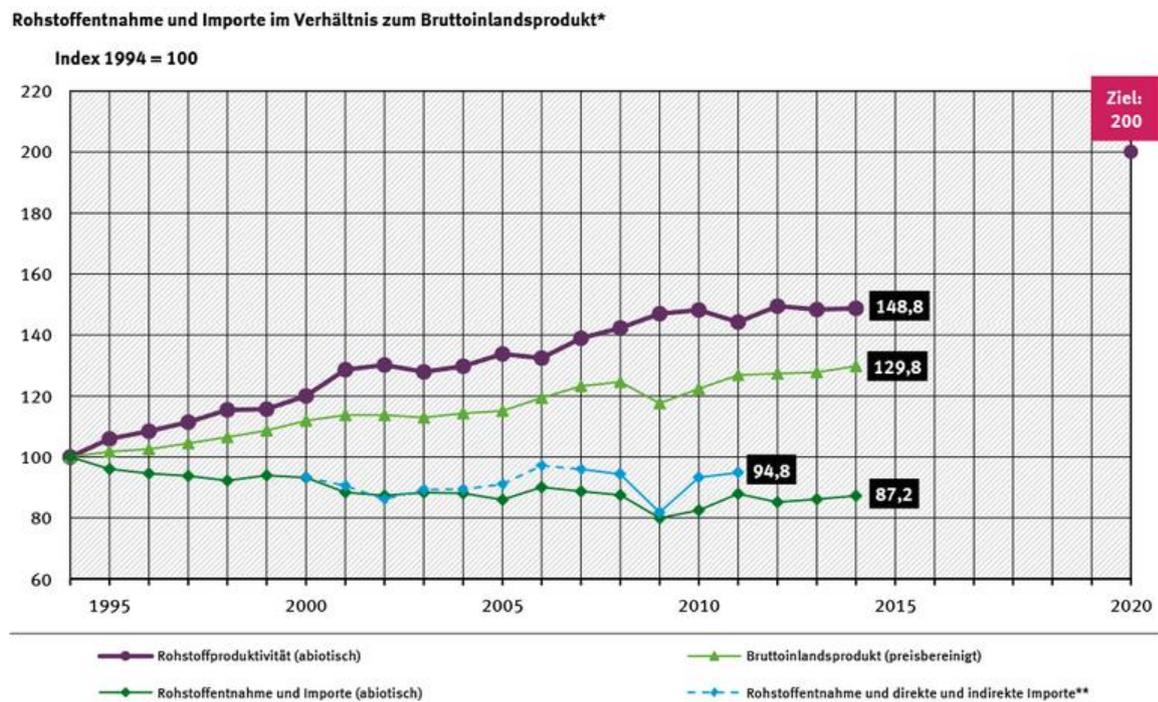
Ziele laufend reflektieren

Damit die gegenwärtigen Herausforderungen gemeistert werden können, gilt es, die gesetzten Ziele auf ihre Aktualität laufend zu hinterfragen. Selbstverpflichtungen sollten auch immer einen Nutzen für die Unternehmen und Konsumenten bringen, damit sie auch umgesetzt werden. Seitens der Politik gilt es, mit den möglichen Steuerungsinstrumenten die Umsetzung eines ressourcenschonenden und umweltfreundlichen Lebensstils zu unterstützen. Um dieses Ziel zu erreichen soll heute und perspektivisch die [Ressourcenkompetenz](#) aller Akteure in Bayern erhöht werden.

Rohstoffproduktivität in Deutschland

Gleichzeitig sind auch übergeordnete, messbare Ziele für eine strategische Ausrichtung der Bayerischen Ressourcenstrategie sinnvoll. So wird in der Bayerischen Nachhaltigkeitsstrategie die Verdopplung der Ressourceneffizienz bis 2020 im Vergleich zum Jahr 1994 anvisiert. Wichtig ist aber auch, dass bei der Messung der Ressourceneffizienz externe Effekte einbezogen werden. Dazu kann die Berechnungsmethodik der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 1 verwendet werden. Wird nur die Rohstoffproduktivität als Kennzahl der Ressourceneffizienz betrachtet, würde bspw. die Effizienz durch den Import von Rohstoffen und Waren steigen, da der ökologische Rucksack nicht mit eingerechnet wird. Dies spiegelt sich in einem weiteren Ziel der Bayerischen Nachhaltigkeitsstrategie wider, wonach der Rohstoffverbrauch von der wirtschaftlichen Entwicklung bei gleichbleibendem Wohlstand entkoppelt werden soll. Abbildung 14 zeigt, dass die Rohstoffproduktivität in Deutschland Stand 2014 um knapp 50 % gestiegen ist und der Rohstoffverbrauch um ca. 5 % gesunken ist. Dies zeigt deutlich, dass steigende Ressourceneffizienz allein nicht automatisch zu signifikant weniger Ressourcenverbrauch führt.

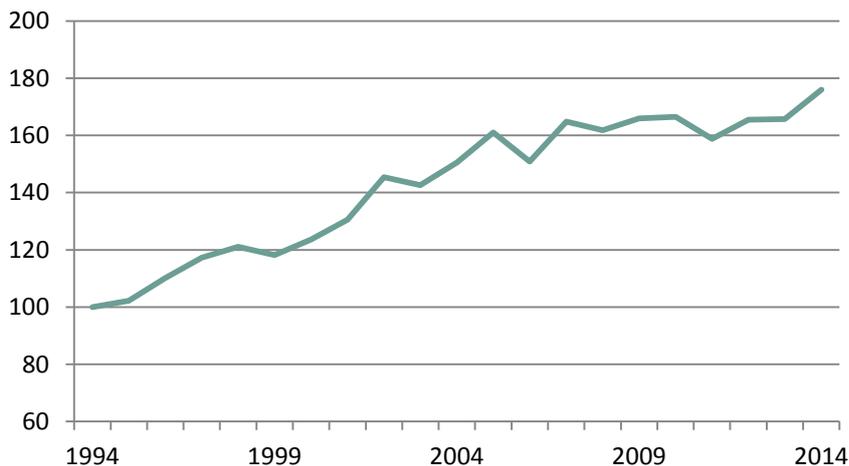
Abbildung 14: Rohstoffproduktivität in Deutschland



Quelle: UBA 2016 nach Statistisches Bundesamt 2016

Im Vergleich zum Bund stieg die Rohstoffproduktivität in Bayern mit ca. 76 % gegenüber dem Referenzjahr 1994 deutlich stärker an (s. Abbildung 15). Nachdem die Produktivitätssteigerung in Bayern zwischen 2007 und 2013 stagnierte, stieg sie in 2014 um 10 % an (Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder 2016). Um eine Verdopplung der Ressourceneffizienz bis 2020 zu erreichen, sind in den nächsten Jahren weiterhin intensive Bemühungen notwendig.

Abbildung 15: Rohstoffproduktivität in Bayern



Quelle: Eigene Darstellung nach Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder 2016

Dass Ressourceneffizienz-Maßnahmen noch ein erhebliches Steigerungspotential haben, zeigten zuletzt die Zahlen, die im Rahmen der Präsentation von ProgRes im Deutschen Bundestag genannt wurden. Seit der Einführung von ProgRes im Jahr 2012 haben ca. 3.000 Unternehmen Beratungsleistungen zur Steigerung der Ressourceneffizienz in Anspruch genommen. Es

konnten im Schnitt 200.000 Euro Kosten je Unternehmen eingespart werden (Deutscher Bundestag 2016). Aufgrund von Wissensdefiziten und fehlender Qualifikation werden Ressourceneffizienzpotentiale seitens Unternehmen noch nicht vollständig ausgeschöpft, obwohl sie wirtschaftliche Vorteile bieten. Dies zeigen auch die Ergebnisse der Studie zur Umsetzung von Ressourceneffizienz 2015 des VDI ZRE, bei der zwei Drittel von über 1.000 befragten Entscheidern aus Unternehmen angaben, dass Ressourceneffizienz ein wichtiges Thema der Unternehmensstrategie sei, aber 73 % anmerkten, dass noch Ressourceneffizienzpotentiale in ihrer Branche bestehen (von Wecus und Willeke 2015). Wichtig ist, dass die Steigerung der Ressourceneffizienz aufgrund möglicher ↗Rebound-Effekte zur Ressourcenschonung nicht ausreicht. Dies zeigt sich auch in Deutschland. So ist zwar eine Entkopplung von Ressourceneinsatz und BIP nachweisbar, jedoch ist der absolute Ressourcenverbrauch weiterhin steigend (BMUB 2016b). Gleichzeitig stieg die Ressourcenproduktivität zwar in den letzten Jahren, allerdings sind die Steigerungsraten bereits seit längerer Zeit rückläufig (UBA 2015).

Konkrete und lokal umsetzbare Maßnahmen entscheidend

Für das Gelingen einer Strategie für einen zukunftsweisenden Umgang mit Ressourcen in Bayern ist deshalb die Implementierung konkreter und lokal umsetzbarer Maßnahmen, entsprechend den fünf identifizierten Kernelementen, entscheidend. Dabei können Synergieeffekte durch die Kooperation mit anderen Bundesländern und internationalen Organisationen sowie eine auf Bayern zugeschnittene Adaption staatlicher Förderprogramme zur Zielerreichung genutzt werden. Die genannten Lösungsansätze und Implementierungsvorschläge erweitern das bereits vorhandene Maßnahmenspektrum. Grundsätzlich ist unabhängig von den aktuellen Rohstoffpreisen die Wiederverwertung von Stoffen sinnvoll um a) Stoffe, bei denen Importabhängigkeiten bestehen, wiederzuverwerten, um den Importbedarf zu reduzieren und um b) die Dissipation von Stoffen mit umweltbelastenden Wirkungen zu vermeiden. Dazu ist Wissen über die Reaktivität von Stoffen in der Umwelt und über den wirtschaftlichen Bedarf notwendig.

Anpassung des Lebensstils erforderlich: von der Primär- zur Sekundärrohstoffwirtschaft

Kurz- bis mittelfristig ist die Berücksichtigung der Kernelemente entscheidend für das Gelingen der gesetzten Ziele. Langfristig wird es in einer Welt mit begrenzten Ressourcen und wachsender Weltbevölkerung entscheidend sein, den Lebensstil so anzupassen, dass endliche Ressourcen so effizient wie möglich genutzt werden und vor allem nachwachsende Ressourcen sowie regenerative Energieträger verbraucht werden. Es gilt, umweltschädliche Stoffe auszuschleusen und den Wandel von der Primär- zur Sekundärrohstoffwirtschaft zu vollziehen. Der Ausbau der Ressourcenkompetenz als Bayerns ureigene Stärke ist und bleibt Auftrag.

## Abkürzungsverzeichnis

BIHK	Bayerischer Industrie- und Handelskammertag
BilRess	Bildung für Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMW	Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft
bspw.	beispielsweise
d.h.	das heißt
EU	Europäische Union
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
Fraunhofer IWKS	Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie
Fraunhofer UMSICHT	Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik
FSC	Forest Stewardship Council
g	Gramm
HUD	Head-up-Display
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IMDS	International Material Data System
IPP	Integrierte Produktpolitik
ISO	Internationale Organisation für Normung
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
ProgRess	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm
REZ	Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern
StMUV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
t	Tonne
u.a.	unter anderem
v.a.	vor allem
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz
z.B.	zum Beispiel

## Glossar

**Akkumulation:** Anhäufung bzw. Ansammlung.

**Anthropogenes Lager:** Gesamtheit der vom Menschen zu Infrastruktur, Gebäuden sowie Güter und Produkte verarbeiteten Stoffe.

**Anthropogene Stoffe:** Vom Mensch erzeugte Stoffe, die nicht in natürlichen Systemen vorkommen, wie z.B. Kunststoffe.

**Applikationsform:** Art und Weise, wie ein Medikament verabreicht wird.

**BayBiotech:** Im bayerischen Projektverbund BayBiotech werden Biotechnologien entwickelt, um Ressourcen zu schonen.

**Bioaktivität:** Bezeichnung für die stoffliche Umwandlung durch lebende Organismen.

**BOMcheck:** Dabei handelt es sich um eine zentralisierte Datenbank zur Angabe von Inhaltsstoffe für Unternehmen der Elektro- und Elektronikindustrie.

**Biosphäre:** Von Lebewesen bewohnter Raum.

**Bruttowertschöpfung:** Die Bruttowertschöpfung ergibt sich aus dem Gesamtwert der produzierten Waren und Dienstleistungen, abzüglich des Werts ihrer Vorleistungen. Die Kennzahl kennzeichnet den wirtschaftlichen Mehrwert, der im Inland erzeugt wurde.

**Dissipation:** Bei der Dissipation handelt es sich um die Feinstverteilung von Stoffen in die Umwelt. Aufgrund zu hoher ökonomischer Kosten werden jene Stoffe nicht in ihre Kreisläufe reintegriert. Es gilt allerdings zwischen vermeidbarer und unvermeidbarer Dissipation zu unterscheiden. Letztere ist der herkömmliche Abrieb durch Nutzung, wohingegen die vermeidbare Dissipation durch die künstliche Verdünnung von Materialien im Rahmen des Produktdesigns entsteht (Kümmerer 2016).

**Dodd-Frank Act:** Hierbei handelt es sich um ein US-amerikanisches Bundesgesetz. In den Artikeln 1502-1504 werden Sozial- und Umweltstandards im Rahmen von Rohstoffimporten definiert. In Artikel 1502 wird die Berichtspflicht für US-amerikanische börsennotierte Unternehmen geregelt, die Gold, Tantal, Wolfram oder Zinn aus der Demokratischen Republik Kongo oder ihre Nachbarstaaten importieren. Durch dieses Gesetz wurde erstmals im größeren rechtlichen Rahmen die Finanzierung bewaffneter Konflikte durch den Handel mit Rohstoffen adressiert (Manhart und Schleicher 2013).

**Energiewende:** Damit wird die Umstellung von einer nicht-nachhaltigen Energieerzeugung mittels fossiler Energieträger und Kernkraft hin zu einer nachhaltigen Versorgung durch erneuerbare Energien wie Wind-, Wasser- und Solarkraft bezeichnet.

**Externalisierung:** Die Externalisierung beschreibt die Abwälzung von Umweltschäden durch privates Unternehmertum auf alle Menschen der Erde und auf künftige Generationen.

**ForCYCLE:** Im bayerischen Forschungsverbund ForCYCLE – bestehend aus 10 Einzelprojekten – wurden innovative Recyclingmethoden und -verfahren für die Stoffklassen Baustoffe, biogene Polymere und Wertstoffe, Composite und Metalle an verschiedenen Hochschul- und Forschungseinrichtungen in Bayern, in Kooperation mit Partnern aus der Industrie, anwendungsorientiert erarbeitet.

**Funktionsmaterialien:** Der Begriff bezieht sich auf Materialien mit besonderen funktionellen Eigenschaften und deren Anwendungen, z.B. wird Titanoxid in der Wandfarbe verwendet, da es die Funktion eines Weißpigments erfüllt. Kupfer bspw. leitet Strom und diese Funktion wird genutzt.

**Integrierte Produktpolitik (IPP):** Beim Konzept der Integrierten Produktpolitik wird ein Produkt und dessen Umweltwirkungen während des gesamten Produktlebenszyklus betrachtet. Das Ziel ist die Reduktion der Umweltwirkungen, die durch das betrachtete Produkt verursacht werden.

**Kaskadennutzung:** Eine Ressource bzw. ein Modul wird über mehrere Nutzungsstufen eingesetzt bzw. mehrfach genutzt, bis sie am Ende energetisch verwertet wird.

**Kleinbergbau:** Bergbau, bei dem Rohstoffe ohne industrielle Methoden gewonnen werden.

**Komplexität:** Komplex wird auch im Sinne von Vielfalt bzw. Vielfalt in Bezug auf die Produktsammensetzung verwendet. In einem Produkt sind viele Materialien verbaut. Durch die Vielzahl an Materialien wird häufig die Wiederverwertung erschwert.

**Kontrastmittel:** In der Medizin werden Kontrastmittel bei bildgebenden Verfahren wie bspw. beim Röntgen oder bei der Magnetresonanztomografie eingesetzt, um die Darstellung von Körperstrukturen und -formen zu verbessern.

**Kritikalität:** „Rohstoffe werden als kritisch bezeichnet, wenn die Wirtschaft in besonderem Maß von ihnen abhängig ist und sie gleichzeitig im globalen Maßstab bestimmten geologischen, strukturellen, geopolitischen Versorgungsrisiken unterliegen.“ (UBA 2015: 8)

**Lebenszyklusanalyse:** Auch Ökobilanzierung oder in Englisch Life Cycle Assessment, bezeichnet die Analyse von Umweltwirkungen entlang des Lebenswegs eines Produktes. Dies kann sowohl der gesamte Lebensweg, als auch ein Abschnitt sein. Unternehmen nutzen dies, um Optimierungspotentiale hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs aufzudecken und potentielle Risiken zu identifizieren.

**Lignin:** Lignin ist ein fester Stoff, der in pflanzlichen Zellwänden eingelagert wird. Es ist ein Hauptinhaltsstoff von Holz.

**Materialdiversität:** Bezeichnet wie hoch die Vielfalt/Anzahl unterschiedlicher Materialien ist, die in einem Produkt verarbeitet sind.

**Materialien:** Materialien sind durch den Menschen veränderte Rohstoffe mit spezifischen Eigenschaften sowie deren technischen Anwendungen.

**Modularisierte Produktbauweise:** Dadurch besteht ein Produkt aus einzeln austauschbaren Modulen wie z.B. der Akku, die austauschbar sind, wodurch die Reparierbarkeit wird gefördert wird.

**Neuralgische Stelle:** In der Medizin werden neuralgische Punkte als besonders schmerzempfindliche Stellen bezeichnet.

**Ökologischer Fußabdruck:** Der Ökologische Fußabdruck zeigt auf, wie viel Land- und Wasserfläche bei aktueller Technik zur Erneuerung der Ressourcen benötigt wird, um den aktuellen Konsum der Bevölkerung zu befriedigen.

**Primärrohstoffe:** Als Primärrohstoffe werden unbearbeitete fossile, geogene und biogene Stoffe bezeichnet, die bereits gefördert bzw. gewonnen wurden.

**Prozesswasser:** Wasser, das in technischen Anlagen eingesetzt und für die Herstellung von Produkten benötigt wird.

**Rebound-Effekte:** Bezeichnet einen ungewollten Rückkopplungseffekt, der durch Effizienzsteigerung ausgelöst werden kann. Durch die Kosteneinsparungen aufgrund der Effizienzsteigerungen sinken die Stückkosten, wodurch mehr konsumiert werden kann. Durch den Mehrkonsum werden die Materialeinsparungen (über-)kompensiert, sodass der erwünschte Effekt ausbleibt (vgl. Madlener und Alcott 2011)

**Resilienz:** Dies ist die Fähigkeit bzw. Widerstandsfähigkeit eines Systems, mit Hilfe von eigenen Ressourcen und Kompetenzen, von außen herangetragene Krisen zu bewältigen.

**Ressourcen:** Unter Ressourcen werden natürliche Ressourcen verstanden. Die Betrachtung umfasst abiotische Stoffe wie Erze, Industriemineralien und Baustoffe sowie biotische Stoffe, die stofflich verarbeitet werden (vgl. BMUB 2012). Hinzu kommen Polymere, die aus Erdöl produziert werden. Dabei werden nicht nur aus dem Bergbau gewonnene Stoffe betrachtet, sondern ebenfalls Stoffe, die bereits vom Menschen genutzt werden. Im weiteren Sinn sind auch nicht-stoffliche Ressourcen, wie die Ressource „Wissen“ unter dem Begriff zu fassen.

**Ressourcenbestände:** Der Begriff umfasst alle Ressourcen, die verfügbar sind oder bereits verbaut wurden und sich im Umlauf befinden.

**Ressourceneffizienz:** Kennzahl für das Verhältnis eines definierten Nutzens gegenüber dem erforderlichen Ressourceneinsatz. Durch die Reduktion des Materialeinsatzes bei der Produktion einer Produkteinheit steigt die Ressourceneffizienz.

**Ressourcenkompetenz:** Wissen über Risiken und Potenziale von Ressourcen.

**Ressourcenproduktivität:** Kennzahl für die Produktivität einer eingesetzten Ressourcenmenge. Sie stellt das Verhältnis von dem hergestellten Produkt (Output) zu den dafür eingesetzten Ressourcen (Input) dar. Je mehr Output mit einer Einheit Ressourcen produziert werden kann, desto höher ist die Ressourcenproduktivität.

**Sekundärrohstoffe:** Aus recycelten Stoffen wiedergewonnene Stoffe zur weiteren Nutzung.

**Senke:** Bezeichnung für ein Reservoir, das mittel- bis langfristig dissipierte Stoffe aufnimmt und bindet.

**Stoffgeschichten:** Bei dem Konzept der Stoffgeschichten handelt es sich um einen disziplinübergreifenden Ansatz, der Stoffe nicht erst in der komplexen Zusammensetzung in unseren Alltagsgegenständen betrachtet, sondern ihre Geschichte schon viel früher beginnen lässt. Vom Bergbau wird der Weg des Stoffes über Verarbeitung, Produktion bis zum Ende seiner Nutzung verfolgt. Mit diesem Ansatz werden explorativ soziale, kulturelle und politische Fragen einbezogen, die einen Stoff umgeben. Das Konzept der Stoffgeschichten wurde an der Universität Augsburg am Wissenschaftszentrum Umwelt und Lehrstuhl für Ressourcenstrategie von Jens Soentgen und Armin Reller entwickelt (s. Abbildung 1).

**Substitut:** Ersatz, der die gleichen Funktionen erfüllt.

**Technosphäre:** Diese beschreibt den Wirkungsbereich eines technologischen Materials auf den Menschen, seine Umwelt und die Erde insgesamt.

**Umweltpakt:** Der Umweltpakt Bayern ist eine Vereinbarung zur Zusammenarbeit zwischen dem StMUV und der bayerischen Wirtschaft, die 1995 geschlossen wurde. Ziel ist die Schonung von Ressourcen und der Einsatz umweltfreundlicher Technologien.

**Unintendierte Effekte:** Unbeabsichtigte Folgen aus Handlungen.

**Wertschöpfungskette:** Die Wertschöpfungskette stellt die Stufen der Produktion eines Gutes oder Produktes dar. In jedem einzelnen Schritt vom Abbau eines Rohstoffes bis zur Wiederverwertung des Endprodukts wird ein zusätzlicher volkswirtschaftlicher Mehrwert geschaffen. Wertschöpfungsketten umfassen auch die im Produktionsprozess eingebundenen Lieferketten.

**Zellgängigkeit:** Damit wird die Fähigkeit von Nanomaterialien bezeichnet, aufgrund ihrer geringen Größe Zellwände durchdringen zu können und dadurch ggf. [↗bioaktiv](#) zu werden.

## Literaturverzeichnis

Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder (2016): Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder: Band 2 Indikatoren und Kennzahlen. Online verfügbar unter [http://www.ugrdl.de/pdf/ugrdl\\_graf\\_2016.pdf](http://www.ugrdl.de/pdf/ugrdl_graf_2016.pdf), zuletzt geprüft am 06.02.2017.

Babies, Hans-Georg; Buchholz, Peter; Homberg-Heumann, Doris; Huy, Dieter; Messner, Jürgen; Neumann, Wolfgang et al. (2011): Deutschland Rohstoffsituation 2010. In: Deutschland Rohstoffsituation 7.

Bau, Michael; Dulski, Peter (1996): Anthropogenic origin of positive gadolinium anomalies in river waters, in: Earth and Planetary Science Letters 143, S. 245-255.

Bayerische Staatsregierung (2013): Bayerische Nachhaltigkeitsstrategie. München.

Bayerischer Industrie- und Handelskammertag e.V. (BIHK) (2015): Rohstoffreport Bayern 2015. Aktuelle Rohstoffsituation der bayerischen Industrie. Online verfügbar unter <https://www.ihk-nuernberg.de/de/media/PDF/Innovation-Umwelt/Umwelt/bihk-rohstoffreport-bayern-2015.pdf>, zuletzt geprüft am 07.12.2015.

Bayerischer Rundfunk (2015): BR-Bayernstudie 2015 – Kernergebnisse. Online verfügbar unter <http://www.br.de/unternehmen/service/medienforschung/2015-br-bayernstudie-100~attachment.pdf?version=7cf92>, zuletzt geprüft am 02.02.2017.

Bayerisches Landesamt für Statistik (2016): Ausfuhr und Einfuhr Bayerns im Dezember 2015. München.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2017): Nachhaltiges Lieferkettenmanagement – Ein Überblick für Klein- und Mittelunternehmen (KMU). Online verfügbar unter [http://www.izu.bayern.de/fachwissen/detail\\_fachwissen.php?pid=0203010100369](http://www.izu.bayern.de/fachwissen/detail_fachwissen.php?pid=0203010100369), zuletzt geprüft am 01.02.2017.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) (2015): „Die Chancen einer nachhaltigen Wirtschaft nutzen“ – Brunner beruft Sachverständigenrat für Bioökonomie. Online verfügbar unter <http://www.stmelf.bayern.de/service/presse/pm/2015/104172/index.php>, zuletzt geprüft am 31.01.2017.

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) (2016): Ressourcenschutz. Online verfügbar unter <http://www.stmuv.bayern.de/themen/abfallwirtschaft/ressourcenschutz/index.htm>, zuletzt geprüft am 19.05.2016.

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie (StMWi) (2002): Rohstoffe in Bayern. Situation, Prognosen, Programm. München. Online verfügbar unter [http://www.rohstoffstrategie-bayern.de/fileadmin/user\\_upload/stmwivt/Publikationen/Rohstoffe\\_in\\_Bayern.pdf](http://www.rohstoffstrategie-bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwivt/Publikationen/Rohstoffe_in_Bayern.pdf), zuletzt geprüft am 05.01.2016.

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (StMWi) (2015): Industriebericht Bayern 2015. Online verfügbar unter [http://www.iwconsult.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/public/pdfs/Industriebericht\\_Bayern\\_2201\\_final.pdf](http://www.iwconsult.de/fileadmin/user_upload/downloads/public/pdfs/Industriebericht_Bayern_2201_final.pdf), zuletzt geprüft am 03.08.2016.

BMW (2016): BMW i. Online verfügbar unter <http://www.bmw.com/com/de/newvehicles/i/overview.html>; zuletzt geprüft am 31.01.2017.

Böschen, Stefan; Reller, Armin; Soentgen, Jens (2004): Stoffgeschichten – eine neue Perspektive für transdisziplinäre Umweltforschung, in: GAIA 13, Nr. 1, S. 19-25.

Böschen, Stefan (2000): Risikogenese. Prozesse gesellschaftlicher Gefahrenwahrnehmung; FCKW, DDT, Dioxin und Ökologische Chemie. Opladen: Leske + Budrich (Forschung Soziologie 81).

Buchert, Matthias; Degreif, Stefanie; Hünecke, Katja; Manhart, Andreas; Schmidt, Gerhard; Schulze, Falk; Stahl, Hartmut (2015): 1. Policy Paper: Deutschland 2049 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft. Öko-Institut e.V. Darmstadt. Online verfügbar unter <http://www.oeko.de/oekodoc/2333/2015-500-de.pdf>, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2012): Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland: Forschungs- und Entwicklungsprogramm des BMBF für neue Rohstofftechnologien. Online verfügbar unter [https://www.fona.de/mediathek/pdf/Wirtschaftsstrategische\\_Rohstoffe\\_barrierefrei\\_neu.pdf](https://www.fona.de/mediathek/pdf/Wirtschaftsstrategische_Rohstoffe_barrierefrei_neu.pdf), zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016a): Den ökologischen Wandel gestalten. Integriertes Umweltprogramm 2030. Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/integriertes\\_umweltprogramm\\_2030\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/integriertes_umweltprogramm_2030_bf.pdf), zuletzt geprüft am 17.11.2016.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016b): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II: Programm zu nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Online verfügbar unter: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/progress\\_ii\\_broschuer\\_e\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuer_e_bf.pdf), zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2015): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. 2. Aufl. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/progress\\_broschuer\\_de\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_broschuer_de_bf.pdf), zuletzt geprüft am 20.10.2015.

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) (2010): Entwicklungspolitisches Strategiepapier Extraktive Rohstoffe. Online verfügbar unter [https://www.bmz.de/de/mediathek/publikationen/archiv/reihen/strategiepapiere/Strategiepapier229\\_04\\_2010.pdf](https://www.bmz.de/de/mediathek/publikationen/archiv/reihen/strategiepapiere/Strategiepapier229_04_2010.pdf), zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2010): Rohstoffstrategie der Bundesregierung: Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen. Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/rohstoffstrategie-der-bundesregierung>, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Deutscher Bundestag (2016): Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (16. Ausschuss), Drucksache 18/9094. Online verfügbar unter <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/090/1809094.pdf>, zuletzt geprüft am 18.08.2016.

Ertl, Gerhard; Soentgen, Jens (2015): N. Stickstoff – ein Element schreibt Weltgeschichte. München: oekom verlag.

Escher, Jacqueline (2015): Jung und motiviert – Energiescouts. Online verfügbar unter: <https://www.wuerzburg.ihk.de/ueber-uns/news/artikel/jung-und-motiviert-energiescouts-1.html?L=1>, zuletzt geprüft am 17.11.2016.

Essel, Roland; Engel, Linda; Carus, Michael: Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland. Studie des nova-Instituts GmbH, Hürth im Auftrag des Umweltbundesamtes. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_63\\_2015\\_quellen\\_fuer\\_mikroplastik\\_mit\\_relevanz\\_fuer\\_den\\_meeresschutz\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_63_2015_quellen_fuer_mikroplastik_mit_relevanz_fuer_den_meeresschutz_1.pdf), zuletzt geprüft am 01.02.2017.

Europäische Kommission (2008): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat: Die Rohstoffinitiative – Sicherung der Versorgung Europas mit den für Wachstum und Beschäftigung notwendigen Gütern. Online verfügbar unter [http://www.abbm-bayern.de/www/media/tools\\_downloads/EU-Rohstoffinitiative.PDF](http://www.abbm-bayern.de/www/media/tools_downloads/EU-Rohstoffinitiative.PDF), zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Exner, Andreas; Held, Martin; Kümmerer, Klaus (2016): Einführung: Kritische Metalle in der Großen Transformation, in: Exner, Andreas; Held, Martin; Kümmerer, Klaus (Hg.): Kritische Metalle in der Großen Transformation, Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag, S. 1-16.

Förtsch, Gabi; Meinholz, Heinz (2015): Handbuch Betriebliche Kreislaufwirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Gantner, Oliver (2016): Ressourcenstrategische Betrachtung der Kritikalität von Phosphor. Aachen: Shaker Verlag.

Geets, Siobhán (2015): Die Geister von Kolontár. Online verfügbar unter [http://www.wienerzeitung.at/nachrichten/europa/europachronik/778139\\_Die-Geister-von-Kolontar.html](http://www.wienerzeitung.at/nachrichten/europa/europachronik/778139_Die-Geister-von-Kolontar.html), zuletzt geprüft am 16.11.2016.

Graedel, Thomas E.; Barr, Rachel; Chandler, Chelsea; Chase, Thomas; Choi, Joanne; Christofersen, Lee et al. (2011): Methodology of Metal Criticality Determination. In: Environmental Science & Technology, S. A-H.

Groh, Dirk; Pipke, Larissa; Galander, Franziska; Schneider, Sarah (2011): Arzneimittelrückstände in der Umwelt. Datenbankauszug aus der Umweltforschungsdatenbank UFORDAT. Hg. Umweltbundesamt: Dessau-Rosslau.

- Hagelüken, Christian; Lee-Shin, Ji Un; Carpentier, Annick; Heron, Chris (2016): The EU Circular Economy and Its Relevance to Metal Recycling. In: Recycling, 1, S. 242-253.
- Held, Martin; Reller, Armin (2016): Die stofflichen Voraussetzungen der Energiewende in der Großen Transformation, in: Exner, Andreas; Held, Martin; Kümmerer, Klaus (Hg.): Kritische Metalle in der Großen Transformation, Berlin: Springer-Verlag, S. 109-135.
- Höglmeier, Karin; Weber-Blaschke, Gabriele; Richter, Klaus (2016): Kaskadennutzung von Altholz in Bayern. Mengenpotenziale aus dem Gebäudebestand und ökologische Bewertung, in: LWF aktuell 2, S. 8-11.
- Huisman, J.; Botezatu, I.; Herreras, L.; Liddane, M.; Hintsa, J.; Luda die Cortemiglia, V. et al. (2015): Countering WEEE Illegal Trade (CWIT). Summary Report, Market Assessment, Legal Analysis, Crime Analysis and Recommendations Roadmap. Lyon.
- Huppenbauer, Markus; Reller, Armin (1996): Stoff, Zeit und Energie: Ein transdisziplinärer Beitrag zu ökologischen Fragen, in: GAIA 5, Nr. 2, S. 103-115.
- Kerkow, Uwe; Martens, Jens; Müller, Axel (2012): Vom Erz zum Auto. Abbaubedingungen und Lieferketten im Rohstoffsektor und die Verantwortung der deutschen Automobilindustrie. Hg. v. MISEREOR, Brot für die Welt und Global Policy Forum Europe. Aachen.
- Kümmerer, Klaus (2016): Konzentration, Funktionalität und Dissipation – Grundkategorien zum Verständnis der Verfügbarkeit metallischer Rohstoffe, in: Exner, Andreas; Held, Martin; Kümmerer, Klaus (Hg.): Kritische Metalle in der Großen Transformation, Berlin: Springer-Verlag, S. 53-86.
- Luttner, Stephan; Giljum, Stefan; Lieber, Mirko (2016): The Use of Natural Resources. Report for Germany 2016. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/161025\\_ressourcenbericht\\_en.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/161025_ressourcenbericht_en.pdf), zuletzt geprüft am 17.11.2016.
- Madlener, Reinhard; Alcott, Blake (2011): Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkoppelung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum: Unter besonderer Berücksichtigung der Systematisierung von Rebound-Effekten und Problemverschiebungen. Online verfügbar unter <http://webarchiv.bundestag.de/archive/2012/0910/bundestag/gremien/enquete/wachstum/gutachten/m17-26-13.pdf>, zuletzt geprüft am 08.11.2016.
- Manhart, Andreas; Schleicher, Tobias (2013): Conflict minerals - An evaluation of the Dodd-Frank Act and other resource-related measures. Öko Institut e.V. Freiburg. Online verfügbar unter <http://www.oeko.de/oekodoc/1809/2013-483-en.pdf>, zuletzt geprüft am 01.08.2016.
- Marschall, Luitgard; Schmidt, Claudia; Soentgen, Jens (2013): Stoffgeschichten: Ein Instrument zur Analyse und Kommunikation. In: Armin Reller, Luitgard Marschall, Simon Meißner und Claudia Schmidt (Hg.): Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 195–210.
- Nestler, Franz (2015): Warum China die seltenen Erden freigibt. Online verfügbar unter <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/rohstoffe-warum-china-die-seltenen-erden-freigibt-13354646.html>, zuletzt geprüft am 31.01.2017.

Norgate, Terry; Jahanshahi, Sharif (2010): Improving the sustainability of primary metal production: the need for a life cycle approach. Proceedings of the XXV. International Mineral Processing Congress, Brisbane, Australia, S. 3375-3584.

Reller, Armin; Böckenholt, Christian; Fendt, Julia (2016): Ansatz einer zukunftsweisenden Ressourcennutzung in Bayern – der Projektverbund ForCycle, in: Teipel, Ulrich; Reller, Armin (Hg.): 4. Symposium Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen. 17./18. Februar 2016, Evangelische Akademie Tutzing, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 391-399.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2005): Auf dem Weg zur Europäischen Ressourcenstrategie: Orientierung durch ein Konzept für eine stoffbezogene Umweltpolitik. Sachverständigenrat für Umweltfragen. Online verfügbar unter [http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04\\_Stellungnahmen/2005\\_Stellung\\_Europaeische\\_Ressourcenstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2005_Stellung_Europaeische_Ressourcenstrategie.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 01.02.2017.

Schiller, Georg; Ortlepp, Regine; Krauß, Norbert; Steger, Sören; Schütz; Fernández, José Acosta; Reichenbach, Jan; Wagner, Jörg; Baumann, Janett (2015): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_83\\_2015\\_kartierung\\_des\\_anthropogenen\\_lagers.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf), zuletzt geprüft am 13.09.2016.

Schischke, Karsten; Proske, Marina; Sommer, Philipp; Trinks, Tina (2016): "Wie nachhaltig ist das Fairphone 2?". Ergebnisse einer Expertenbefragung. Hg. v. Fraunhofer IZM und Deutsche Umwelthilfe. Berlin.

Schmidt, Claudia (2013): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. In: Reller, Armin; Marschall, Luitgard; Meißner, Simon; Schmidt, Claudia (Hg.): Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 154–167.

Schmidt, Claudia (2015): Ressource Bildung. Ein didaktisches Konzept für Entscheidungen unter Nachhaltigkeit. Würzburg: Ergon-Verlag.

Strobel, Claudia; Torrano, Adriano A.; Herrmann, Rudolf; Malissek, Marcelina; Brauchle, Christoph; Reller, Armin et al. (2014): Effects of the physicochemical properties of titanium dioxide nanoparticles, commonly used as sun protection agents, on microvascular endothelial cells. In: Journal of Nanoparticle Research 16, S. 2130.

Tajitsu, Naomi; Yamazaki, Makiko (2016): Toyota, other major Japanese firms hit by quake damage, supply disruptions. Online verfügbar unter <http://www.reuters.com/article/us-japan-quake-toyota-idUSKCN0XE08O>, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

TNS Political & Social (2013): Flash Eurobarometer 367: Attitudes of Europeans towards building the single market for green products. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/flash/fl\\_367\\_sum\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_367_sum_en.pdf), zuletzt geprüft am 18.08.2016.

Umweltbundesamt (UBA) (2016): Rohstoffproduktivität. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/rohstoffe-als-ressource/rohstoffproduktivitaet#textpart-1>, zuletzt geprüft am 02.02.2017.

Umweltbundesamt (UBA) (2015): Elemente einer erfolgreichen Ressourcenschonungspolitik. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba-positionspapier\\_elemente\\_einer\\_erfolgreichen\\_ressourcenschonungspolitik\\_2015\\_web\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba-positionspapier_elemente_einer_erfolgreichen_ressourcenschonungspolitik_2015_web_0.pdf), zuletzt geprüft am 18.08.2016.

Umweltdialog (2013): Nachweislich nachhaltig: ISO-Zertifikat für die Ökobilanz des BMW i3. Online verfügbar unter [http://www.umweltdialog.de/de/wirtschaft/mobilitaet/archiv/2013-11-13\\_Nachweislich-nachhaltig-ISO-Zertifikat-fuer-die-Oekobilanz-des-BMW-i3.php](http://www.umweltdialog.de/de/wirtschaft/mobilitaet/archiv/2013-11-13_Nachweislich-nachhaltig-ISO-Zertifikat-fuer-die-Oekobilanz-des-BMW-i3.php), zuletzt geprüft am 31.01.2017.

Umweltpakt Bayern (2015): Gemeinsam Umwelt und Wirtschaft stärken. Unter Mitarbeit von Vereinbarung zwischen der Bayerischen Staatsregierung und der bayerischen Wirtschaft vom 23.10.2015. Online verfügbar unter [https://www.umweltpakt.bayern.de/ueber\\_uns/doc/vereinbarung.pdf](https://www.umweltpakt.bayern.de/ueber_uns/doc/vereinbarung.pdf), zuletzt geprüft am 29.12.2015.

Von Wecus, Axel; Willeke, Katja (2015): Status quo der Ressourceneffizienz im Mittelstand: Befragung von Unternehmensentscheidern im verarbeitenden Gewerbe 2015. Online verfügbar unter [http://www.ressourcen-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/studien/Studie\\_VDI\\_ZRE\\_Status\\_quo\\_Ressourceneffizienz\\_2015.pdf](http://www.ressourcen-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/Studie_VDI_ZRE_Status_quo_Ressourceneffizienz_2015.pdf), zuletzt geprüft am 02.02.2017.

Weber, Manuel; Oberender, Christoph (2014): Ressourceneffizienz im Fokus der betrieblichen Kostenrechnung. Online verfügbar unter [http://www.ressourcen-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-06-Kostenrechnung.pdf](http://www.ressourcen-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-06-Kostenrechnung.pdf), zuletzt geprüft am 31.01.2017.

Zebralog GmbH & Co. KG; Unabhängiges Institut für Umweltfragen, UfU e.V. (2015): Aufbereitung der Ergebnisse des Bürgerdialogs "GesprächStoff: Ressourcenschonend leben". Zur Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess II). Online verfügbar unter <https://www.gespraechstoff-ressourcen.de/sites/default/files/downloads/Aufbereitung%20der%20Ergebnisse%20Gespr%c3%a4chstoff%2020160219b.pdf>, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Zepf, Volker (2013): Rare earth elements. A new approach to the nexus of supply, demand and use – exemplified by the use of neodymium in permanent magnets. Berlin: Springer (Springer Theses).

Zepf, Volker; Reller, Armin; Rennie, Cameron; Simmons, John; Ashfield, Morag (2014): Materials critical to the energy industry. An introduction. 2. Aufl. London: Universität Augsburg; BP.