



Effizienz zahlt sich aus

Zahlen, Daten, Fakten zur
Ressourceneffizienz in Bayern

A graphic consisting of a network of white dots connected by thin lines, set against a dark blue background with glowing blue dots. The network is denser at the top and fades towards the bottom.

REZ

Ressourceneffizienz-
Zentrum Bayern





Effizienz zahlt sich aus

**Zahlen, Daten, Fakten zur
Ressourceneffizienz in Bayern**

IMPRESSUM

Effizienz zahlt sich aus

Zahlen, Daten, Fakten zur Ressourceneffizienz in Bayern

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Telefon: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Konzept und Text:

Prognos AG
Nymphenburger Straße 14
80335 München

Redaktion:

LfU

Bildnachweis:

siehe Seite 53

Druck:

Pauli Offsetdruck e.K.
Am Saaleschloßchen 6
95145 Oberkotzau

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Stand:

Mai 2020, aktualisierte Onlineversion
Korrekturen gegenüber der Druckfassung:
S. 12 u. 13, Abb. 5 u. 6: Die Werte der X-Achsen sind nun in Mrd. € bzw. Mio. t angegeben.

Die Studie wurde im Rahmen des Projekts Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern erstellt, welches finanziert wird durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz.

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

INHALT

Vorwort	4	Chancen ergreifen	35
Einführung	5	Charakterisierung unterschiedlicher Branchen anhand der Rohstoffnähe	35
Zusammenfassung	6	Rohstoffnähe der bayerischen Industriebranchen	36
Maß nehmen	6	Rohstoffbedarf der bayerischen Industrie	37
Potenziale aufdecken	6	Blick auf die bayerischen Leitbranchen: Rohstoffnutzung und Praxisbeispiele zur Umsetzung von Ressourceneffizienz	39
Chancen ergreifen	7	Ressourceneffizienz im Fahrzeugbau	40
Maß nehmen	8	Ressourceneffizienz im Maschinenbau	42
Rohstoffverbrauch	8	Ressourceneffizienz in der Elektroindustrie	44
Entwicklung des Verbrauchs	9	Ressourceneffizienz in der Branche Chemie, Pharmazie, Gummi und Kunststoffe	46
Rohstoffproduktivität	10	Ressourceneffizienz in der Metallindustrie	48
Außenhandel mit Rohstoffen	11	Effizienz zahlt sich aus – Werden auch Sie aktiv!	49
Bayerns Import von Rohstoffen und Rohmaterialien	12	Kontakt	50
Bayerns Export von Rohstoffen und Rohmaterialien	13	Anhang	51
Rohstoffe im Kreislauf	14	Bildnachweis	53
Potenziale aufdecken	17		
Industrierohstoffe im Überblick	17		
Ausgewählte Schlüsselrohstoffe für die bayerische Industrie	22		
Aluminium	23		
Antimon	24		
Eisen	25		
Kobalt	26		
Kupfer	27		
Lithium	28		
Magnesium	29		
Platingruppe	30		
Seltene Erden	31		
Silizium	32		
Tantal	33		
Wolfram	34		



VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

in Bayern nutzen wir sowohl für Produkte des täglichen Bedarfs als auch für Zukunftstechnologien immer mehr Rohstoffe. Global gesehen steigen die absoluten Rohstoffverbräuche durch eine wachsende Weltbevölkerung und deren größer werdenden Konsumanspruch. Auch die Vielfalt der eingesetzten Rohstoffe in den Produkten nimmt stetig zu – letztlich ist es unser Erfindergeist, der uns immer mehr Elemente des Periodensystems nutzen lässt für Verwendungen aller Art. Höchste Zeit, sich die Begrenztheit unserer Rohstoffe vor Augen zu führen und aus ökologischen und ökonomischen Gründen eine effiziente und effektive Verwendung unserer Ressourcen sicherzustellen.

Woher stammen diese Rohstoffe? Solche wie Platingruppenelemente, Seltene Erden, Eisenerze oder Kupfer werden aus der ganzen Welt zu uns nach Bayern importiert. Die bayerischen Unternehmen sind somit abhängig von der weltweiten Verfügbarkeit und den schwankenden Preisen der Rohstoffe. Neben der Abhängigkeit von den globalen Rohstoffmärkten müssen wir die Frage nach den Umweltauswirkungen in den Herkunftsländern zulassen.

Eine effiziente und effektive Verwendung der Ressourcen ist daher das Gebot der Stunde: Ansatzpunkte dafür gibt es insbesondere im verarbeitenden Gewerbe. Dort machen die Materialkosten rund 43 % der Gesamtkosten aus. Einsparungen lohnen daher in besonderem Maße. Oftmals befördert ressourceneffizientes Handeln innovative Produktionsprozesse und Produktentwicklungen, bei geschicktem Marketing steigt zudem das Ansehen des Unternehmens – und ganz nebenbei werden Ressourcen geschont!

Seit 2016 ist das Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern (REZ) am Bayerischen Landesamt für Umwelt die zentrale Anlaufstelle für bayerische Unternehmen zum Thema Ressourceneffizienz. Der Fokus des REZ liegt auf den Rohstoffen zur stofflichen Nutzung sowie auf Sekundärrohstoffen. Diese bilden daher den Schwerpunkt der vorliegenden Studie.

Liebe Leserinnen und Leser, wir hoffen, dass Ihnen die Broschüre „Effizienz zahlt sich aus – Zahlen, Daten, Fakten zur Ressourceneffizienz in Bayern“ interessante Hintergrundinformationen und Impulse zur Ressourceneffizienz in Bayern gibt und Sie Ihre Ideen weiterhin für den Erhalt unserer Ressourcen – zum Schutz unserer Umwelt – einbringen.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Kumutat', written in a cursive style.

Claus Kumutat
Präsident des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

EINFÜHRUNG

Von Ressourceneffizienz profitieren Umwelt und Unternehmen. Konkret beschreibt der Begriff das Verhältnis eines bestimmten Nutzens zum dafür nötigen Ressourceneinsatz. Natürliche Ressourcen umfassen dabei alle Elemente aus der Natur, die für den Menschen einen bestimmten Nutzen haben. Darunter fallen viele Bereiche, wie etwa Wasser, Luft, Boden und Flächen, bis hin zu Ökosystemen und Biodiversität. Das Hauptaugenmerk dieser Broschüre liegt auf den abiotischen und biotischen Rohstoffen, die im Kontext der Ressourcennutzung durch Gewerbe und Industrie von besonderer Bedeutung sind.

Die Ressourceneffizienz zu steigern bedeutet, mit weniger mehr zu erreichen. Damit werden nicht nur knappe Ressourcenbestände geschont, sondern auch mit dem Rohstoffabbau verbundene Umweltauswirkungen vermieden und eine energieintensive Erzeugung von Primärrohstoffen vermindert. Die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch gehört seit vielen Jahren zu den wichtigsten Zielen einer nachhaltigen industriellen Entwicklung. Der Freistaat Bayern hat einen 7-Punkte-Plan zum sparsamen und effizienten Einsatz von Ressourcen beschlossen. Ziel des 7-Punkte-Plans ist es, Ressourcen punktgenau einzusetzen und die unnötige Verwendung von Rohstoffen weiter zu reduzieren. Neben dem Schutz der Umwelt hat Ressourceneffizienz auch handfeste Vorteile für Unternehmen: Kosteneinsparungen, Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit sowie eine geringere Abhängigkeit von Rohstoffmarkt und Preisschwankungen sind zentrale Argumente für ein nachhaltiges Wirtschaften im Sinne eines effizienten Rohstoffeinsatzes.

Neben materialeffizienten Produktionsprozessen stellen auch Recycling und Sekundärrohstoffe eine wichtige Säule der Ressourceneffizienz dar. Mit einer Steigerung der Recyclingquoten kann der Verbrauch an Primärrohstoffen weiter gesenkt werden. Neue Impulse entstehen dabei ebenfalls durch das Konzept der „Circular Economy“. Dieses sieht ein regeneratives Wirtschaftssystem vor, welches Kreisläufe schließt und Materialverluste konsequent minimiert. Ressourceneffizienz beginnt dabei bereits beim Design von Produkten und schließt die Optimierung von Herstellungsprozessen, das Recycling und die effektive Nutzung von Sekundärmaterialien mit ein.

Die vorliegende Studie „Effizienz zahlt sich aus – Zahlen, Daten, Fakten zur Ressourceneffizienz in Bayern“ gibt einen Überblick über die Rohstoffverwendung und Effizienzpotenziale im Freistaat. Nach einer einordnenden Betrachtung des Gesamtverbrauchs und der Rohstoffproduktivität konzentriert sich die weitere Analyse auf den Aspekt der Material- und Rohstoffeffizienz von abiotischen Rohstoffen zur stofflichen, das heißt nicht-energetischen, Nutzung sowie auf den Einsatz von Sekundärrohstoffen. Hierbei werden unter anderem die Im- und Exporte von Rohstoffen in Bayern betrachtet und die Rohstoffnutzung von prägenden Leitbranchen Bayerns beleuchtet. Anschließend werden die wichtigsten Rohstoffe im Überblick dargestellt und entscheidende Schlüsselrohstoffe im Einzelnen präsentiert. Praxisbeispiele verdeutlichen verschiedene Ansätze eines umweltschonenden und effizienten Umgangs mit Rohstoffen im Verarbeitenden Gewerbe. Sie zeigen, wie Unternehmen dazu beitragen, Kreisläufe zu schließen und einen effizienten Rohstoffeinsatz fördern. Die vorliegende Studie fokussiert auf das verarbeitende Gewerbe mit seinen Abhängigkeiten von Rohstoffen für die weitgehend Importabhängigkeiten bestehen. Das Baugewerbe wird in der vorliegenden Studie nicht betrachtet, wenngleich es im produzierenden Gewerbe in Bayern eine wichtige Rolle spielt. Grund ist, dass lediglich die Produktion von Halbzeugen für das Baugewerbe Bestandteil des verarbeitenden Gewerbes ist, das Baugewerbe für sich aber einen eigenen Wirtschaftszweig darstellt. Der Bedarf gesonderter Untersuchungen wird geprüft.

Der Analyseansatz der Studie greift auf amtliche wissenschaftliche und wirtschaftsstatistische Daten sowie qualitative Interviews mit Unternehmensvertretern zurück. Auf diese Weise kann ein umfassendes und differenziertes Bild der Ressourceneffizienz in Bayern gegeben werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Maß nehmen



Positive Signale in Richtung Ressourceneffizienz zeigen sich in Bayern bei der Betrachtung der Rohstoffproduktivität. Sie beschreibt das Verhältnis des Rohstoffeinsatzes zur daraus resultierenden Bruttowertschöpfung. In den vergangenen 20 Jahren ist sie deutlich gestiegen: gegenüber dem Basisjahr 1994 hat sich die Rohstoffproduktivität in Bayern 2016 um 68 % verbessert.

Der Rohstoffverbrauch ist seit 1994 trotz starkem Wirtschaftswachstum stabil geblieben. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich hier jedoch ein ambivalentes Bild. Während der Verbrauch abiotischer Rohstoffe in den letzten 20 Jahren zurückgegangen ist (rund -10 %, 1994–2016), hat die Nutzung biotischer Rohstoffe stark zugenommen (etwa +30 %).

Auch in der Kreislaufwirtschaft können weitere Potenziale ausgeschöpft werden. Zwar ist die Abfallintensität in den letzten Jahren gesunken, auf jeden Erwerbstätigen in der bayerischen Industrie kommen jedoch nach wie vor jährlich über sechs Tonnen Abfälle. Das Recycling hat für viele Abfallströme bereits ein hohes Niveau erreicht. Weiterhin große Herausforderungen bestehen jedoch im Hinblick auf die Verwertung von komplexen Stoffgefügen und die Rückführung in den Stoffkreislauf. Die geringe Akzeptanz und Nutzung von Sekundärrohstoffen schränkt die Ressourceneffizienz an dieser Stelle ein.

Die bayerische Nachfrage nach Rohstoffen aus dem Ausland verzeichnet einen starken Anstieg im Jahr 2017, verglichen mit den Vorjahren. Von 2016 auf 2017 stieg der Rohstoffimport um eine Milliarde Euro an, somit wurden vor dem Hintergrund der starken wirtschaftlichen Entwicklung so viele Rohstoffe eingeführt wie noch nie. Auch der Wert der bayerischen Gesamtimporte befand sich mit knapp 180 Milliarden Euro auf einem Rekordhoch, ebenso wie der Gesamtexport mit 192 Milliarden Euro. Im Zeitraum 2008–2017 stieg der Rohstoffimport gemessen in Euro durchschnittlich um 4,6 % an. Noch stärker entwickelte sich der Export von Rohstoffen. Ausgehend vom Basisjahr 2008 kann hier eine jährliche Steigerung von 7,7 % verzeichnet werden.

Potenziale aufdecken



Die Studie beleuchtet die wichtigsten Rohstoffe für die bayerische Industrie im Detail. Anhand verschiedener Kriterien – von Rohstoffversorgung und Umweltbelastung bis hin zu Nachfrage und Rohstoffpreisen – werden die Bezüge und Potenziale zur Ressourceneffizienz von 49 Industrierohstoffen betrachtet.

Für die bayerische Industrie sind im Hinblick auf die Ressourceneffizienz die folgenden zwölf Schlüsselrohstoffe von besonderer Relevanz: Aluminium, Antimon, Eisen, Kobalt, Kupfer, Lithium, Magnesium, Platin, Seltene Erden, Silizium, Tantal und Wolfram. Bei diesen Rohstoffen ist ein effizienter Umgang besonders geboten, da sie als Volumenrohstoffe in hohem Maße nachgefragt, über ein hohes Versorgungsrisiko verfügen oder von besonderer Relevanz für Zukunftstechnologien sind.

Chancen ergreifen

Je nach Branche und Unternehmenstätigkeit variieren die Möglichkeiten, Rohstoffe effizient einzusetzen und die Ressourceneffizienz aktiv zu fördern. Die Studie nimmt die Rohstoffsituation der fünf wichtigsten Industriebranchen Bayerns in den Blick: Fahrzeugbau, Maschinenbau, Elektroindustrie, die Metallindustrie sowie die Chemie-, Pharmazie-, Gummi- und Kunststoffindustrie.

Fahrzeug- und Maschinenbau sowie die Elektroindustrie lassen sich anhand ihrer Nähe zu Rohstoffen als rohstoffintensive Branchen charakterisieren. Diese Branchen beziehen in einem großem Umfang Rohstoffe beziehungsweise Rohmaterialien und verarbeiten diese zu Produkten. Der Maschinenbau ist davon mit Blick auf die Rohstoffproduktivität die produktivste Branche. Mit jeder eingesetzten Tonne Rohstoff wird eine Bruttowertschöpfung von 744 Euro (Stand 2014) generiert. Die Metallindustrie sowie die Chemie-, Pharmazie-, Gummi- und Kunststoffindustrie sind die wichtigsten rohstoffverarbeitenden¹ Branchen Bayerns. Dabei hat die Metallindustrie insgesamt den höchsten Rohstoffbedarf. Sie weist vor dem Hintergrund der im Branchenvergleich niedrigen Fertigungstiefe die geringste Rohstoffproduktivität auf, mit einer Bruttowertschöpfung von etwa 190 Euro pro eingesetzte Tonne.

Allen Fällen gemein ist, dass Ressourceneffizienz beziehungsweise ein effizienter Materialeinsatz Hand in Hand mit Wirtschaftlichkeit gehen. Somit haben viele Unternehmen ein Grundinteresse an einem sparsamen Rohstoffeinsatz und an einem Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen. Beispielhaft für die fünf bayerischen Leitbranchen zeigen die Unternehmen Bühler Motor GmbH, Bauer Maschinen & Technologie GmbH & Co. KG, SPINNER GmbH und Wacker Chemie AG wie mit Rohstoffen verantwortungsvoll umgegangen werden kann:

- Mit Materialexpertinnen und -experten sowie interdisziplinären Kompetenzteams arbeitet die Bühler Motor GmbH stetig an der Steigerung der Ressourceneffizienz und der Bedarfssenkung der Seltenen Erdmagneten in Motoren und Pumpen (Branche: Fahrzeugbau).
- Durch die Aufarbeitung alter Maschinen und Turbolader kann die Unternehmensgruppe Bauer Maschinen & Technologie GmbH & Co. KG mindestens 95 % ihrer Schlüsselrohstoffe Eisen oder auch Aluminium einsparen und ohne einen Qualitätsverlust die Produktlebensdauer erheblich verlängern (Branche: Maschinenbau).
- Verfahrensoptimierungen zur Vermeidung von Materialabfällen wie das neue Lasertechnikverfahren haben bei der SPINNER GmbH unter anderem zu Einsparungen von 10–15 % des Kupferbedarfs geführt (Branche: Elektroindustrie).
- Der Silizium-Verbundkreislauf der Wacker Chemie AG ermöglicht einen effizienten Rohstoffeinsatz in der Produktion durch eine konsequente, vollständige Verwendung von anfallenden Nebenprodukten zu neuen Ausgangsmaterialien (Branche: Chemieindustrie).





Maß nehmen

Stand und Entwicklung der Ressourceneffizienz in Bayern

ROHSTOFFVERBRAUCH

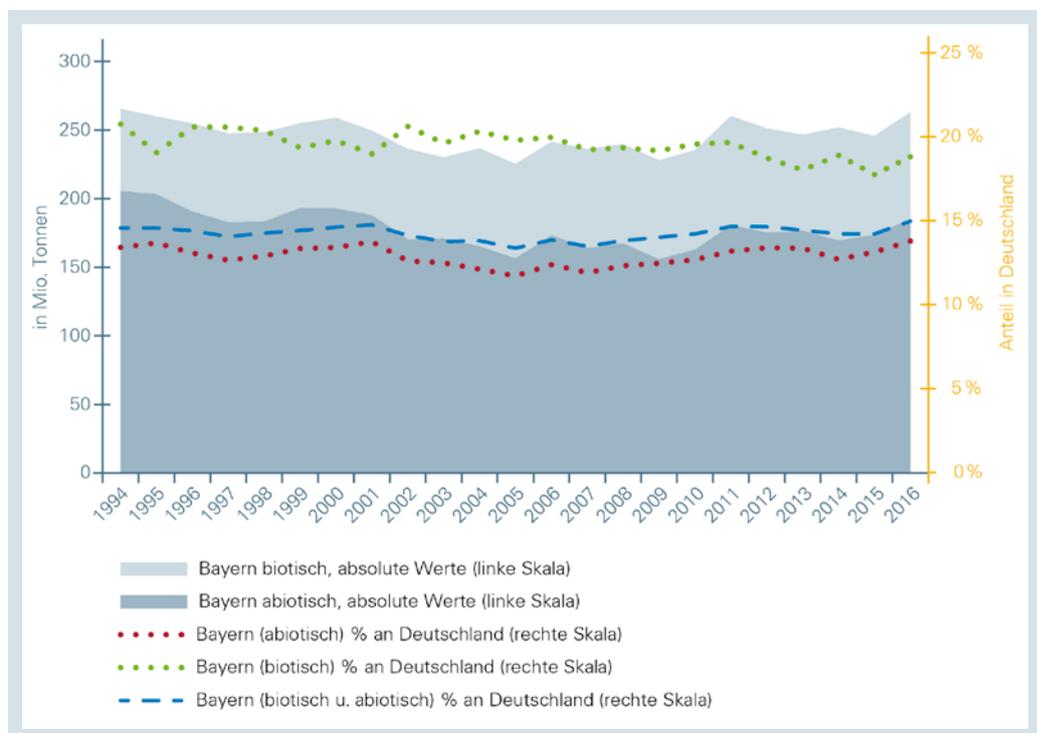
Rohstoffe bilden die Grundlage für die industrielle Produktion und den materiellen Wohlstand. Zu unterscheiden ist zwischen abiotischen Rohstoffen, das heißt Mineralien wie Erze und Steine, und biotischen Rohstoffen tierischen und pflanzlichen Ursprungs. Rohstoffe sind begrenzt verfügbar und ihre Entnahme aus der Natur kann mit Umweltauswirkungen einhergehen.

Die Senkung des abiotischen und biotischen Rohstoffverbrauchs ist ein zentrales Ziel im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung. Für den Indikator Rohstoffverbrauch existieren auf Grund komplexer Stoffströme und Handelsverflechtungen unterschiedliche Berechnungsmethoden. Gängig ist die Verbrauchsbestimmung anhand des direkten Materialeinsatzes (DMI)², der die Entnahme und Verwertung von Primärmaterial für ökonomische Aktivitäten bemisst (Abbildung 1).

Abb. 1:

Rohstoffverbrauch biotischer und abiotischer Stoffe (DMI einschl. Saldo des Intrahandels)

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Statistischen Ämter der Länder



Demnach werden in Bayern jedes Jahr insgesamt etwa 250 Millionen Tonnen Rohstoffe (abiotisch und biotisch) verbraucht. Vier Fünftel davon werden stofflich genutzt. Der Verbrauch zur energetischen Nutzung liegt bei nur etwa einem Fünftel. Der Gesamtverbrauch bleibt in

Abbildung 1 zwischen 1994 und 2016 weitgehend konstant. Während sich der Verbrauch abiotischer Rohstoffe zwar im Zeitverlauf leicht abschwächt, wird dieser Rückgang durch eine Steigerung des Verbrauchs biotischer Rohstoffe kompensiert. Pro Kopf liegt der Gesamtverbrauch im Freistaat 2016 bei 19,8 Tonnen.

Bayerns Anteil am bundesweiten Rohstoffverbrauch liegt insgesamt bei etwa 15 %. Auch dieser Wert hat sich seit 1994 nur unwesentlich verändert. Auffällig ist der relativ gesehen hohe Anteil Bayerns am bundesweiten Verbrauch biotischer Rohstoffe (18–20 %) über den Zeitraum 1994 bis 2016. Der Anteil beim Verbrauch abiotischer Rohstoffe liegt demgegenüber nur bei 12–14 %.

ENTWICKLUNG DES VERBRAUCHS

Der unterschiedliche Verlauf in der Nutzung von abiotischen und biotischen Rohstoffen wird bei einem genaueren Blick auf die Verbrauchsentwicklung deutlich (Abbildung 2). Gegenüber Abbildung 1 wird hier nicht der absolute Verbrauch betrachtet, sondern die relative Entwicklung seit dem Basisjahr 1994 (= 100). Seitdem ging der Verbrauch abiotischer Rohstoffe in Bayern bis zum Jahr 2016 um rund 10 % zurück. Der Verbrauch biotischer Rohstoffe nahm im gleichen Zeitraum dagegen um knapp 30 % zu. Bundesweit stieg der Verbrauch der biotischen Rohstoffe zwischen 1994 und 2016 sogar um über 40 % an.

Auf jeden Einwohner im Freistaat kommt ein Ressourcenverbrauch von 19,8 Tonnen.

Während der Verbrauch abiotischer Rohstoffe rückläufig ist, haben biotische Rohstoffe deutlich zugelegt.

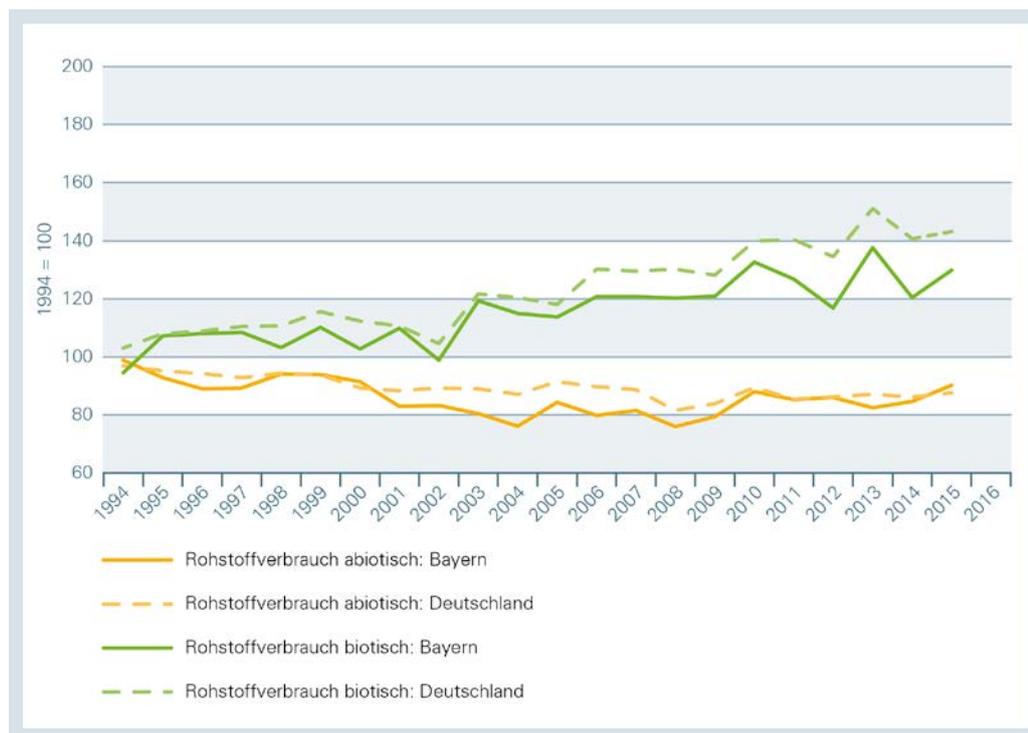


Abb. 2:

Relative Entwicklung des Rohstoffverbrauchs (DMI) in Bayern und Deutschland, gegenüber 1994 (= 100)

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Statistischen Ämter der Länder

Dies deutet auf einen Erfolg unternehmerischer Anstrengungen hinsichtlich der Nutzung abiotischer Rohstoffe hin. Aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten ist der verstärkte Einsatz nachwachsender biotischer Rohstoffe gegenüber nicht-erneuerbaren abiotischen Materialien eine positive Entwicklung. Knappe Ressourcenbestände können so geschont werden. Allerdings bleibt die im Kontext zunehmender globaler Wertschöpfungsketten auftretende Verlagerung von Rohstoffverbräuchen ins Ausland durch den Konsum importierter Produkte hier unberücksichtigt.

ROHSTOFFPRODUKTIVITÄT

Während der Rohstoffverbrauch lediglich die Inputseite betrachtet, das heißt in welchem Umfang Rohstoffe im Rahmen der industriellen Produktion verwertet werden, stellt die Rohstoffproduktivität diese ins Verhältnis zum wirtschaftlichen Output. Der Indikator gibt also an, wie viel Bruttowertschöpfung (gemessen am realen Bruttoinlandsprodukt (BIP)) mit den eingesetzten Rohstoffen erwirtschaftet wird. Der Fokus liegt dabei auf den abiotischen Rohstoffen, da diese auf Grund ihrer nicht-erneuerbaren Eigenschaften mit besonderen Produktivitätszielen verbunden sind.

Zwar konnte der Gesamtverbrauch in den letzten 20 Jahren nicht umfassend reduziert werden, jedoch gelang es, mit den eingesetzten Rohstoffen mehr zu produzieren. Gegenüber dem Basisjahr 1994 (= 100) hat sich die Rohstoffproduktivität in Bayern 2016 um rund 70 % verbessert (Abbildung 3). Die Entwicklung in Bayern liegt damit gut 10 Prozentpunkte über dem bundesweiten Produktivitätsfortschritt (2016: + 55 %). Der Wert unterliegt konjunkturellen Schwankungen – die bisherige Bestmarke im Freistaat wurde 2015 mit einer Verbesserung um 77 % erreicht.

Vor dem Hintergrund des moderat zurückgegangenen Verbrauchs abiotischer Rohstoffe zwischen 1994 und 2016 (– 10 %) lässt sich die Produktivitätszunahme größtenteils dem Wirtschaftswachstum (+ 52 %) in dieser Zeitspanne zuschreiben. Trotz gestiegener Bruttowertschöpfung konnte der Verbrauch abiotischer Rohstoffe gesenkt und der Gesamtverbrauch stabil gehalten werden.

Abb. 3:

Entwicklung der Rohstoffproduktivität in Bayern und Deutschland

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Statistischen Ämter der Länder

Jahr	Rohstoffproduktivität (abiotisch): Bayern	Rohstoffproduktivität (abiotisch): Deutschland
1994	100	100
1995	105	105
1996	110	110
1997	115	115
1998	120	120
1999	125	125
2000	130	130
2001	135	135
2002	140	140
2003	145	145
2004	150	150
2005	155	155
2006	160	160
2007	165	165
2008	165	165
2009	165	165
2010	165	165
2011	165	165
2012	165	165
2013	165	165
2014	165	165
2015	165	165
2016	165	165
2017	165	165
2018	165	165
2019	165	165
2020	165	165

Die Staatsregierung hat sich im Rahmen der Bayerischen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel gesetzt, den Rohstoffverbrauch weitgehend von der wirtschaftlichen Entwicklung zu entkoppeln, um damit eine kontinuierliche Steigerung der Gesamtrohstoffproduktivität bis 2030 in Anlehnung an die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie zu erreichen.

AUSSENHANDEL MIT ROHSTOFFEN

Der Freistaat Bayern – wie auch die Bundesrepublik insgesamt – ist auf den Import von Rohstoffen angewiesen. Importdaten, die differenziert für Primär- und Sekundärrohstoffe sowie Rohmaterialien³ vorliegen, geben somit Aufschluss über die spezifische Rohstoffnachfrage Bayerns. 2017 betrug das Importvolumen von Rohstoffen und Rohmaterialien insgesamt über 6,5 Milliarden Euro (Abbildung 4). Gleichzeitig exportierten bayerische Unternehmen ihrerseits Halbzeuge und weiterverarbeitete Rohmaterialien sowie in Bayern gewonnene Rohstoffe, wie etwa Bausande und Natursteine im Wert von 5,1 Milliarden Euro.

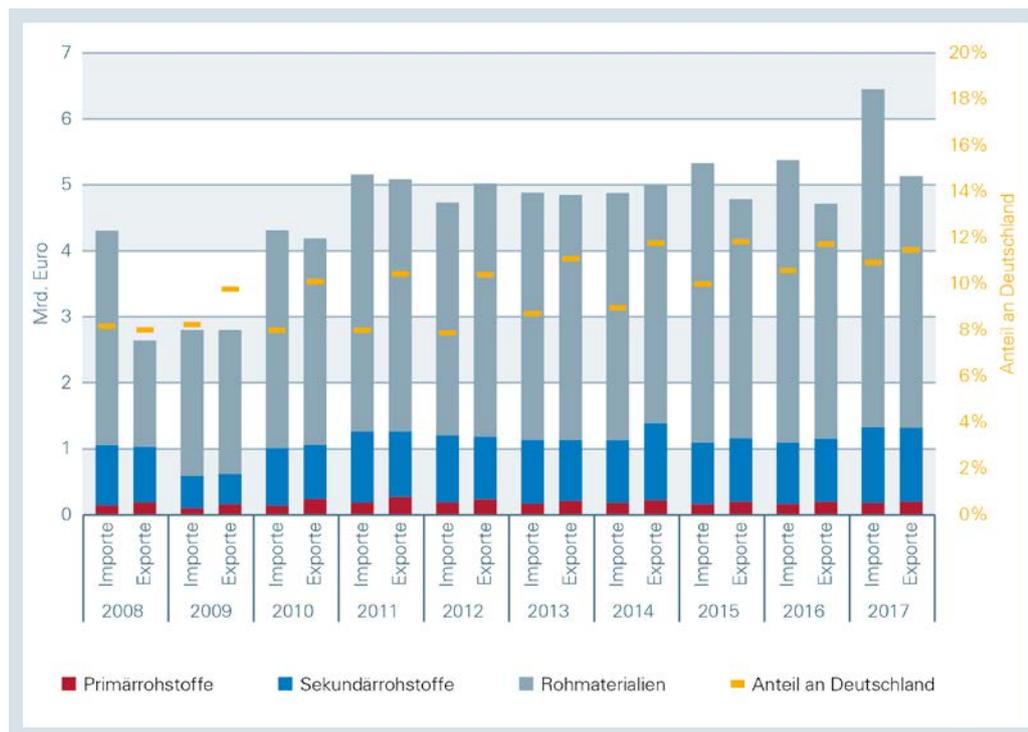


Abb. 4:

Bayerns Außenhandel mit Rohstoffen und Rohmaterialien in Mrd. Euro, 2008–2017

Quelle: Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts

Im Jahr 2017 importierte Bayern gemessen am Importwert mehr Rohstoffe und Rohmaterialien als je zuvor. Gegenüber dem Vorjahr stieg der Wert der Einfuhren um über eine Milliarde Euro an. Dabei gab es einen starken Anstieg insbesondere bei der Einfuhr von Kunststoffen, Palladium und Kupfer. Im Jahr der Finanzkrise 2008 lagen die Rohstoffeinfuhren noch bei 4,3 Milliarden Euro. Seitdem nahmen sie um durchschnittlich 4,6 % pro Jahr zu. Zwischenzeitliche Rückgänge (wie beispielsweise im Jahr 2012) sind auf konjunkturelle Schwankungen zurückzuführen. In der Langfristentwicklung der letzten neun Jahre ist eine deutliche Zunahme zu verzeichnen. Der mittels Importen gedeckte Rohstoffbedarf Bayerns wächst damit stärker als in der Bundesrepublik insgesamt. Der Anteil Bayerns an den bundesweiten Rohstoffimporten stieg von etwa 8 % im Jahr 2008 auf knapp 11 % im Jahr 2017. Auch der Export von Rohstoffen und Rohmaterialien nahm in den Jahren nach der Wirtschaftskrise ab 2010 deutlich zu. Insgesamt lag die durchschnittliche jährliche Steigerung zwischen 2008 und 2017 bei 7,7 %.

Im Jahr 2017 importierte Bayern gemessen am Importwert mehr Rohstoffe und Rohmaterialien als je zuvor.

Unverarbeitete Primärrohstoffe haben nur einen geringen Anteil an der gesamten Handelsleistung (3 % im Jahr 2017). Sie werden zumeist erst als weiterverarbeitete Rohmaterialien, wie etwa Granulate, Pulver und Halbzeuge (77 %) dem Außenhandel zugeführt. Sekundärrohstoffe (insbesondere sortierte Abfälle und Schrotte) haben aktuell einen Handelsanteil von knapp 20 %.

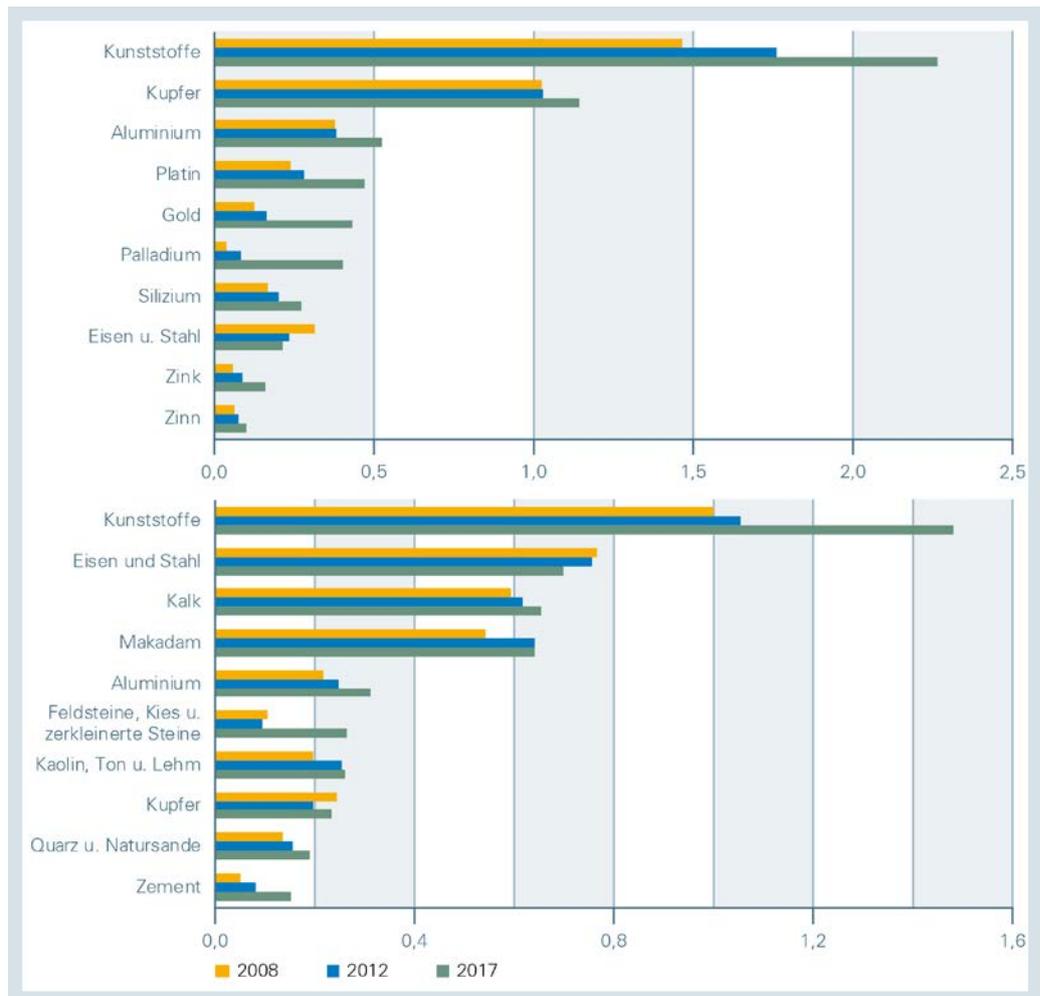
BAYERNS IMPORT VON ROHSTOFFEN UND ROHMATERIALIEN

Kunststoffe⁴ bilden 2017 den gefragtesten Rohstoff auf dem bayerischen Importmarkt, sowohl mit Blick auf den Importwert als auch die eingeführten Mengen (Abbildung 5). Gegenüber 2008 ist der Kunststoffimport bis 2017 um nahezu 50 % angestiegen. Neben dem mengenmäßig wichtigsten Bereich der Verpackungen verzeichnen Kunststoffe auch als leichte, kostengünstige Werkstoffe mit vielfältigen Materialeigenschaften eine gesteigerte Nachfrage. Bei den Metallen unterscheidet sich die Bedeutung nach Importwerten und -mengen.

Abb. 5:

Bayerns Import von Rohstoffen und Rohmaterialien in Mrd. € (oben) und Mio.t (unten), 2008, 2012, 2017

Quelle: Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts



Kupfer, Aluminium und Platin vereinen auf Grund ihrer hohen Rohstoffpreise die höchsten Einfuhrwerte (Kupfer 2017: 1,1 Milliarden Euro, Aluminium 2017: 0,5 Milliarden Euro, Platin 2017: 0,47 Milliarden Euro). Die Edelmetalle Gold und Palladium fallen dabei durch ihre stark gestiegenen Importwerte auf – bei Gold um über das 3-fache, bei Palladium sogar über das 10-fache. Gold findet insbesondere in der Schmuckherstellung und als Wertgegenstand Anwendung. Demgegenüber fällt der industrielle Einsatz unter anderem in der Elektronik und Medizintechnik gering aus. Seit der Finanzkrise ist der Goldpreis von erheblichen Schwankungen gekennzeichnet, die auch die hier dargestellte Entwicklung der Importwerte beeinflussen. Die Nachfrage nach Palladium ist vor allem geprägt durch die Automobilindustrie, wo der Rohstoff in Katalysatoren Verwendung findet. Zunehmende Angebotsengpässe haben seit 2012 zu stark gestiegenen Rohstoffpreisen geführt. Mengenmäßig dominieren bei den Metallen seit 2008 Eisen und Stahl, welche insbesondere in den führenden bayerischen Wirtschaftsbranchen Automobil und Maschinenbau Anwendung finden. Darüber hinaus wird der Baustoff Kalk und die im Straßenbau verwendete Gesteinsmischung Makadam in hohen Mengen eingeführt.

BAYERNS EXPORT VON ROHSTOFFEN UND ROHMATERIALIEN

Der Export von Rohstoffen und Rohmaterialien aus Bayern wird ebenfalls maßgeblich von Kunststoffen bestimmt (Abbildung 6). Die Entwicklung der Kunststoffexporte stieg dabei analog zu den Importen stark an – bis 2017 auf 2,2 Milliarden Euro. Hohe Exportwerte werden darüber hinaus mit dem Halbmetall Silizium erzielt – ein wichtiges Produkt der bayerischen Chemieindustrie. Nahezu 90 % der deutschen Exporte stammen aus Bayern. Auch Metalle wie Eisen, Kupfer oder Aluminium werden in signifikanten Volumina von der Metallindustrie und Recyclingunternehmen in Bayern exportiert.

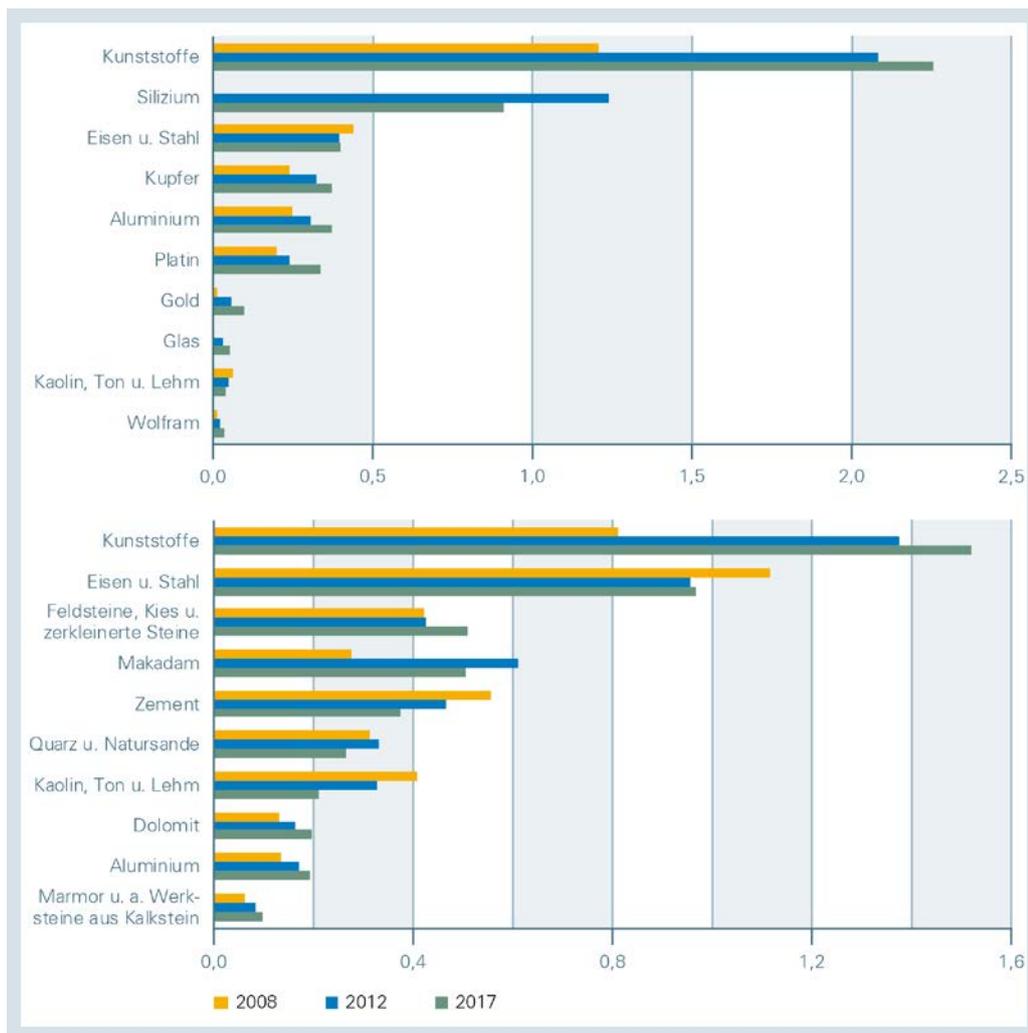


Abb. 6:

Bayerns Export von Rohstoffen und Rohmaterialien in Mrd. € (oben) und Mio. t (unten), 2008, 2012, 2017

Quelle: Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts

Eisen und Stahl nehmen im Export einen geringfügig höheren Stellenwert ein verglichen mit dem Import. Hinzu kommen die vor allem mengenmäßig bedeutsamen Baustoffe wie Feldsteine, Kies und Makadam. Mit über 80 % der deutschen Exporte von Zementklinker, ein prozessbedingt CO₂-intensives Produkt, ist die Zementindustrie in Bayern stark vertreten. Die hohen mineralischen Vorkommen in Bayern werden in den weiteren mineralischen Exportvolumina ersichtlich.

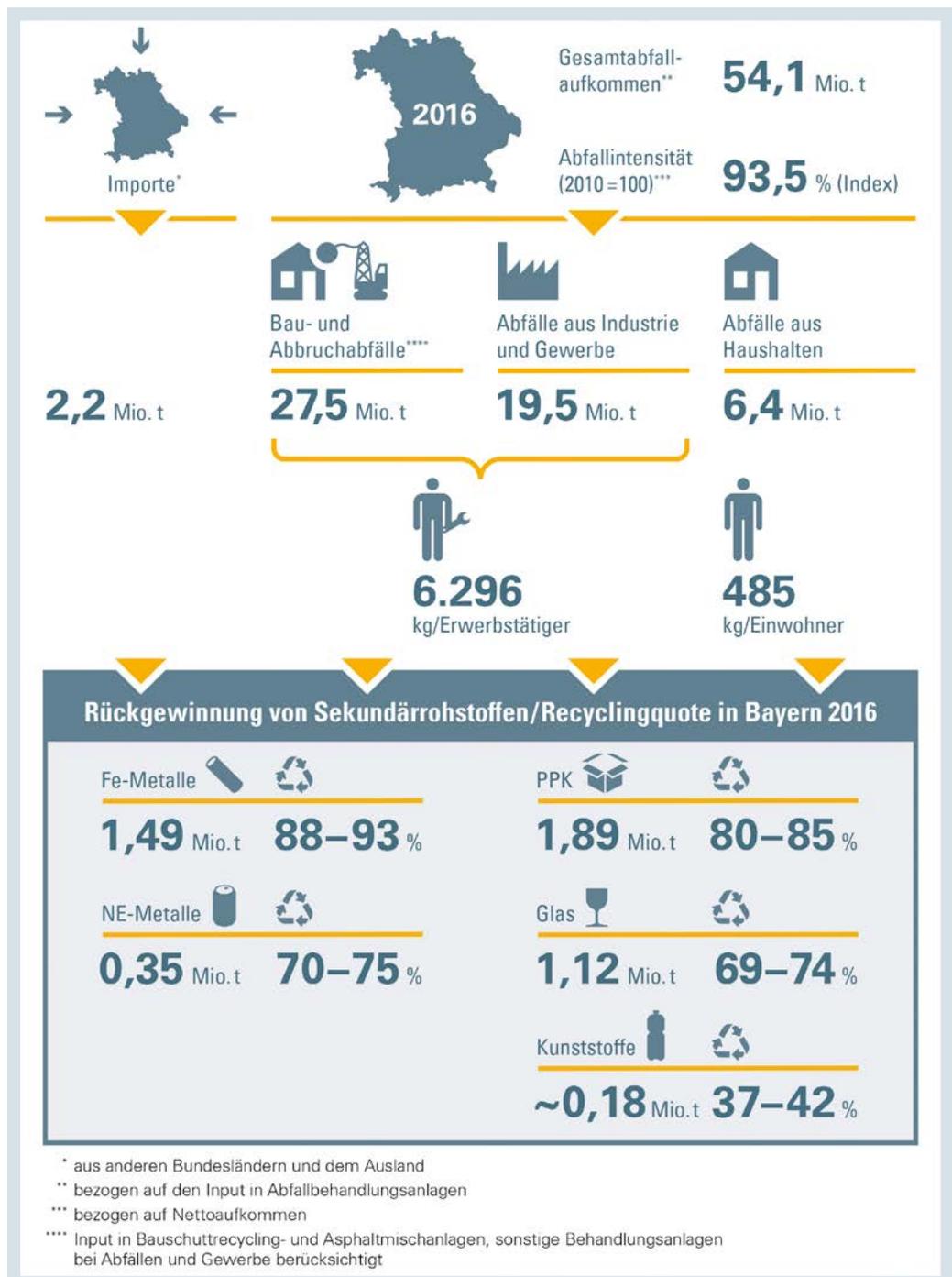
ROHSTOFFE IM KREISLAUF

Ressourceneffizienz bedeutet auch, Produkte und Rohstoffe im Kreislauf zu halten. Am Ende des Produktlebenszyklus steht deshalb die Wiederverwendung oder das Recycling mit dem Ziel, dass möglichst wenig Abfall entsteht. Im Freistaat Bayern wurden im Jahr 2016 insgesamt 56,3 Millionen Tonnen Abfälle in Abfallbehandlungsanlagen und Deponien entsorgt (Abbildung 7). Der Anteil daran, der direkt aus dem Freistaat angelieferten Abfälle betrug 96 % (54,1 Millionen Tonnen), wobei Abfälle aus Haushalten 6,4 Millionen Tonnen ausmachten. Die verbleibenden 4 % (2,2 Millionen Tonnen) wurden aus anderen Bundesländern oder dem Ausland importiert. Das Aufkommen an Abfällen insgesamt liegt jedoch höher, da direkt verwertete oder außerhalb Bayerns zur Entsorgung verbrachte Abfälle statistisch nicht erfasst sind.

Abb. 7:

In Abfallbehandlungsanlagen behandelte Abfälle und ausgewählte Beispiele für in den Kreislauf rückgeführte Sekundärrohstoffe im Jahr 2016

Quelle: Statistisches Landesamt Bayern, Bayerisches Landesamt für Umwelt



Das spezifische Aufkommen an Abfällen aus Haushalten betrug jährlich 485 kg je Einwohner. Zur besseren Vergleichbarkeit wird bei den Abfällen aus Bayern (ohne Haushaltsabfälle) die Bezugsgröße der Erwerbstätigen herangezogen, auch um zu unterstreichen, dass Abfälle aus dem Gewerbe primär mit der Wirtschaftsentwicklung korrelieren. Für diese Abfälle ist von einem spezifischen Aufkommen in Höhe von 6.296 kg je Erwerbstätigem auszugehen (entspricht rund 100 kg je erwirtschaftetem Euro Bruttowertschöpfung), wobei der spezifische Anteil aus Industrie und Gewerbe bei 2.609 kg je Erwerbstätigem (30 kg je Euro Bruttowertschöpfung) lag. Bezogen auf die einzelnen Branchen (ohne Berücksichtigung des Baugewerbes) zeigt sich ein stark differenziertes Bild, wobei ein direkter Vergleich aufgrund der unterschiedlichen Rohstoffarten und -gewichte sowie Menge des Abfalls in den Branchen nicht überbewertet werden sollte.

Bayerische Haushalte produzieren pro Jahr und Einwohner 485 kg Abfälle. Auf jeden Erwerbstätigen in der bayerischen Industrie kommen jährlich über 6 Tonnen.

Die geringsten Abfallmengen im verarbeitenden Gewerbe erzeugte die Bekleidungsindustrie mit rund 480 kg je Erwerbstätigem (10 kg je Euro Bruttowertschöpfung), gefolgt von der Herstellung elektronischer und optischer Geräte mit 790 kg je Erwerbstätigem (6 kg je Euro Bruttowertschöpfung). An dritter Stelle stehen Unternehmen aus dem Bereich Reparatur und Installation von Maschinen. Sie generierten rund 970 kg Abfälle je Erwerbstätigem (15 kg je Euro Bruttowertschöpfung). Dagegen zählen die Metallerzeugung und -bearbeitung, die Getränkeherstellung sowie die Papierindustrie mit durchschnittlich zwischen rund 40.000 und 60.000 kg je im Unternehmen tätiger Person (600–950 kg je Euro Bruttowertschöpfung) zu den Branchen mit dem höchsten spezifischen Aufkommen.⁵

Die Abfallintensität – als Entkopplung des Abfallaufkommens von der Wirtschaftsleistung – gilt als Indikator für Abfallvermeidung und Nachhaltigkeit und wird laut Bundesamt für Statistik definiert als das Verhältnis des Abfallaufkommens zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) über die Zeit. Bleibt das Abfallaufkommen deutlich hinter der Wirtschaftsentwicklung (Index < 100 %), spricht man von einer nachhaltigen Abfallwirtschaft. Sie lag in Bayern 2016 im Vergleich zum Jahr 2010 bei 93,5 % (Index).⁶ Damit ist es der Industrie im Freistaat Bayern auch in den letzten Jahren gelungen, die Produktionsprozesse abfallärmer zu gestalten.

Abfälle stellen eine wichtige (Sekundär-)Rohstoffquelle dar. Um sie zu erschließen, werden viele wiederverwertbare Wertstoffe getrennt erfasst. Moderne Sortier- und Aufbereitungsanlagen sorgen dafür, dass Rohstoffe aus Abfallgemischen sortiert und aufbereitet wieder in den Produktionskreislauf (stoffliche Verwertung) zurückgeführt werden können. Die verbleibenden Mengen in gemischt anfallenden Abfallfraktionen, z. B. Haus- und Sperrmüll sowie Industrieabfälle werden mehrheitlich energetisch entsorgt. Die stoffliche Verwertungsquote (Recycling) hat für viele Abfallströme bereits ein hohes Niveau erreicht.⁷ Zentrale Herausforderungen bestehen in der zunehmenden Komplexität stofflicher Zusammensetzungen und in der weiteren Stärkung der Akzeptanz für die Nutzung von Rezyklaten.

Die Recyclingquote hat für viele Abfallströme bereits ein hohes Niveau erreicht. Herausforderungen bestehen im Umgang mit komplexen Stoffgefügen und in der Stärkung der Akzeptanz von Sekundärrohstoffen.

Exkurs: Beispiele für die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen

Eisen ist ein elementarer Rohstoff unserer Industriegesellschaft. Mit der Rückgewinnung und Verwertung von 1,5 Millionen Tonnen an Eisenmetallen (Fe-Metallen) leisteten die bayerischen Abfallbehandlungsanlagen einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der Importabhängigkeit von Eisenerzen. Der Wiedereinsatz von Fe-Metallen aus Bayern ist potenziell deutlich höher einzuschätzen, da nicht alle Fe-Metallabfälle über Abfallbehandlungsanlagen zurückgeführt, sondern direkt an die Stahlwerke und Gießereien angeliefert werden. Die Recyclingquote liegt bei 88 % bis 93 %.

Die verwertete Menge der von bayerischen Abfallbehandlungsanlagen aufbereiteten **Nichteisenmetalle (NE-Metalle)**, insbesondere Aluminium und Kupfer, lag im Jahr 2016 bei 0,35 Millionen Tonnen. Bezogen auf das Potenzial an NE-Metallabfällen, die separat erfasst oder in gemischten Abfällen an Abfallbehandlungsanlagen angeliefert wurden, konnten in 2016 rund 70 % bis 75 % wieder in den Materialkreislauf zurückgeführt werden. Vor dem Hintergrund der Rohstoffabhängigkeit gilt es zukünftig die Rückgewinnung kritischer Metalle weiter zu entwickeln.

1,89 Millionen Tonnen **Papier- und Pappeabfälle** aus bayerischen Sortier- und Aufbereitungsanlagen wurden in Papierfabriken wiedereingesetzt. Das entspricht einem Anteil von 11 % am Altpapierverbrauch der deutschen Papierwerke in 2016. Das stofflich verwertbare Potenzial ist bereits zu einem hohen Grad abgeschöpft.

Altglas ist ein wichtiger Rohstoff, insbesondere in der Behälterglasherstellung. Aus dem Freistaat Bayern konnten im Jahr 2016 insgesamt 1,12 Millionen Tonnen Glasabfälle der Industrie als Rohstoff wieder zugeführt werden. Während im Behälterglasbereich die Wiedereinsatzquote sehr hoch (>90 %) ist, bestehen Potenziale vor allem noch bei Flachglasabfällen.

Etwas mehr als 0,18 Millionen Tonnen der in bayerischen Abfallbehandlungsanlagen behandelten **Kunststoffabfälle** wurden stofflich verwertet (37–42 %), der verbleibende Anteil überwiegend energetisch genutzt (insgesamt über 99 %). Eine Erhöhung der stofflichen Verwertungsquote bleibt das Ziel. Aktuell ist die energetische Verwertung jedoch häufig die einzige wirtschaftliche Form der Verwertung, da etwa Produkte aus unterschiedlichen Kunststoffen gemeinsam erfasst werden oder es sich um schwer separierbare Verbundwerkstoffe handelt.

Über die ermittelten Recyclingquoten sind die wiedereinsatzbaren Potenziale an Sekundärrohstoffen bekannt. Die Abschätzung einer direkten Sekundärrohstoffproduktivität, bezogen auf den Einsatz an Sekundärrohstoffen im Vergleich zum Primärrohstoffverbrauch, stößt aufgrund unzureichender beziehungsweise fehlender Daten zum Wiedereinsatz von heimischen (einschließlich der Direktanlieferungen) beziehungsweise importierten Sekundärrohstoffen in Bayern (sekundärrohstoffspezifische Input-Output-Tabellen), derzeit noch an Grenzen.



Potenziale aufdecken

Schlüsselrohstoffe für die bayerische Wirtschaft

Wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, befindet sich der Rohstoffverbrauch im Freistaat Bayern auf einem hohen Niveau. Ein großer Teil des Bedarfs wird durch Rohstoffimporte gedeckt. Doch welche Rohstoffe sind dabei für die bayerische Industrie von zentraler Bedeutung und wie sind diese im Kontext der Ressourceneffizienz einzuordnen?

Das vorliegende Kapitel „Potenziale aufdecken“ beleuchtet die wichtigsten abiotischen Rohstoffe für die bayerische Industrie im Detail (Umweltauswirkung, Recyclingfähigkeit, Substituierbarkeit und Verfügbarkeit) und zeigt so die relevanten Stellschrauben für mehr Ressourceneffizienz auf.

INDUSTRIEROHSTOFFE IM ÜBERBLICK

Aluminium, Eisen und Stahl sowie Kupfer gehören mengenmäßig zu den prominentesten Werkstoffen. Der industrielle Ressourcenbedarf umfasst allerdings eine Vielzahl weiterer Rohstoffe mit großer Bedeutung für die bayerische Wertschöpfung.

Die Tabelle „Zentrale Industrierohstoffe im Überblick“ gibt einen Überblick über die wesentlichen industriell genutzten Rohstoffe. Die betrachteten Indikatoren Rohstoffversorgung, Umweltaufwand, Nachfrage und Rohstoffpreis zeigen die jeweilige Notwendigkeit Ressourcen einzusparen. Dies ist besonders relevant für Rohstoffe mit einer hohen Nachfrage und Bedeutung für wichtige Schlüsselbranchen, hohen oder besonders volatilen Preisen, einer kritischen Rohstoffversorgung oder Recycelbarkeit sowie für Rohstoffe mit einer hohen Umweltaufwand.

Für eine einfache Darstellung wurden die jeweiligen Ergebnisse zu den verschiedenen Indikatoren anhand eines Ampelsystems eingefärbt. Bei den quantitativ bemessenen Indikatoren (Umweltaufwand, Nachfrage, Rohstoffpreis) erfolgte die Einfärbung der Rohstoffe anhand ihrer jeweiligen Werte. Die Bedeutung des Themas Ressourceneffizienz ist für Rohstoffe mit hohen Werten bei den Indikatoren besonders hoch. Daher erhielt je Indikator das erste Drittel der Rohstoffe mit den jeweils höchsten Werten eine rote Einfärbung, das zweite Drittel eine gelbe und das Drittel mit den niedrigsten Werten eine grüne. Entsprechend einer Ampel kennzeichnet die rote Einfärbung einen kritischen Indikatorwert, die grüne einen unkritischen. Gelb stellt einen Zwischenbereich dar. Die qualitativen Indikatoren (Rohstoffversorgung) wurden ebenfalls anhand einer dreistufigen Skala bewertet und entsprechend eingefärbt.

Die Auswertung basiert auf einer Meta-Analyse ausgewiesener Studien (siehe Anhang, Endnoten I–VII). Berücksichtigt wurden abiotische Rohstoffe zur stofflichen Nutzung. Dabei werden die folgenden Aspekte in den Blick genommen:

Rohstoffversorgung

- Das **Rohstoffrisiko** stellt das Versorgungsrisiko dar. Die Zuordnung „Hoch“, „Mittel“ und „Niedrig“ basiert auf Indexwerten, die die wesentlichen Risikofaktoren zusammenfassen. Eingehende Indikatoren sind beispielsweise die Konzentration eines Rohstoffes auf wenige Länder oder Unternehmen und die Risiken bezüglich der politischen Stabilität der Abbauländer.^I
- Das **Recycling** eines Rohstoffes ist abhängig von technologischen Möglichkeiten, der Wirtschaftlichkeit der Technologie als auch von der konkurrierenden Preisentwicklung des Primärrohstoffes. Die Zuordnung entspricht der „End-of-Life“-Recycling-Input-Quote^{II}. Bei einem Wert von 10 % oder mehr kann von einer „etablierten“ Recyclingquote gesprochen werden, bei 1 bis 10 % von „gering“, und bei kleiner als 1 % von „kaum bis gar nicht“^{III}
- Die **Substituierbarkeit** eines Rohstoffes ist abhängig von den Leistungseigenschaften und Rohstoffrisiken möglicher Alternativrohstoffe und der Wirtschaftlichkeit.^{IV}

Umweltaufwand

Mit dem Abbau und der Nutzung von Rohstoffen können verschiedene Umweltauswirkungen verbunden sein. Sie reichen von stoffimmanenten Eigenschaften (z. B. Toxizität), über Flächeninanspruchnahme und Umweltauswirkungen in den Abbaugebieten sowie Material- und Energieeinsatz bei der Erzeugung der Rohstoffe bis hin zu möglichen Herausforderungen bei der Entsorgung. Diese vielschichtigen Effekte können nur schwer quantifizierend dargestellt

Zentrale Industrierohstoffe im Überblick

Element	Rohstoffversorgung			Umweltaufwand	
	Rohstoff-Risiko	Recycling	Substituierbarkeit	Kumulierter Rohstoffaufwand (t/t)	Kumulierter Energieaufwand (GJ/t)
Aluminium	● Mittel	● Etabliert	● Gut	● 10	● 141
Antimon	● Hoch	● Etabliert	● Gut		
Baryt	● Gering	● Gering	● Gut	● 9	● 3
Bentonit	● Gering	● Etabliert	● Gut	● 1	● 0,4
Beryllium	● Mittel	● Kaum-nicht	● Schlecht		
Blei	● Gering	● Etabliert	● Schlecht	● 10	● 21
Cadmium	● Mittel	● Etabliert			
Chrom	● Hoch	● Etabliert	● Schlecht	● 22	● 484
Dysprosium	● Hoch	● Kaum-nicht	● Gut		
Eisen/Stahl	● Mittel	● Etabliert	● Mittel	● 4	● 21
Feldspat	● Gering	● Etabliert	● Mittel		
Fluorit	● Mittel	● Gering	● Schlecht	● 1	● 1
Gallium	● Hoch	● Kaum-nicht	● Mittel	● 1.667	● 2.707
Germanium	● Hoch	● Gering	● Schlecht		
Gips/Anhydrit	● Gering	● Gering	● Gut	● 1	● 0,03
Glimmer	● Gering	● Kaum-nicht		● 1	● 0,4
Gold	● Mittel	● Etabliert	● Schlecht	● 740.318	● 261.210
Graphit	● Mittel	● Gering		● 1	● 0,4
Indium	● Hoch	● Kaum-nicht	● Mittel	● 25.744	● 1.982

werden, da es an umfassenden Datenquellen fehlt. Die beiden folgenden Indikatoren stellen in diesem Zusammenhang den aussagekräftigsten Datensatz dar:

- Der **kumulierte Rohstoffaufwand** stellt einen Indikator für den stofflichen Aufwand, der mit der Rohstofferzeugung und -bereitstellung einhergeht, dar. Konkret beziffert er die Summe aller Rohstoffaufwendungen, die zur Bereitstellung des betrachteten Rohstoffes benötigt wird. Die Angabe erfolgt in Tonnen (aufgewendete Rohstoffe) je Tonne (bereitgestellter Rohstoff).⁸
- Der **kumulierte Energieaufwand** ist die Summe aller Primärenergieaufwendungen zur Bereitstellung eines Rohstoffes in Gigajoule je bereitgestellte Tonne.⁹

Nachfrage

- Die **Importnachfrage** wird durch das durchschnittliche jährliche Importvolumen Bayerns (in Tsd. Euro) von 2008 bis 2017 abgebildet.

Rohstoffpreis

- Die **Preisentwicklung** weist die nominale jährliche Preisentwicklung zwischen 1990 und 2015 in Prozent aus.^{VI}
- Die **Volatilität** drückt die Preisschwankungen aus, die mittels der Standardabweichung der logarithmischen jährlichen Preisveränderungen zwischen 1990 und 2015 berechnet wurden.^{VII}

	Nachfrage	Rohstoffpreis		Anwendungsbereiche/Produktbeispiele:
	Ø Importnachfrage Bayerns (in Tsd. €) (2008–17)	Preisentwicklung in % (1990–2015)	Volatilität (1990–2015) jährlich	
	405.607	19 %	17 %	Kraftfahr- und Flugzeugbau, Maschinenbau, Elektrotechnik
	124	300 %	33 %	Batterien, Halbleiter, Legierungselement
	2.631	176 %	11 %	BA-Chemikalien
		203 %	21 %	Gießerei-Industrie, Pelletisierung von Eisenerzen, Katalysator und Füllstoff in der chemischen Industrie
	7	-18 %	39 %	Elektronik- und IT-Produkte, Elektromobilität, metallverarbeitende Industrie
	19.193	99 %	17 %	Akkumulatoren, Legierungen, Elektrotechnik
	18	-80 %	56 %	Solarzellen, Halbleiter
	2.464	152 %	25 %	Edelstahl und Superlegierungen, Chromchemikalien und -farbstoffe, Gießereisande
				Magnete, E-PKW, Windkraft
	226.149	166 %	14 %	Fahrzeugbau, Maschinen- und Anlagenbau. Stahl
	6.528	136 %	7 %	Seifen und Scheuermittel, Emaille, Lacke, Farben, Klebstoffe, Gummi, Kunststoffe, Seifen- und Reinigungspasten
	10			Fritten, Emailen, Glasuren für Gläser für Linsen und Prismen, Beschichtungsmaterialien
	55	-33 %	20 %	Elektrokleingeräte, Dünnschicht-Photovoltaik, Legierungen, Displays
	59	18 %	28 %	Glasfaser, IR-Technologien, Halbleiter, Katalysator für Polymererzeugung
	2.277	30 %	9 %	Bindemittel für Innenausbau und Tiefbau, Abbindeverzögerer für Zement, Chemierohstoff
	1.729	78 %	49 %	Farb- und Putzzusatz, Isoliermaterial, Korrosionsschutzgrundierungen, Kosmetikartikel
	217.094	202 %	13 %	Elektroindustrie (Kontakte)
		78 %	14 %	Brennstoffzellen, Kunststoffe, Schmelzriegel, Elektrodenmaterial in Batterien, Bremsbeläge (Schmiermittel)
	173	126 %	43 %	Optik, Elektronik, Photovoltaik, Flachbildschirme, Niedrigtemperaturlegierungen, Halbleiter

Zentrale Industrierohstoffe im Überblick

Element	Rohstoffversorgung			Umweltaufwand	
	Rohstoff-Risiko	Recycling	Substituierbarkeit	Kumulierter Rohstoffaufwand (t/t)	Kumulierter Energieaufwand (GJ/t)
Kalisalz	● Mittel	● Kaum-nicht	● Schlecht	● 8	● 5
Kaolin	● Gering	● Kaum-nicht	● Gut	● 5	● 3
Kobalt	● Hoch		● Schlecht	● 57	● 103
Kupfer	● Mittel	● Etabliert	● Schlecht	● 128	● 50
Lithium	● Mittel	● Kaum-nicht	● Gut	● 13	● 307
Magnesium	● Hoch	● Etabliert	● Gut	● 5	● 146
Mangan	● Mittel	● Etabliert	● Schlecht	● 8	● 48
Molybdän	● Hoch	● Etabliert	● Schlecht	● 989	● 149
Neodymium	● Hoch	● Gering	● Gut		
Nickel	● Mittel	● Etabliert	● Mittel	● 133	● 158
Niob	● Hoch	● Kaum-nicht	● Gut	● 14	● 4
Palladium	● Hoch	● Etabliert	● Mittel	● 22.435	● 143.552
Phosphorit/Phosphate	● Mittel	● Etabliert	● Schlecht	● 28	● 4
Platin	● Hoch	● Etabliert	● Mittel	● 190.053	● 251.888
Quarzsand	● Gering			● 1	● 0,3
Rhodium	● Hoch	● Etabliert	● Schlecht	● 485.206	● 551.719
Scandium	● Hoch	● Kaum-nicht	● Mittel		
Schwefel	● Gering	● Gering	● Schlecht	● 0,1	● 5
Selen	● Mittel	● Gering	● Gut	● 4	● 35
Seltene Erden	● Hoch	● Gering			
Silber	● Gering	● Etabliert	● Schlecht	● 6.835	● 1.668
Silizium	● Hoch	● Kaum-nicht	● Schlecht	● 38	● 1.417
Tantal	● Hoch	● Gering	● Gut	● 9.180	● 3.356
Titan	● Mittel	● Etabliert	● Gut	● 40	● 418
Vanadium	● Hoch	● Etabliert	● Gut		
Wolfram	● Hoch	● Etabliert	● Mittel	● 343	● 52
Yttrium	● Hoch	● Etabliert	● Schlecht		
Zink	● Mittel	● Etabliert	● Gut	● 14	● 42
Zinn	● Hoch	● Etabliert	● Gut	● 1.179	● 264
Zirkon	● Mittel	● Kaum-nicht			

	Nachfrage	Rohstoffpreis		Anwendungsbereiche/Produktbeispiele:
	Ø Importnachfrage Bayerns (in tsd. €) (2008–17)	Preisentwicklung in % (1990–2015)	Volatilität (1990–2015) jährlich	
		● 349%	● 18%	Infusions- und Dialyselösungen, Hilfsstoff in der Glas- und Aluminiumindustrie
		● 56%	● 18%	Adsorptionsmittel, zur Synthese von Aluminium, Herstellung von Spezialzementen
	● 5.291	● 60%	● 34%	Batterien, Superlegierungen, Magnete, Hartmetalle, Pigmente, Katalysatoren in der Petrochemie, E-Mobilität
	● 989.997	● 108%	● 23%	Elektroindustrie, RFID, Windkraft, Elektromobilität, Maschinenanlagenbau, Schienenverkehr, Legierungen
	● 172	● 13%	● 27%	Akkumulatoren, Batterien, Metallurgie, E-Mobilität, Hochleistungsschmierstoffe, Legierungen
	● 30.442	● 50%	● 18%	Metallurgie, chemische Industrie, Dosenverpackungen, Karosseriebau, Unterhaltungselektronik, Maschinenbauteile
	● 2.385	● 76%	● 27%	Batterien, Stahlveredler, Widerstandslegierungen, Magnetwerkstoffe
	● 584	● 131%	● 45%	Edelstahlindustrie, Werkzeug- und Schneldrehstahl, C-Stahl, Superlegierungen, Flugzeug- und Fahrzeuge
				Magnete, Lasertechnik, Glas- und Porzellanfärbung, E-PKW, Windkraft
	● 24.202	● 33%	● 31%	Stahlveredler, Superlegierungen, Gasturbinen, Metallüberzüge, Katalysatoren, Batterien
	● 262			Superlegierungen, Edelstahl, Elektronik, Turbinen, Stahlveredelung
	● 120.824			Autoindustrie, Brennstoffzellen, Autokatalysatoren, Elektrotechnik
	● 395	● 243%	● 24%	Düngemittel, Phosphorsäure
	● 335.331	● -11%	● 32%	Katalysatoren, Elektroniksektor, Brennstoffzellen
	● 9.372			Gießerei-Industrie, Glasfasern
	● 13.637			Katalysatoren, Elektrotechnik
				Flugzeugbau, SOFC-Brennstoffzellen
	● 15.074	● 9%	● 140%	Schwefelsäure, Farbstoffe, Insektizide
	● 7.224	● 280%	● 44%	Chemikalien und Pigmente, Elektronik, Metallurgie, Dünnschichtsolarzellen
	● 2.834	● 55%	● 44%	Elektronik, Automatisierungs- und Energietechnik, Permanentmagnete, Superlegierungen, Katalysatoren, Luftfahrt
	● 10.813	● 226%	● 20%	Legierungen, Elektronik, RFID
	● 211.468	● 138%	● 19%	Halbleiterindustrie, Mikroelektronik, Dioden, Transistoren, Dichtungsmaterialien, Lacke, Farben, Legierung
	● 921	● 166%	● 57%	Walzprodukte, Superlegierungen, Chemikalien, Hartmetalle, Mikrocondensatoren
	● 5.137	● -6%	● 17%	Farbe, Kunststoffe, Katalysatoren, Luft- und Raumfahrt, Anlagenbau, chemischer Apparatebau
	● 442	● -1%	● 51%	Stahlveredler; Katalysatoren; Vanadium-Elektrolytlösung in Redox-Flow Elektrizitätsspeichern
	● 43.515	● 346%	● 30%	Walzprodukte, Chemikalien, Superlegierungen, Hartmetall, Schneidwerkzeuge, Bohrkronen, elektrische Kontakte
				Magnete, Metallurgie, Röhrentechnik, Leuchtstoffe
	● 97.895	● 29%	● 27%	Galvanik, NE-Legierungen, Pharmazie, Batterie, Pigmente, Maschinenbau
	● 81.201	● 96%	● 21%	Elektronik, Weißblech, LCD, Chemie, Legierungen
	● 240	● 143%	● 32%	Schmelztiegel, Chemikalien, Formgrundstoff im Gießereibereich

AUSGEWÄHLTE SCHLÜSSELROHSTOFFE FÜR DIE BAYERISCHE INDUSTRIE

Auf Basis der Rohstoffanalyse lassen sich zwölf Schlüsselrohstoffe identifizieren, bei denen eine effiziente Nutzung besonders geboten ist. Sie sind für die bayerische Industrie von großer Bedeutung, besonders im Hinblick auf eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- sehr hohe Importnachfrage (Volumenrohstoffe)
- hohes Versorgungsrisiko (Risikorohstoffe)
- besondere Relevanz für Zukunftstechnologien (Zukunftsrrohstoffe)

Die zwölf Schlüsselrohstoffe werden im Folgenden einzeln vorgestellt. Neben übergreifenden Informationen zur Verwendung der Rohstoffe sowie Fakten und Informationen mit Bezug zur Ressourceneffizienz wird auch die Importnachfrage für Bayern aufgezeigt. Zwar bleiben hier die Nachfrage nach inländisch gewonnenen Rohstoffen wie auch die Rohstoffbezüge aus anderen Bundesländern unberücksichtigt. Dennoch stellen Importwerte auf Bundeslandebene die beste Datenbasis zur Veranschaulichung der Nachfrage eines spezifischen Rohstoffs dar. Andere Daten zum spezifischen Verbrauch beziehungsweise Nachfrage nach einzelnen Rohstoffen stehen auf dieser kleinräumigen Ebene nicht zur Verfügung. Die folgenden Diagramme zeigen für jeden einzelnen Rohstoff zum einen den Gesamtwert der Importnachfrage in Millionen Euro und zum anderen die Gesamtmenge in tausend Tonnen. Darüber hinaus zeigen die Daten, welchen Stellenwert Sekundärrohstoffe in der Importnachfrage einnehmen. Dies zeigt bei einigen Rohstoffen deutlich die Relevanz unter finanziellen und mengenmäßigen Aspekten.

Auf dieser Basis lässt sich – spezifisch für Bayern – eine Einschätzung zur Relevanz bestimmter Sekundärrohstoffe insgesamt ableiten. Dennoch ist diese Einschätzung datenbedingt mit Einschränkungen verbunden. In der Importbetrachtung bleibt im Inland stattfindendes Recycling (das unter Umständen einen anderen Stellenwert hat als im Ausland) unberücksichtigt. Zudem werden die Primär- und Sekundärrohstoffe in unterschiedlichen Verarbeitungsstadien verglichen. Primärrohstoffe in der Regel sind als Erze oder fertige Rohmaterialien mit anderen Werten und Mengen verbunden, als derselbe Rohstoff in Sekundärform als gehandelte Abfälle und Schrotte. Daher wird für jeden Indikator zusätzlich die End-of-Life-Recycling-Input-Quote betrachtet (siehe jeweilige Faktenbox). Diese stellt den Anteil des Recyclings von Altschrott in der EU an der EU-Rohstoffversorgung dar. Der Indikator beschreibt, in welchem Umfang Sekundärmaterial aus Schrotten und Abfällen letztlich der Produktion zugeführt wird und den Primärmaterial Einsatz ersetzt. Die Werte stellen die Substitutionswirkung von Sekundärrohstoffen besser dar, als die Importnachfrage – sind jedoch nur aggregiert auf EU-Ebene verfügbar. Aus der Betrachtung beider Indikatoren lässt sich letztlich eine umfassende Einschätzung gewinnen.

Aluminium

Aluminium wird mit 309.000 Tonnen **in großen Mengen importiert** (Abbildung 8) und ist insbesondere in seiner Eigenschaft als Leichtmetall ein häufig eingesetzter Rohstoff. Als Werkstoff überzeugt Aluminium, neben seiner Leichtigkeit, durch seine Zähheit und erlangt durch die vielseitige Verwendung in verschiedenen Industriebranchen eine hohe wirtschaftliche Bedeutung in Bayern. Der Rohstoff findet häufig Anwendung als Legierung im Flugzeug-, Schiffs- und Fahrzeugbau sowie in Verpackungen und Behältern. Allerdings sind der Abbau von Bauxit (Aluminiumerz) und die Erzeugung von Aluminium mit erheblichen negativen Einflüssen auf die Umwelt verbunden. Neben flächendeckenden Rodungen von Wäldern für den Abbau ist die Aluminiumerzeugung **sehr energieintensiv** und geht mit gefährlichen Abfallprodukten einher. Rotschlamm beispielsweise führt bei unsachgemäßer Entsorgung zu schwerwiegenden Umweltproblemen. Aluminium kann **ohne Verlust seiner Eigenschaften recycelt werden**. Dennoch kann der Aluminiumbedarf in Bayern durch die Importe aktuell nur etwa zu einem Viertel durch Sekundäraluminium gedeckt werden (Abbildung 8). Diese Rohstoffmenge entspricht einem Importwert von 14 %. Durch die Langlebigkeit vieler Aluminiumprodukte stehen Schrotte und Abfälle oftmals nicht in ausreichendem Maß zur Verfügung. Die **Substituierbarkeit** von Aluminium ist **gut**. Je nach Verwendung wird es durch Stoffe wie Titan, Magnesium oder Stahl beispielsweise im Fahrzeugbau bis hin zu Glas oder Papier in Verpackungen ersetzt.

Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Gerade hinsichtlich der hohen Import-Mengen ist der hochgerechnete kumulierte Energieaufwand (141 Gigajoule je Tonne) erheblich.
- **Recyclingquote:** Mit einer 12 % End-of-Life-Recycling-Input-Quote ersetzen bereits Sekundärrohstoffe aus Abfallprodukten eine hohe Menge an Primäraluminium.
- **Substituierbarkeit (gut):** Kann durch Stoffe wie Titan, Magnesium oder Stahl (Fahrzeugbau) hin zu Glas oder Papier (Verpackungen) ersetzt werden.
- **Rohstoffrisiko (mittel):** Nach jetziger Produktion reichen die Bauxitreserven noch über 100 Jahre.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder (Bauxit):** Australien (30,2 %), China (24,9 %) und Brasilien (13,6 %).

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

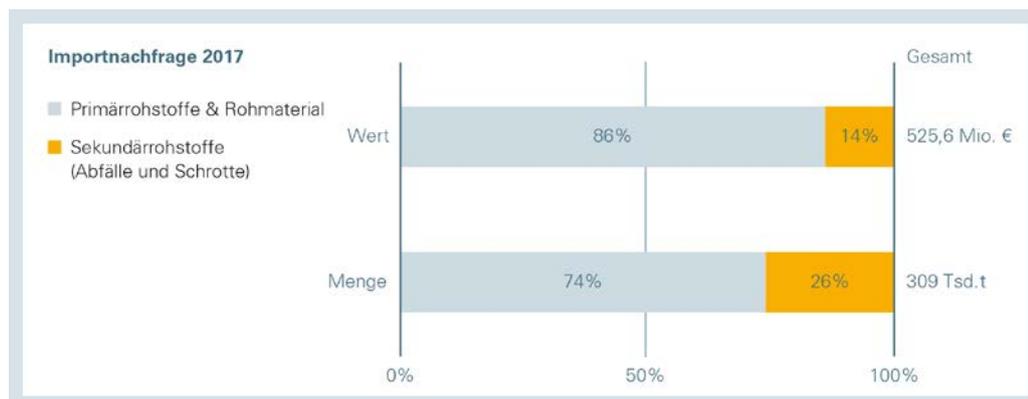


Abb. 8:

Importnachfrage 2017 in Bayern nach Aluminium in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes

Antimon

Antimon ist vor allem bekannt als Legierungselement, um die Härte und Korrosionsbeständigkeit von Werkstoffen zu steigern. Es findet vielseitig Anwendung – von Tankauskleidungen, Rohren und Pumpen für Chemikalien über Kabelummantelungen hin zu Blei-Säure-Batterien. Auf Grund seiner Verwendung bei Halbleitern, Mikrocondensatoren und Displays wird Antimon eine besondere **Zukunftsrelevanz** zugeschrieben. Die **Recyclingfähigkeit** von Antimon ist allerdings unterschiedlich: Ein Großteil des Sekundärrohstoffs wird aus Bleiakumulatoren gewonnen. Die Rückgewinnung von Antimon aus dem Kunststoffsegment ist deutlich schwieriger. Grund hierfür ist der geringe Gehalt an Antimonoxiden. In den Importdaten machen sich die Sekundärrohstoffe aktuell nicht bemerkbar (Abbildung 9). Die Konzentration des Antimon-Vorkommens auf China ist ausschlaggebend für ein **hohes Rohstoffrisiko**. Diese Abhängigkeit verdeutlicht die Bedeutung der Rohstoffeffizienz und des Recyclings von Antimon.

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

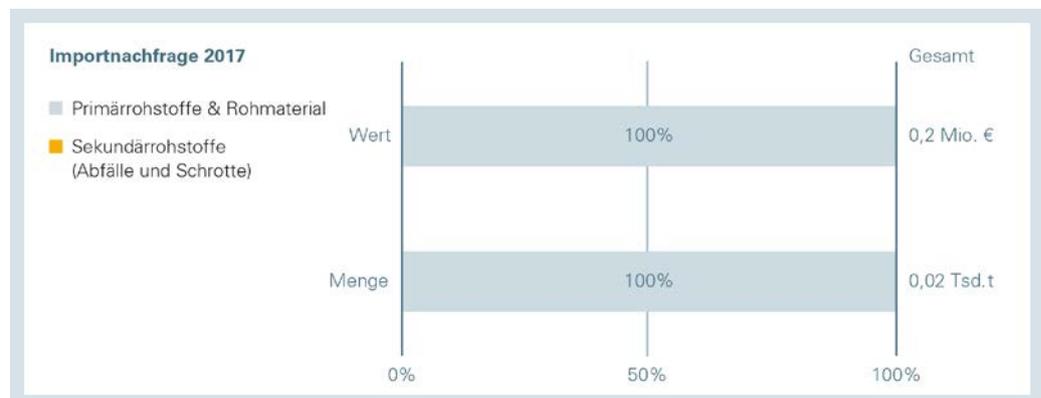
Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Antimonverbindungen gelten als umweltgefährlich, deren Auswirkungen noch weiter erforscht werden.
- **Recyclingquote:** Mit einer End-of-Life-Recycling-Input-Quote von 28 % ersetzen Sekundärrohstoffe bereits eine große Menge an primär gewonnenem Antimon.
- **Substituierbarkeit (gut):** Kann durch Chrom-, Zinn-, Titan-, Zink-, und Zirconium-Verbindungen für Antimon-Chemikalien in Farbstoffen, Pigmenten, Farben, Lacken ersetzt werden oder als Kombinationen von Calcium, Kupfer, Selen, Sulfur und Zinn in Legierungen von Blei-Säure-Batterien.
- **Rohstoffrisiko (hoch):** Erhöhtes Risiko der Angebotsverknappung und Angebotsvulnerabilität entlang der Wertschöpfungskette.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** China (70,3 %), Russische Föderation (6,1 %), Tadschikistan (5,6 %).

Abb. 9:

Impornachfrage 2017 in Bayern nach Antimon in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes



Eisen

Eisen ist ein fester Bestandteil vieler Produktionsprozesse und zentraler Rohstoff für die Stahlherstellung. Die beiden Materialien Eisen und Stahl liegen in den statistischen Daten nur als gemeinsame Daten vor und lassen sich dementsprechend schlecht trennen. Hier werden sie daher gemeinsam betrachtet. Auf Grund ihrer Bedeutung für den Maschinen- und Anlagenbau sowie die Fahrzeugindustrie zählen sie zu den **bedeutendsten bayerischen Importprodukten**. Zudem werden sie zu einem **hohen Anteil recycelt**, was sich nicht zuletzt in der Importnachfrage nach Sekundärrohstoffen mit 75 % (Abbildung 10) deutlich spiegelt. Eisen und Stahl zeigen daher eine vergleichsweise entspannte Rohstoffsituation, obwohl die Nachfrage Chinas nach Eisenerz in den letzten Jahrzehnten rapide gestiegen ist. Des Weiteren brachte die Stahlproduktion in den vergangenen Jahren beispielsweise in Entwicklungsländern wie China erhebliche **Umweltauswirkungen** mit sich. Das Hauptförderungsland China reagierte mit verschärften Umweltauflagen, die den Weltmarktpreis von Stahl ansteigen ließen. Je nach Anwendung lässt sich Eisen durch Aluminium, Kunststoffe und Verbundstoffe substituieren. Letztere lassen sich allerdings häufig weniger gut recyceln.

Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Obwohl der Rohstoff- und Energieaufwand verhältnismäßig gering ist je Tonne, fällt die Gesamtbelastung durch die bedeutende Menge hoch aus.
- **Recyclingquote:** Mit einer 24 % End-of-Life-Recycling-Input-Quote ersetzen bereits Sekundärrohstoffe aus Abfallprodukten eine hohe Menge an Eisenerz.
- **Substituierbarkeit (mittel):** Kann je nach Anwendung durch Aluminium, Kunststoffe und Verbundstoffe ersetzt werden.
- **Rohstoffrisiko (mittel):** Eine mäßige Länderkonzentration und 60 Jahre an Vorräten beim Produktionsniveau basierend auf 2015 weisen ein mittleres Rohstoffrisiko auf.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** China (32,3 %), Australien (28,3 %), Brasilien (13,4 %).

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

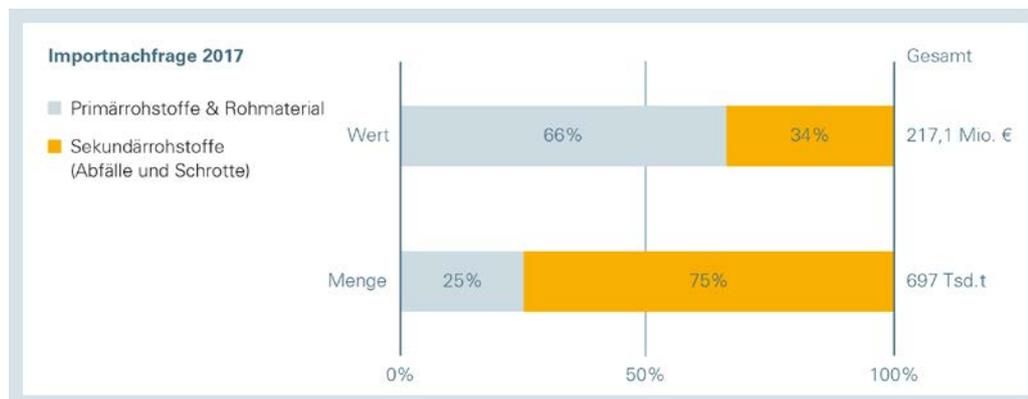


Abb. 10: Importnachfrage 2017 in Bayern nach Eisen und Stahl in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes

Kobalt

Kobalt gilt als ein multivalentes Metall. Als solches besitzt es unter anderem gute Lade- und niedrige Diffusionseigenschaften, was es insbesondere für den Einsatz in Speichertechnologien interessant macht. Es wird in der elektromagnetischen Datenspeicherung und in Lithium-Ionen-Akkumulatoren eingesetzt. Der weltweite Verbrauch ist nicht zuletzt durch seinen vielseitigen Einsatz in Zukunftstechnologien, wie der Elektromobilität, gestiegen. Dies spiegelt auch das bayerische Importwachstum wider. Zudem wird Kobalt zur Erhöhung der Warm- und Verschleißfestigkeit legierter Stähle und als Binder in Hartmetallsinterwerkstoffen eingesetzt. Obwohl es **Recyclingverfahren** für Kobalt gibt, sind diese durch die anwendungsspezifische Matrix und Kontamination aufwändig. Somit liegt die Importnachfrage nach Primärrohstoffen und Rohmaterial gemessen am Wert bei 99 % (Abbildung 11). **Substitute** können nur mit deutlichen Leistungseinbußen gewonnen werden. Ein bedeutender Anteil der Bergwerksförderung findet in der Demokratischen Republik Kongo statt, und führt dort zu erheblichen Umweltauswirkungen. Der ressourceneffiziente Umgang mit dem **kritischen Rohstoff Kobalt** ist daher besonders wichtig.

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

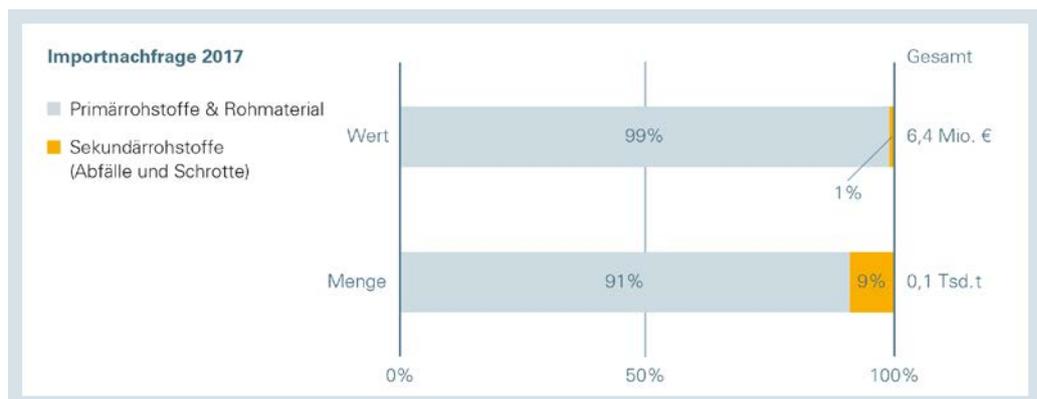
Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Mit einem kumulierten Rohstoffverbrauch von 57 Tonnen und einem Energieverbrauch von 103 Gigajoule je Tonne fällt der Umweltaufwand leicht überdurchschnittlich aus.
- **Recyclingquote:** Es gibt verstärkte Anstrengungen Kobalt, beispielsweise aus gebrauchten Handys zu recyceln, um eine höhere Unabhängigkeit von der globalen Preisentwicklung zu erlangen. Dennoch ist die bisherige Rückgewinnung gering.
- **Substituierbarkeit (schlecht):** In einigen Anwendungen nur mit deutlichen Leistungseinbußen möglich.
- **Rohstoffrisiko (hoch):** Bei dem Produktionsniveau von 2015 reichen die Vorräte noch etwa 60 Jahre. Ein Großteil der weltweiten Förderung ist auf die Demokratische Republik Kongo konzentriert.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** Demokratische Republik Kongo (59,2 %), China (6,6 %), Australien (5,1 %)

Abb. 11:

Importnachfrage 2017 in Bayern nach Kobalt in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes



Kupfer

Kupfer gehört zu den wichtigsten Gebrauchsmetallen. Durch seine elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit findet es vielfältig Anwendung. Kupfer wird unter anderem in Legierungen bei Maschinenanlagen, Rohren, Kabeln sowie der Elektrotechnik und Elektromobilität eingesetzt. Die Kupferförderung und -gewinnung ist allerdings mit vielen **Umweltauswirkungen** verbunden. Sie kann Oberflächen- und Grundwasser belasten. Der Wasserbedarf des Bergbaus konkurriert beispielsweise in Teilen des wichtigsten Förderlands Chile mit der Wassernutzung der Landwirtschaft und dem Trinkwasser, gerade in den Gebieten mit geringen Wasservorräten. Das Recycling von Kupfer aus Kupferschrotten und Kupferlegierungen kann die Nachfrage nach Primärrohstoffen reduzieren. Sekundäres Kupfer kann in der Regel ohne Qualitätsverlust beliebig oft wiederverwertet werden. **Über 50% des Kupferimportbedarfs wird mit Sekundärrohstoffen** abgedeckt (Abbildung 12). Dies stellt einen klaren Beitrag zur Ressourcenschonung dar. Allerdings ist Kupfer nur in bestimmten Anwendungen substituierbar. In Elektromotoren und Kabeln kann Kupfer zum Teil durch Aluminium ersetzt werden, was allerdings mit einer erheblichen Verringerung der Energieeffizienz verbunden ist. Datenleitungen in der Telekommunikation werden zunehmend mit Glasfasern anstelle von Kupfer realisiert.

Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Mit 128 Tonnen und 50 Gigajoule je Tonne sowie einer hohen bayerischen Importnachfrage belastet Kupfer die Umwelt deutlich.
- **Recyclingquote:** Mit einer 55% End-of-Life-Recycling-Input-Quote ersetzen bereits Sekundärrohstoffe eine sehr hohe Menge an primärem Kupfer.
- **Substituierbarkeit (schlecht):** Nur in bestimmten Anwendungen möglich, z. B. Aluminium in Stromkabeln, Elektrogeräten, Titan und Stahl in Wärmetauschern oder Kunststoffe für Wasserrohre.
- **Rohstoffrisiko (mittel):** Bei einem Produktionsniveau von 2015 werden die Vorräte nur noch etwa 40 Jahre reichen.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** Chile (31,1%), China (9,6%), USA (7,5%).

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

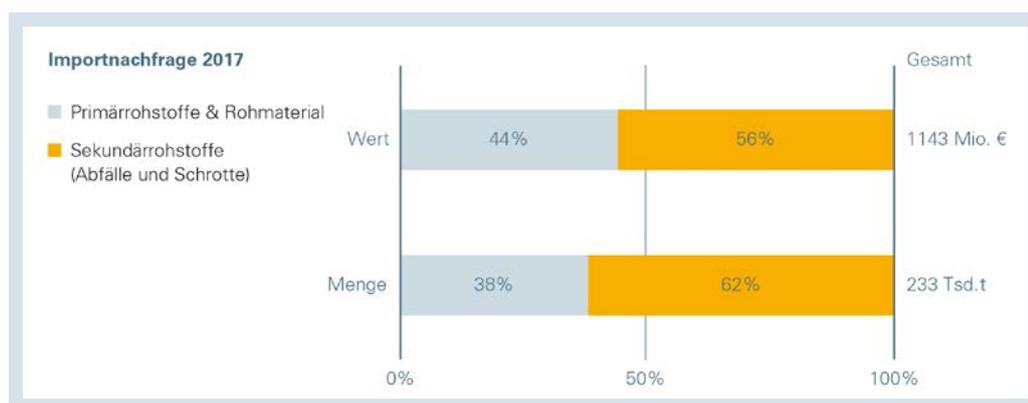


Abb. 12:

Importnachfrage 2017 in Bayern nach Kupfer in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes

Lithium

Auch wenn das Alkalimetall Lithium in den letzten Jahren einen hohen Bekanntheitsgrad durch Elektrokleingeräte und die Elektromobilität erlangt hat, wird der Rohstoff bereits seit längerem vielfältig eingesetzt. Lithium findet unter anderem Anwendung als Additiv in der Emaille-Herstellung, um die Fließfähigkeit zu erhöhen, und als pharmazeutischer Wirkstoff zur Behandlung von Depressionen. In der Raumfahrt wird Lithium zur Erhöhung der thermischen Beständigkeit in Hochleistungsschmierstoffen verwendet.

Ein **hoher Energieaufwand** entsteht durch die Prozesse, bei denen aus den Erzen Lithium-Chlorid gewonnen wird. Zudem werden für die Gewinnung einer Tonne Lithium große Mengen Wasser benötigt, was einen erheblicher Eingriff in den Wasserkreislauf darstellt. In Ländern mit Lithiumgewinnung werden Solarteiche vereinzelt unzureichend abgegrenzt mit der Folge von Hintergrundbelastungen. **Recyclingverfahren** könnten dazu beitragen, die Umweltauswirkungen zu vermindern, stehen jedoch **technologisch noch am Anfang**, weshalb die Importnachfrage nach dem Primärrohstoff bei 100 % liegt (Abbildung 13). In einigen Anwendungen kann Lithium bereits substituiert werden. Mit der zunehmenden Bedeutung von Lithium-Batterien in **Zukunftstechnologien** gewinnt die ressourceneffiziente Nutzung von Lithium an Bedeutung.

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

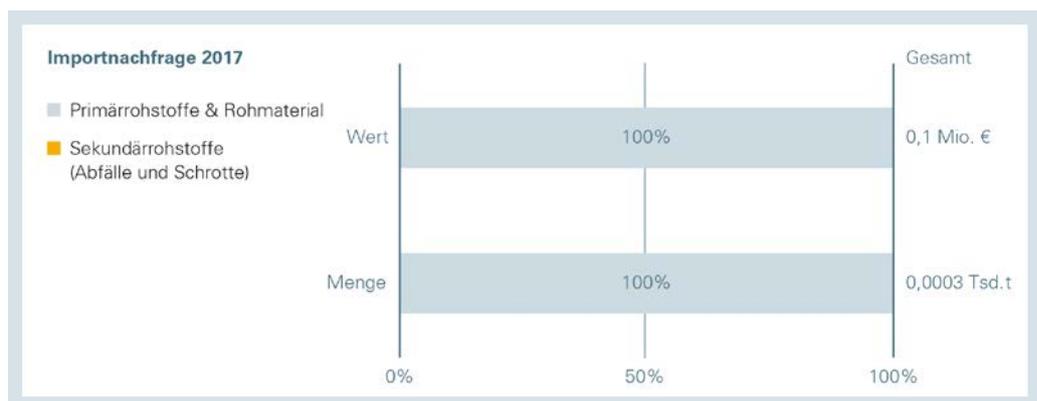
Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Der hohe Energieaufwand von 307 Gigajoule je Tonne stellt eine besondere Herausforderung dar.
- **Recyclingquote:** Es zeichnet sich keine nennenswerte Rückgewinnung durch Recycling ab. Angesichts der Zunahme der Lithium-Batterieindustrie besteht zukünftig ein hoher Bedarf.
- **Substituierbarkeit (gut):** In einigen Anwendungen z. B. Primärbatterien oder in der Glasproduktion.
- **Rohstoffrisiko (mittel):** Die Vorräte bei jetzigem Produktionsniveau (2015) werden auf über 400 Jahre geschätzt. Die Förderung ist jedoch auf wenige Länder konzentriert.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** Australien (38,8 %), Chile (36,6 %) und Argentinien (10,7 %).

Abb. 13:

Importnachfrage 2017 in Bayern nach Lithium in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes



Magnesium

Das metallische Magnesium erlangt seine wirtschaftliche Bedeutung als Leichtbauwerkstoff etwa in der Herstellung von Aluminiumlegierungen. Durch seinen Zusatz werden die Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit erhöht und findet unter anderem Anwendung im Fahrzeug- und Maschinenbau. Die Dämpfungseigenschaften von Magnesium werden in der Unterhaltungselektronik eingesetzt. In der Elektrochemie findet Magnesium in Opferanoden und in der Metallerzeugung als Reduktionsmittel Verwendung. Das **Recycling** von Magnesium konzentriert sich auf die **Verwertung von Magnesiumschrott aus Aluminiumlegierungen** oder aus Aluminium-Dosen. Dennoch wird in Bayern nur ein sehr geringer Anteil von 2 % an Sekundärrohstoffen importiert (Abbildung 14). Möglicherweise wird vor Ort recyceltes Magnesium regional wiederverwertet. Eine Herausforderung hierbei sind Verunreinigungen, welche die Wiederverwertung einschränken. Angesichts dessen, der **wirtschaftlichen Bedeutung** und der **Länderkonzentration**, das heißt nur weniger Abbauländer, wird Magnesium als **kritisch** eingestuft. Ein verbessertes Recycling kann dem Rohstoffrisiko entgegenwirken. Im Vergleich zu den anderen aufgeführten Schlüsselrohstoffen sind mögliche Umweltauswirkungen durch den Abbau oder die Produktion von Magnesiummetallen aus Dolomit, Magnesit oder etwa Meerwasser wenig dokumentiert.

Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Der Energieaufwand ist mit 146 Gigajoule je Tonne über dem Durchschnitt. Der Rohstoffaufwand mit fünf Tonnen je produzierter Tonne Magnesium dahingegen unterdurchschnittlich.
- **Recyclingquote:** Mit einer 9 % End-of-Life-Recycling-Input-Quote ersetzen bereits Sekundärrohstoffe eine geringe Menge an Magnesium.
- **Substituierbarkeit (gut):** In einigen Anwendungen z. B. durch Aluminium und Zinn in Gussteilen und Schmiedeerzeugnisse. Magnesium hat gegenüber Aluminium einen Vorteil in der Leichtigkeit.
- **Rohstoffrisiko (hoch):** Theoretischer Vorrat ist unbegrenzt, jedoch ist die Produktion auf wenige Länder konzentriert.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** China (86,1 %), USA (3,9 %) und Israel (2,6 %).

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

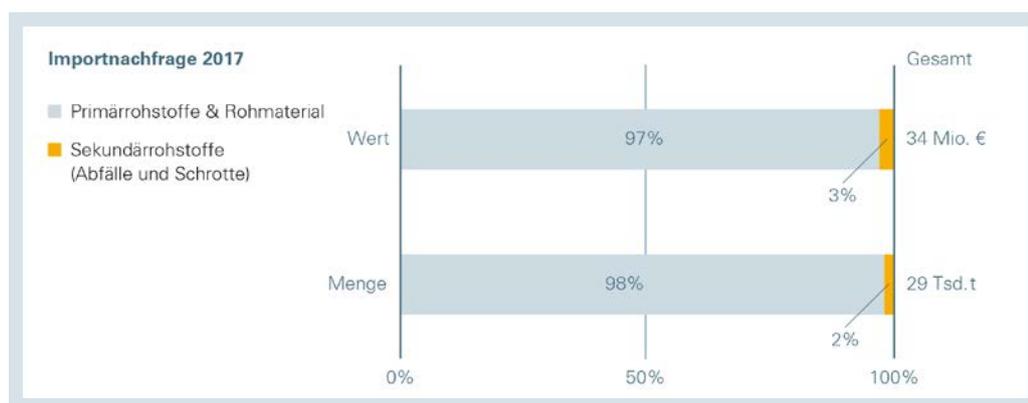


Abb. 14:

Importnachfrage 2017 in Bayern nach Magnesium in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes

Platingruppe

Zur Platingruppe gehören neben Platin auch Iridium, Ruthenium, Rhodium, Palladium und weitere Metalle. Die Platingruppe ist insbesondere in der Unterstützung von katalytischen chemischen Prozessen und in der Produktion von elektronischen Geräten gefragt. Die Anwendungsbereiche sind sehr vielfältig und reichen von Pharmazeutika und Pigmenten bis hin zu Autokatalysatoren. Platin und Palladium sind wertvolle Metalle, weshalb ein großes Interesse besteht sie zu recyceln. **Platin ist beispielsweise vollständig wiederverwertbar.** Das Recycling von Elektroaltgeräten ist auf Grund unausgereifter Verfahren und einer geringen Konzentration der Metalle in den Geräten jedoch eine besondere Herausforderung. Dies führt dazu, dass die Recyclingpraxis sehr unterschiedlich ausfällt.

Anhand des Rohstoffwertes lässt sich darauf schließen, dass ein großer Teil der Sekundärrohstoffe importiert wird (Abbildung 15) und Anwendung in der bayerischen Industrie findet. **Eine Substituierbarkeit ist möglich, allerdings nur mit anderen Metallen der Platingruppe.** Die Metalle der Platingruppe werden als **kritische Rohstoffe** eingestuft, wofür die hohe Länderkonzentration der Bergwerksförderung ausschlaggebend ist. Die **hohe bayerische Importnachfrage** und die hohen Umweltauswirkungen sind signifikante Beweggründe für einen effizienten Einsatz von Materialien. Dokumentiert sind negative Umweltauswirkungen auf Wasser und Luft im Förderland Südafrika.

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

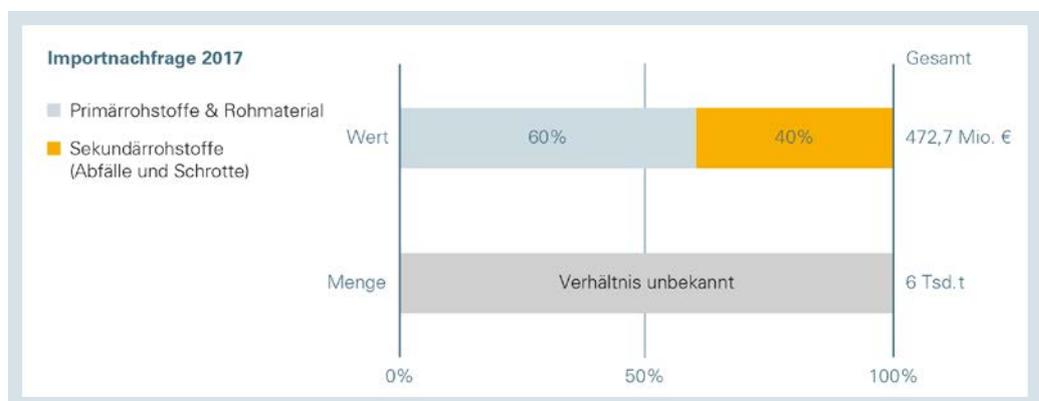
Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Die Platingruppe führt mit deutlichem Vorsprung die Liste des kumulierten Rohstoffaufwands (zwischen 22.435 und 485.206 Tonnen) und Energieaufwands (zwischen 143.552 und 551.719 Gigajoule) je Tonne Rohstoff an. Diese Werte liegen zehntausendfach über dem Median.
- **Recyclingquote:** Die 10 % End-of-Life-Recycling-Input-Quote für Platin und 14 % für die Platinmetallgruppe suggerieren, dass Recyclingverfahren etabliert sind, aber ausbaufähig.
- **Substituierbarkeit (mittel):** Nur untereinander austauschbar, teilweise mit Effizienzverlusten.
- **Rohstoffrisiko (hoch):** Nach jetziger Produktion reichen die Platinvorräte über 100 Jahre. Jedoch liegt eine hohe Länder- und Unternehmenskonzentration vor.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder (Platin):** Südafrika (63,8 %), Russische Föderation (16,1 %), Simbabwe (8,5 %).

Abb. 15:

Importnachfrage 2017 in Bayern nach der Platingruppe in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes



Seltene Erden

Zu der Gruppe der Seltenerdmetalle gehören Scandium, Yttrium, Neodym, Dysprosium und mehr als ein Dutzend weiterer Metalle. Diese gelten als unverzichtbare Bestandteile der Elektronik- und Fahrzeugbranche. Neodym und Dysprosium beispielsweise sind wichtige Zusätze in der Herstellung von Permanentmagneten. Seltene Erden werden auch für den Einsatz in **Zukunftstechnologien** als bedeutsam eingeschätzt. Für die meisten Anwendungen sind die einzelnen Seltenen Erden **substituierbar, aber nur durch andere Metalle aus dieser Gruppe**. Bayern importiert ausschließlich Primärrohstoffe (Abbildung 16). Neben der geringen Recyclingquote befinden sich fast 90 % des Vorkommens in China, so dass das **Rohstoffrisiko der gesamten Gruppe als kritisch** eingestuft wird. Bei der Produktion von Seltenen Erden fallen giftige Chemikalien und radioaktive Substanzen häufig in Auffangbecken an. Ohne ausreichende Umweltschutzsysteme kann dies negative Umweltauswirkungen nach sich ziehen.

Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Mit dem Abbau fallen sehr große Mengen an Rückständen an, die giftige Stoffe enthalten. Ohne ausreichende Umweltschutzsysteme kann der Abbau erhebliche Umweltauswirkungen nach sich ziehen.
- **Recyclingquote:** Mit 3–8 % End-of-Life-Recycling-Input-Quote für die Gruppe ist die Verwendung von Sekundärrohstoffen sehr gering. Jedoch fällt das Recycling sehr unterschiedlich zwischen den einzelnen Elementen aus.
- **Substituierbarkeit (mittel-schlecht):** Für verschiedene Anwendungen verfügbar, aber zumeist mit Leistungseinbußen.
- **Rohstoffrisiko (hoch):** Es liegt eine sehr hohe Länderkonzentration vor. Zudem kann der Rohstoff nur schlecht recycelt oder substituiert werden (siehe oben), was das Rohstoffrisiko weiter erhöht.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** China (88,9 %), USA (4,0 %), Australien (3,6 %).

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

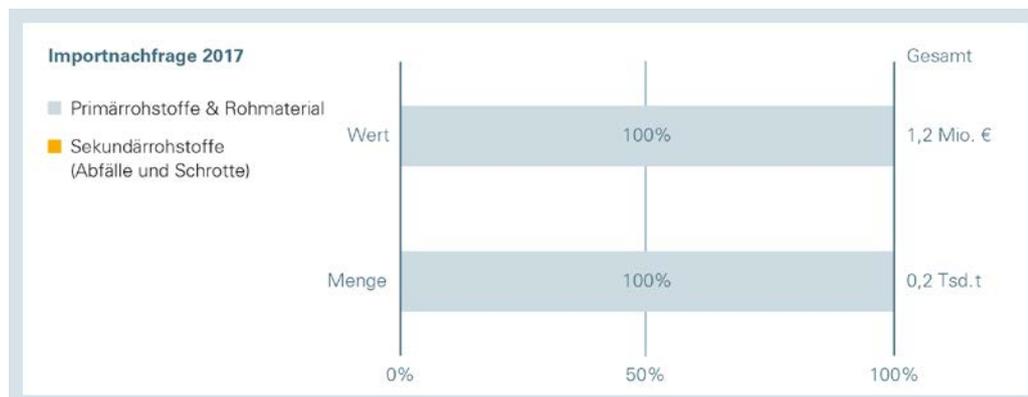


Abb. 16:
Importnachfrage 2017 in Bayern nach Seltenen Erden in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes

Silizium

Silizium ist das zweithäufigste vorkommende Element auf der Welt. Dieses Nichtmetall ist durch die Anwendung in Photovoltaikanlagen bekannt. Verwendung findet Silizium hauptsächlich in der Halbleiterindustrie, Mikroelektronik, in Dioden und Transistoren, sowie in der Produktion von Legierungsstahl und in der chemischen Industrie. Die große Bedeutung für die bayerische Wirtschaft ist im **Importwert mit einem Gesamtvolumen von 275,7 Millionen Euro** (Abbildung 17) klar erkennbar. Die Herstellung von Silizium ist sehr **energieintensiv und findet hauptsächlich in China statt**. Hierbei kann das Recycling zu erheblichen Energieeinsparungen führen. Obwohl gerade der Bereich des Photovoltaik-Modul-Recyclings vorangeschritten ist, ist Sekundärsilizium in Bezug auf den Bedarf kaum vorhanden. In der Halbleiter-Industrie und in einzelnen Anwendungen der Stahlindustrie gibt es bereits Substitutionsmöglichkeiten.

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

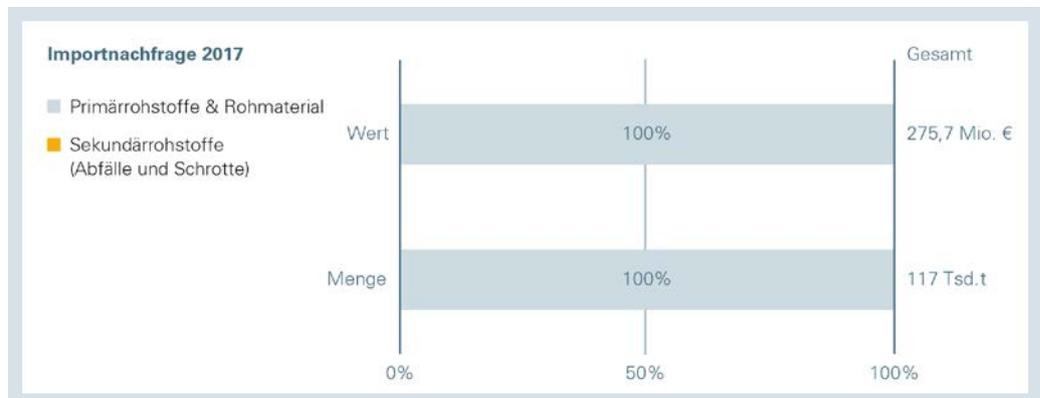
Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Mit 1.417 Gigajoule kumulierter Energieaufwand je Tonne ist die Produktion von Silizium hoch energieintensiv.
- **Recyclingquote:** Mit einer End-of-Life-Recycling-Input-Quote von weniger als 1 % wird Silizium praktisch gar nicht recycelt.
- **Substituierbarkeit (schlecht):** In bestimmten Anwendungen bestehen Substitute z. B. Galliumarsenid und für Halbleiter oder Infrarot Anwendungen.
- **Rohstoffrisiko (hoch):** Trotz theoretisch unbegrenzten Vorräten ist der Rohstoff durch die hohe Länderkonzentration bei der Produktion, geringen Recyclingmöglichkeiten und der schlechten Substituierbarkeit als kritisch aufgeführt.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** China (62,4 %), Brasilien (9,6 %) und Norwegen (6,2 %).

Abb. 17:

Importnachfrage 2017 in Bayern nach Silizium in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes



Tantal

Tantal ist ein sehr hartes Übergangsmetall mit einem sehr hohen Schmelzpunkt innerhalb der Metallgruppe. Es überzeugt durch Korrosions- und Temperaturbeständigkeit. In der Elektroindustrie, etwa durch Tantal-Kondensatoren oder Sputtertargets (Zerstäuber), findet es vielseitig Anwendung – von der Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik bis hin zur Automobilindustrie. Auch in Form von Superlegierungen und in chemischen sowie medizinischen Produkten wird Tantal eingesetzt. Viele der Anwendungen werden als **Zukunftstechnologien** angesehen, so dass die Annahme besteht, die Tantal-Nachfrage könnte künftig weiter steigen. Dies spiegelt bereits die bayerische Importnachfrage wider, die im Jahr 2008 noch bei 0,1 Tonnen lag und in den folgenden neun Jahren um den Faktor 100 anstieg. Im Jahr 2017 lag der Importwert bei 104 Tonnen (Abbildung 18). Zudem fand eine starke Preisentwicklung statt. Zwischen 1990 und 2015 stieg der Weltmarktpreis um 166 %. Tantal ist durch die Konzentration auf politisch instabile Länder als **kritisch** einzustufen und geht außerdem mit **hohen Umweltauswirkungen** einher.

Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Mit einem kumulierten Rohstoffaufwand von 9.180 Tonnen und einem Energieaufwand von 3.356 Gigajoule je Tonne gehört Tantal zu den Rohstoffen mit einer der höchsten Belastungen.
- **Recyclingquote:** Eine 1 % End-of-Life-Recycling-Input-Quote hebt die Notwendigkeit hervor aus Abfällen qualitatives sekundäres Tantal zu gewinnen.
- **Substituierbarkeit (gut):** In einigen Anwendungen z. B. für Hartmetalle, Kondensatoren, korrosionsbeständige Anwendungen oder Hochtemperaturanwendungen ersetzbar.
- **Rohstoffrisiko (hoch):** Die hohe Länderkonzentration in politisch instabilen Ländern stellt ein hohes Rohstoffrisiko dar. Die Vorräte werden auf etwa 80 Jahre geschätzt (Stand 2015).
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** Ruanda (47,1 %), Demokratische Republik Kongo (15,7 %), Brasilien (9,3 %).

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

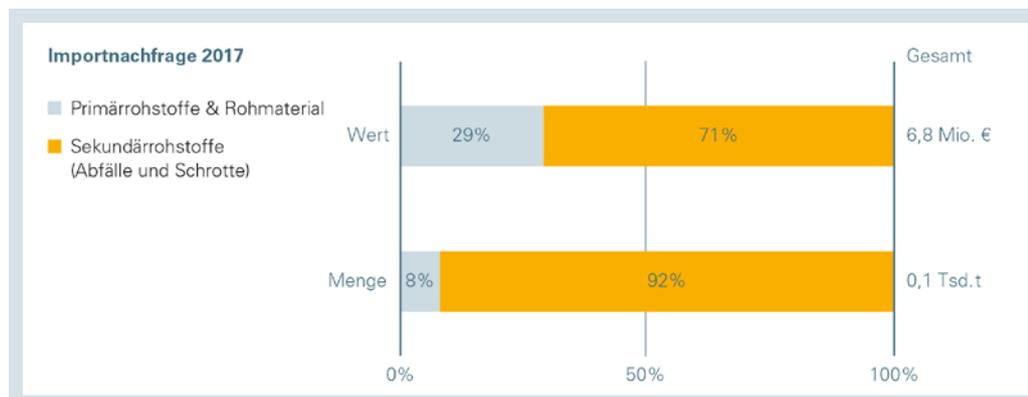


Abb. 18:
Importnachfrage 2017 in Bayern nach Tantal in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes

Wolfram

Wolfram hat einen sehr hohen Schmelz- und Siedepunkt und verfügt über eine gute elektrische Leitfähigkeit. Der Rohstoff kann daher in thermischen, chemischen und mechanisch anspruchsvollen Bereichen verwendet werden. Hierzu zählen sowohl Werkzeuge, wie etwa Bohr-, Fräs- und Schneidwerkzeug, als auch Elektroden bei speziellen Schweißverfahren. Insbesondere für Superlegierungen oder für die Leuchtmittelindustrie hat Wolfram eine hohe **Zukunftsrelevanz**. Die steigende Bedeutung von Wolfram wird in der rapiden Preissteigerung der letzten Jahre deutlich. 80 % der Wolfram-Förderung findet in China statt, weshalb der Rohstoff als kritisch angesehen wird. Dort ist der Abbau zum Teil mit **hohen Umweltauswirkungen** verbunden. Das Ausweichen auf Substitute sowie bereits **etablierte Recyclingverfahren** von Wolfram können diesen Problemen auf der Nachfrageseite entgegenwirken. Bayern importiert rund 65 % recyceltes Wolfram (Abbildung 19). Mit einer weiteren Steigerung der Ressourceneffizienz kann eine Entschärfung der Länderabhängigkeit und der Umweltauswirkungen erreicht werden.

Quelle: Siehe Beschreibung der einzelnen Indikatoren; Förder- bzw. Produktionsländer: DERA Rohstoffliste 2016

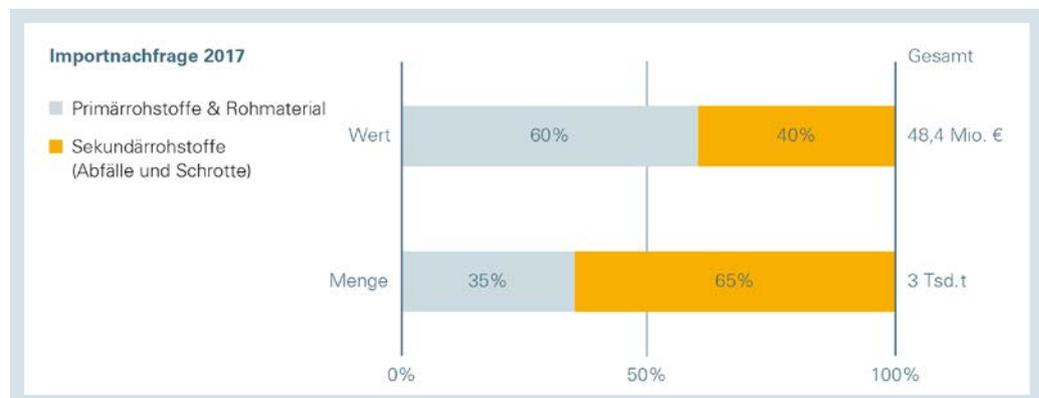
Fakten & Informationen

- **Umweltauswirkungen:** Herausstechend ist der deutlich überdurchschnittliche kumulierte Rohstoffaufwand (343 Tonnen je Tonne).
- **Recyclingquote:** Mit einer 42 % End-of-Life-Recycling-Input-Quote wird bereits eine hohe Menge an sekundärem Wolfram für die Produktion zur Verfügung gestellt.
- **Substituierbarkeit (mittel):** In bestimmten Verwendungen durch keramisch-metallische Verbundwerkstoffe ersetzbar. In einigen Anwendungen führt die Substitution zu erhöhten Kosten oder Leistungseinbußen.
- **Rohstoffrisiko (hoch):** Bei heutigem Produktionsniveau reichen die Vorräte etwa nur 40 Jahre. Zudem konzentriert sich die Förderung auf wenige Länder.
- **Förder- bzw. Raffinadeproduktions-Länder:** China (80,5 %), Vietnam (4,8 %), Russische Föderation (3,3 %).

Abb. 19:

Importnachfrage 2017 in Bayern nach Wolfram in Mio. € und Tsd. t.

Quelle: Außenhandelsstatistik des statistischen Bundesamtes





Chancen ergreifen

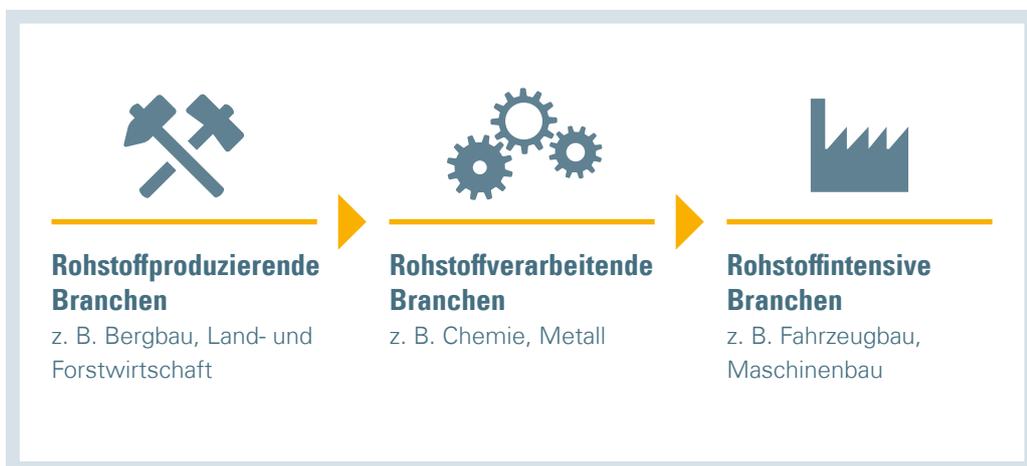
Bayerische Leitbranchen und Praxisbeispiele

Die vorangegangene Betrachtung hat gezeigt, welche Schlüsselrohstoffe im Kontext von Ressourceneffizienz besonders relevant sind und wo die größten Herausforderungen liegen. Je nach Rohstoff und Praxisanwendung können die Einsparpotenziale in der Ressourcennutzung sehr unterschiedlich ausfallen. Hierzu ist eine detaillierte Betrachtung der bayerischen Industriebranchen erforderlich. Industrieunternehmen bilden die Schnittstelle zwischen Rohstoffherzeugung und dem Konsum und damit der Rohstoffnutzung durch Endverbraucher in Form verschiedener Produkte. Somit können Unternehmen die größte Hebelwirkung für Ressourceneffizienz entfalten.

Die Industrie hat ein großes Potenzial Ressourcen durch einen effizienten Einsatz zu schonen.

CHARAKTERISIERUNG UNTERSCHIEDLICHER BRANCHEN ANHAND DER ROHSTOFFNÄHE

Die verschiedenen Branchen lassen sich anhand ihrer Nähe zu Rohstoffen charakterisieren. Im Bergbau werden abiotische Rohstoffe gewonnen und für die weitere Verwendung in den Produktionsprozessen der nachgelagerten Industriebranchen aufbereitet. Land- und Forstwirtschaft stellen biotische Rohstoffe bereit. Diese Branchen lassen sich als **rohstoffproduzierend** klassifizieren. Als **rohstoffverarbeitende** Branchen lassen sich solche Wirtschaftszweige identifizieren, die in großem Umfang Rohstoffe aus den rohstoffproduzierenden Branchen beziehen und weiterverarbeiten, wie beispielsweise in der Chemie- oder Metallbranche. Ein großer Teil der Produktion aus den rohstoffverarbeitenden Branchen fließt wiederum in die Produktionsprozesse anderer Branchen ein. Die Branchen, die besonders viele Vorleistungen aus den rohstoffverarbeitenden Branchen beziehen, bilden die Kategorie der **rohstoffintensiven** Branchen. Dazu gehören z. B. der Fahrzeug- oder auch der Maschinenbau.



Der Rohstoffeinsatz unterscheidet sich zwischen den Branchen erheblich.

Rohstoffnähe der bayerischen Industriebranchen

Bayern verfügt im nationalen und internationalen Vergleich über einen sehr starken Industriesektor. Im Jahr 2016 wurden über 28 % der bayerischen Wirtschaftsleistung in den Branchen des Verarbeitenden Gewerbes erwirtschaftet. In Deutschland insgesamt lag der Anteil der Industrie an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung bei 23 %. Die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union kommen im Durchschnitt auf einen Anteil von lediglich 16 %.

Die Industrie zeichnet sich insbesondere durch die Herstellung von physischen Gütern aus. Dafür sind die Unternehmen unter anderem auf Rohstoffe und auf Halbfabrikate angewiesen, die bereits verarbeitete Rohstoffe enthalten. Die Bedeutung des Rohstoffeinsatzes in den industriellen Produktionsprozessen unterscheidet sich zwischen den einzelnen Industriebranchen teils beträchtlich. Auf Grundlage einer Input-Output-Analyse lassen sich die einzelnen Branchen im Hinblick auf ihre Rohstoffnähe systematisch klassifizieren.

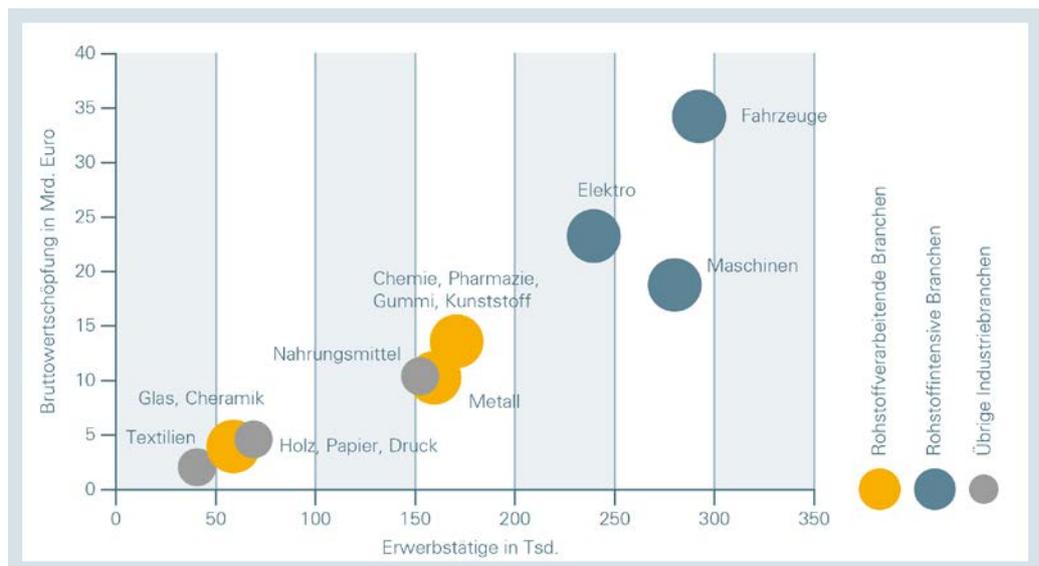
Im Ergebnis (Abbildung 20) zeigt sich, dass die wichtigsten bayerischen Industriezweige, bezogen auf die Anzahl der Erwerbstätigen und die Bruttowertschöpfung, zur Gruppe der rohstoffintensiven Branchen gehören⁹. Der Fahrzeugbau und der Maschinenbau beschäftigten im Jahr 2016 jeweils fast 300.000 Menschen. Die Elektrobranche, die sich aus den Teilbereichen Elektrische Ausrüstungen sowie Datenverarbeitungsgeräte, Elektronik und Optik zusammensetzt, kommt auf eine Erwerbstätigenzahl von 240.000.

Abb. 20:

Rohstoffnähe der bayerischen Industriebranchen, geordnet nach Anzahl der Erwerbstätigen bzw. Bruttowertschöpfung in Bayern im Jahr 2016*

* Die rohstoffproduzierenden Branchen sind nicht Teil des Verarbeitenden Gewerbes und daher in der Abbildung und der nachfolgenden Analyse nicht enthalten.

Quelle: Prognos Economic Outlook und Berechnung auf Basis der I-O Tabelle des Statistischen Bundesamtes



Chemische Industrie und Metallindustrie sind die wichtigsten rohstoffverarbeitenden Branchen in Bayern.

Auch zwei rohstoffverarbeitende Branchen haben eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. Dazu gehört zunächst die Branche Chemie, Pharmazie, Gummi- und Kunststoffwaren. Dabei ist zu beachten, dass hier insbesondere der Teilbereich Chemie in großem Umfang Rohstoffe direkt verarbeitet, während die Teilbereiche Gummi und Kunststoffwaren sowie Pharmazie für sich genommen nach obengenannter Charakterisierung als rohstoffintensiv klassifiziert werden müssten¹⁰. Die zweite große rohstoffverarbeitende Branche stellt die Metallbranche dar. Sie besteht aus den Teilbereichen Metallerzeugung und Herstellung von Metallerzeugnissen, wobei vor allem der erste Teilbereich Rohstoffe direkt verarbeitet. Die dritte rohstoffverarbeitende Branche Glas und Keramik verarbeitet in großem Umfang Rohstoffe in ihren Produktionsprozessen, ist im Hinblick auf ihre wirtschaftliche Bedeutung hingegen kleiner.

Die übrigen Industriebranchen – Nahrungsmittel, Textilien sowie Holz, Papier und Druck – beziehen in einem vergleichsweise geringen Umfang abiotische Rohstoffe aus den rohstoffproduzierenden Branchen.

Rohstoffbedarf der bayerischen Industrie

Es zeigt sich, dass die drei großen rohstoffintensiven Branchen – Fahrzeuge, Maschinen, Elektro – sowie die zwei rohstoffverarbeitenden Branchen – Metall sowie Chemie, Pharmazie, Gummi- und Kunststoffwaren – den höchsten Rohstoffeinsatz bei ihren industriellen Herstellungsprozessen aufweisen. An der Spitze steht dabei die Metallbranche. Die bayerischen Metallunternehmen verbrauchten bei ihren Produktionsprozessen im Jahr 2014 schätzungsweise 52 Millionen Tonnen Rohstoffe (gemessen in Rohstoffäquivalenten)¹¹. Die mit Abstand wichtigste verwendete Rohstoffgruppe bildeten Erze mit 45 Millionen Tonnen (Abbildung 21).

Der bayerische Fahrzeugbau befindet sich gemessen am Rohstoffeinsatz mit 48 Millionen Tonnen auf Rang zwei, gefolgt von der Elektrobranche, der Chemie-, Pharmazie-, Gummi- und Kunststoffbranche sowie dem Maschinenbau. Im Bereich Holz, Papier, aber auch bei der Chemie-, Pharmazie-, Gummi- und Kunststoffbranche fällt auf, dass sie auch in nennenswertem Umfang biotische Rohstoffe verarbeitet.

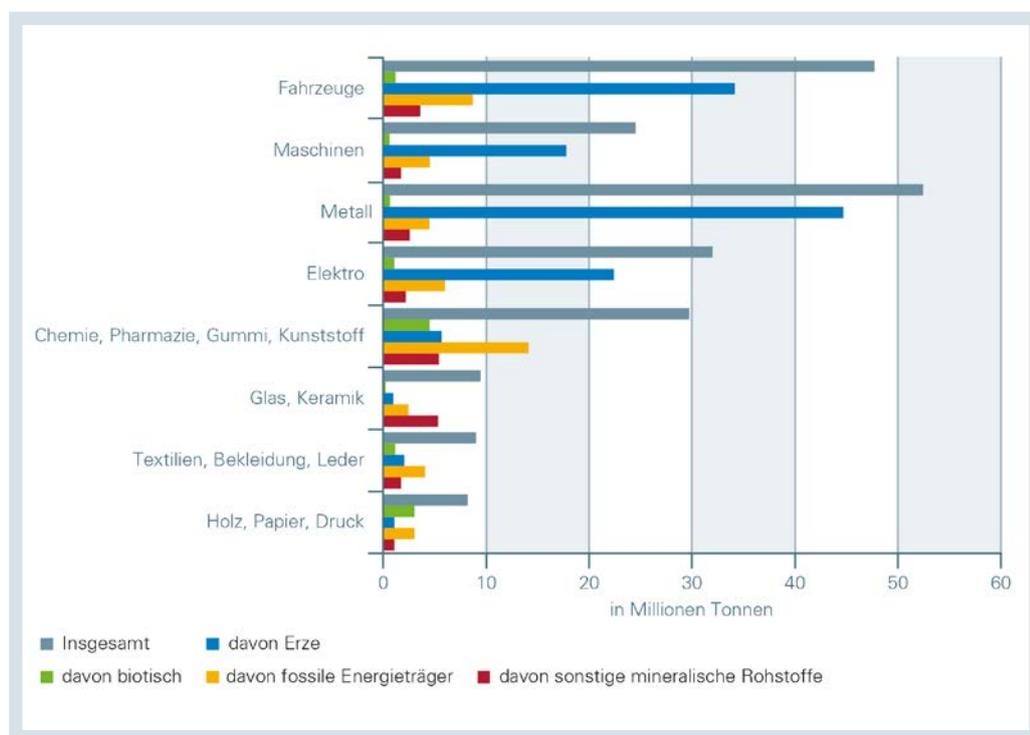


Abb. 21:

Rohstoffeinsatz bei der Herstellung in den Industriebranchen, Letzte inländische Verwendung und Exporte in Millionen Tonnen Rohstoffäquivalenten nach Gütergruppen in Bayern, 2014

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnung des Statistischen Bundesamtes

Lesehilfe: Im Jahr 2014 wurden in Bayern insgesamt 48 Millionen Tonnen Rohstoffe in Rohstoffäquivalenten in Form von Gütern der Gütergruppen Fahrzeugbau an die letzte inländische Verwendung oder den Export abgegeben. Der Wert gibt Auskunft über den gesamten Rohstoffverbrauch einer Branche, inklusive aller vorgelagerten Prozesse. Die mit Abstand wichtigste verwendete Rohstoffgruppe bildeten Erze – also bergmännisch abgebaute metallhaltige Mineralien – mit 34 Millionen Tonnen.

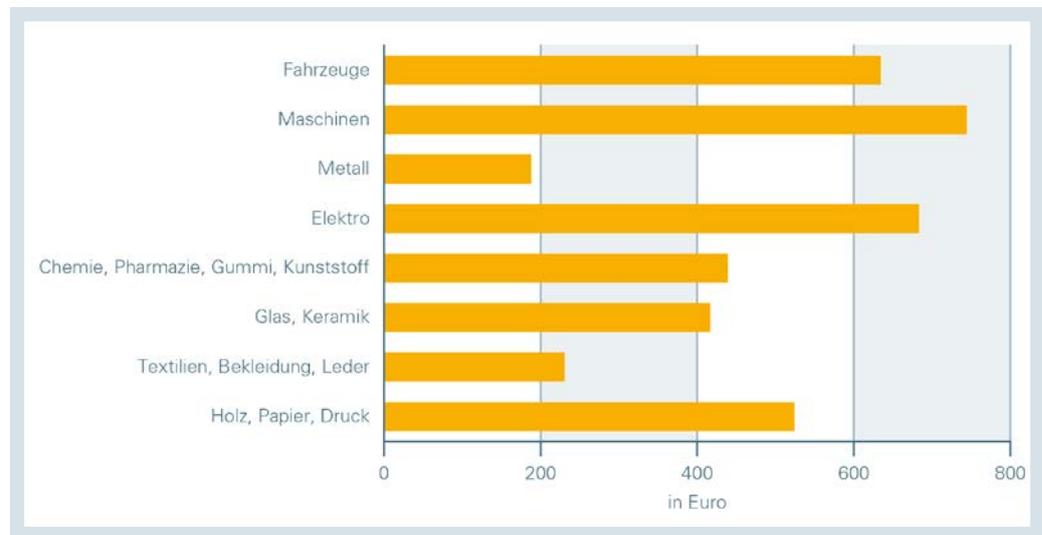
Der Maschinenbau liegt bei der Rohstoffproduktivität an der Spitze.

Im Hinblick auf die Rohstoffproduktivität – also die branchenspezifische Bruttowertschöpfung dividiert durch den jeweiligen Einsatz von Rohstoffen – ergibt sich eine andere Reihenfolge. An der Spitze steht der Maschinenbau. So generierten die bayerischen Maschinenbauer im Jahr 2014 je Tonne Rohstoffeinsatz eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 744 Euro (Abbildung 22). Dahinter folgen mit etwas Abstand die beiden anderen großen bayerischen Industriebranchen Elektrotechnik mit einer Bruttowertschöpfung in Höhe von 683 Euro und Fahrzeugbau mit 634 Euro. Am niedrigsten ist die Rohstoffproduktivität in der Metallbranche. Insbesondere die Teilbereiche Erzeugung von Roheisen, Stahl, Ferrolegierungen oder Nichteisenmetalle benötigen sehr viele Rohstoffe. Im Gegensatz beispielsweise zu den Produkten des Fahrzeug- oder Maschinenbaus befinden sich Metalle auf einer niedrigeren Fertigungsstufe, was in aller Regel mit einer geringeren Bruttowertschöpfung einhergeht.

Abb. 22:

Rohstoffproduktivität der bayerischen Branchen, Bruttowertschöpfung in Euro je Tonne Rohstoffeinsatz, 2014.

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamts, Prognos Economic Outlook



Lesehilfe: Im bayerischen Fahrzeugbau wurde im Jahr 2014 je Tonne Rohstoffeinsatz eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 630 Euro erzielt. In der Metallindustrie ist der Rohstoffeinsatz im Vergleich dazu höher: Je Tonne Rohstoffeinsatz steht nur eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 190 Euro.



BLICK AUF DIE BAYERISCHEN LEITBRANCHEN: ROHSTOFFNUTZUNG UND PRAXISBEISPIELE ZUR UMSETZUNG VON RESSOURCENEFFIZIENZ

Fahrzeugbau, Maschinenbau, Metallindustrie, Elektroindustrie sowie die Gruppe Chemie-, Pharma-, Gummi- und Kunststoffindustrie sind die fünf wichtigsten Industriebranchen Bayerns. Auf den folgenden Seiten wird die Rohstoffsituation dieser Leitbranchen genauer in den Blick genommen. Neben einer Einordnung der Rohstoffnutzung und Wirtschaftsleistung der einzelnen Branchen zeigen die nachfolgenden Praxisbeispiele bayerischer Unternehmen erfolgreiche Maßnahmen auf, mit denen Rohstoffe eingespart und Effizienzpotenziale gehoben werden konnten.

Ressourceneffizienz im Fahrzeugbau

Der Fahrzeugbau ist die wichtigste bayerische Industriebranche. Seine Bedeutung nahm in den vergangenen Jahren spürbar zu: So stieg die Bruttowertschöpfung in der Branche zwischen 2010 und 2016 um knapp 7 % pro Jahr und damit deutlich dynamischer als in der Gesamtwirtschaft. Sein Anteil an der gesamten industriellen Wertschöpfung in Bayern liegt mittlerweile bei einem Viertel, der Anteil an den Erwerbstätigen bei einem Fünftel. Die Branche zeichnet sich zudem durch eine sehr hohe Exportquote aus. Darüber hinaus spielt sie eine wichtige Rolle für den Forschungsstandort Bayern: 2015 entfielen über 40 % der gesamten industriellen Ausgaben für Forschung und Entwicklung auf die Branche.

Der Fahrzeugbau spielt auch für viele vorgelagerte Branchen eine wichtige Rolle. Besonders viele Vorleistungen bezieht er aus der Metallindustrie und der Chemieindustrie. Auch der Dienstleistungssektor profitiert: Hier greift der Fahrzeugbau besonders stark auf Leistungen des Handels, der Beratungsbranche sowie den Arbeitskräftevermittlungen zurück.

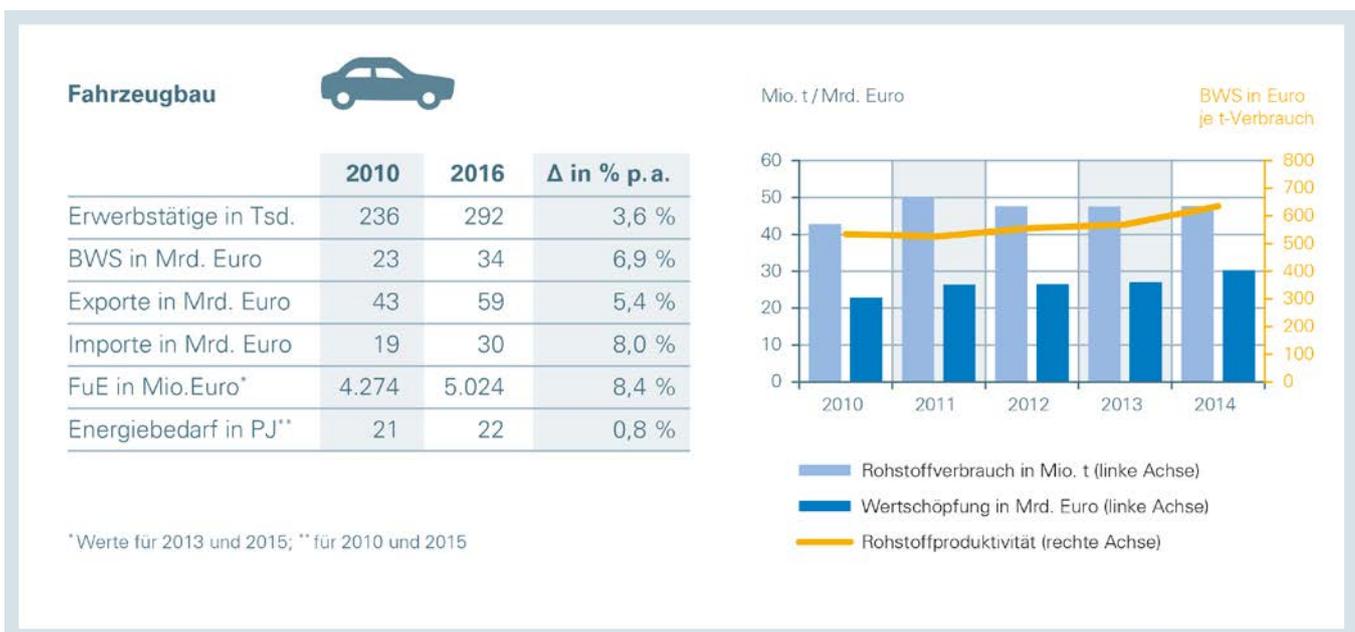
Während die Bruttowertschöpfung in der Branche in den vergangenen Jahren deutlich zulegte, blieb der Rohstoffverbrauch stabil. Im Ergebnis nahm die Rohstoffproduktivität spürbar zu. So wurde im Jahr 2010 je Tonne Rohstoffeinsatz eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 530 Euro erzielt. Dieser Wert stieg bis 2014 deutlich auf 630 Euro pro Tonne (Abbildung 23 rechts). Hintergründe dieser Entwicklung sind unter anderem Effizienzfortschritte in der Produktion und die Intensivierung von Leichtbauansätzen.

Abb. 23:

Ökonomische Eckdaten und Rohstoffproduktivität im Fahrzeugbau

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamts, Prognos Economic Outlook BWS=Bruttowertschöpfung, FuE=Forschung und Entwicklung

Im Hinblick auf Volumenrohstoffe – also Rohstoffe, die gesamtwirtschaftlich in besonders hohem Umfang nachgefragt werden – spielt Eisen im Fahrzeugbau nach wie vor eine zentrale Rolle. Daneben haben, insbesondere im Bereich Leichtbau, beispielsweise Aluminium, Magnesium, Kunststoffe und Carbon an Bedeutung gewonnen. Im Schienenverkehr spielt zudem Kupfer eine wichtige Rolle. Des Weiteren finden verschiedene kritische Rohstoffe, wie Platin und Seltene Erden, Anwendung in Fahrzeugkatalysatoren. Letztere gewinnen ebenso wie Lithium und Kobalt durch die Zunahme der Elektromobilität an Bedeutung, da sie für die Herstellung von Batteriespeichern benötigt werden.



Praxisbeispiel: Bühler Motor GmbH

Hauptsitz: Nürnberg

Mitarbeiter: rund 1.800

Branche: Fahrzeugbau

Schlüsselrohstoffe: unter anderem
Seltene Erden, Kupfer, Aluminium,
Eisen

Das familiengeführte mittelständische Unternehmen Bühler Motor GmbH ist Zulieferer in der Automobilindustrie. An seinem Hauptsitz in Nürnberg entwickelt das Unternehmen elektrische Motoren, Getriebemotoren und Pumpen, die weltweit hergestellt und vertrieben werden. 85 % des Umsatzes bestreitet das Unternehmen mit seinem Automobilbereich. Die übrigen 15 % stammen aus den Geschäftsbereichen „Healthcare“, „Industrial“ und „Aviation“. Für 2019 strebt das Unternehmen einen Umsatz von 350 Millionen Euro an.

Zu den Schlüsselrohstoffen in der Antriebstechnologie zählen neben Aluminium, Kupfer und Eisen auch Seltene Erden für Magnete in Motoren und Pumpen. Insbesondere die Nutzung der Seltenen Erden sieht das Unternehmen auf Grund von steigenden Preisen, Umweltproblemen beim Abbau und der Abhängigkeit von wenigen Förderländern als kritisch. Um ein Versorgungsrisiko zu vermeiden, unterhält das Unternehmen direkte Lieferbeziehungen und Langzeitverträge mit mehreren Magnetherstellern. Zudem arbeitet Bühler Motor stetig an einer Senkung seines Materialbedarfs.

Das Unternehmen hat einen ganzheitlichen, systematischen Ansatz zur Steigerung der Ressourceneffizienz entwickelt und investiert konstant in die Entwicklung seiner Motoren und Pumpen. Interdisziplinäre Kompetenzteams kümmern sich um die strategische Produktentwicklung in den Bereichen Kunststoff und Elektronik. Hier arbeiten Mitarbeiter aus dem Einkauf, Verkauf, Design, Fertigung und Entwicklung sowie eigene Materialspezialisten gemeinsam an einer gesamtheitlichen Effizienzsteigerung der Produkte. In Planung sind weitere Gruppen aus Fachexpertinnen und -experten zu den Themen Standteile und Magnete.

Insbesondere die Verbesserung des Einsatzes von Ferritmagneten als Substitut für Seltene Erdmagnete spielt eine entscheidende Rolle in der Effizienzsteigerung. Sofern man mit einem Ferritmagnet eine gleiche oder für die Applikation zumindest ausreichende Leistung erreicht, wie mit einem Magneten aus Seltenen Erden, hat dies erhebliche Kostenvorteile und führt zu mehr Materialeffizienz. Seltene Erden sind anfällig gegenüber unterschiedlichen Medien und müssen extra geschützt werden. Dies führt zu einem weiteren Materialeinsatz und bis zu 60 % mehr Kosten, welche durch den Einsatz von Ferritmagneten vermieden werden können.

Zur Verbesserung der Umweltbilanz und Ressourceneffizienz verfolgt Bühler Motor eine Vier-Säulen-Strategie. Diese konzentriert sich neben der Entwicklung auf Effizienz in der Fertigung, im Gebäude und in den Produkten. Auf Grund seines strategischen Ansatzes wurde das Unternehmen bereits zweimal mit dem Lean & Green Award ausgezeichnet.

„Effizienz hat für uns oberste Priorität. Optimale Leistung bei geringem Materialeinsatz – daran arbeitet Bühler stetig.“

Mounir Kudsi,
Vice President
Central Research &
Development

Ressourceneffizienz im Maschinenbau

Der Maschinenbau ist eine wesentliche Säule der bayerischen Industrie. Die Zahl der Erwerbstätigen nahm in den vergangenen Jahren kontinuierlich zu. Im Jahr 2016 waren 280.000 Personen in der Branche beschäftigt. Das sind annähernd so viele Menschen wie im Fahrzeugbau. Der Maschinenbau ist ebenfalls überdurchschnittlich exportstark. Rund zwei Drittel des Gesamtumsatzes werden im Ausland erwirtschaftet. Im Hinblick auf Forschung und Entwicklung steht die Branche hinter dem Fahrzeugbau und der Elektrotechnik im Freistaat Bayern an dritter Stelle.

Dem Maschinenbau kommt im Kontext der Ressourceneffizienz eine besondere Rolle zu. Die Branche ist eng mit den übrigen Industriebranchen verwoben. Insbesondere die Metallindustrie profitiert von ihrer Vorleistungsnachfrage. Seine besondere Bedeutung verdankt der Maschinenbau vor allem dem Umstand, dass er für viele nachgelagerte Branchen ein wichtiger Zulieferer ist. In fast allen Unternehmen aus dem Verarbeitenden Gewerbe gehen zahlreiche Produkte, Anlagen und Technologien aus dem Maschinenbau in die jeweiligen Produktionsprozesse ein. Mit der Bereitstellung effizienter Technologien befähigt der Maschinenbau andere Branchen zu Ressourceneffizienzsteigerungen. Die Digitalisierung in der Produktion (Industrie 4.0) dürfte die Bedeutung weiter erhöhen.

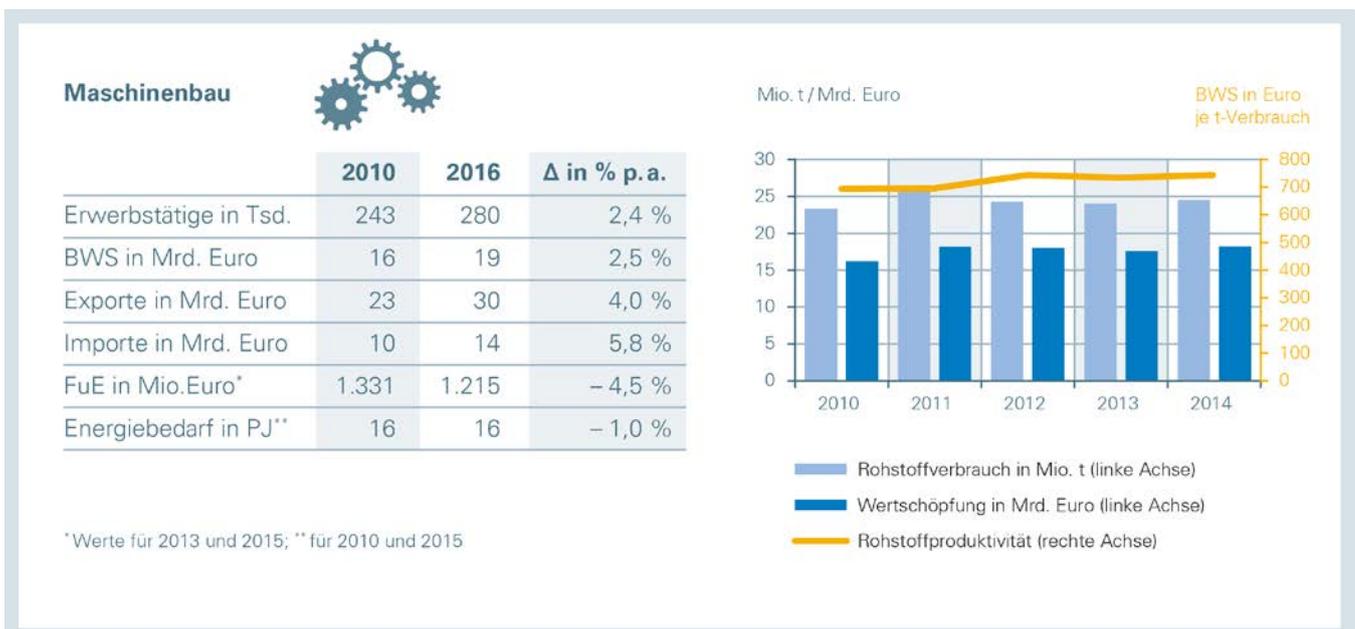
Die Bruttowertschöpfung legte in den vergangenen Jahren mit durchschnittlich 2,5 % pro Jahr dynamisch zu. Gleichzeitig ging der Rohstoffverbrauch seit 2011 etwas zurück. Damit konnte die branchenspezifische Rohstoffproduktivität gesteigert werden: 2010 erwirtschaftete der Maschinenbau je Tonne Rohstoffeinsatz eine Bruttowertschöpfung von knapp 700 Euro. Im Jahr 2014 stieg die Wertschöpfung auf gut 740 Euro (Abbildung 24 rechts).

Abb. 24:

Ökonomische Eckdaten und Rohstoffproduktivität im Maschinenbau

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamts, Prognos Economic Outlook BWS = Bruttowertschöpfung, FuE = Forschung und Entwicklung

Stahl und Eisen sind für den Maschinenbau die mit Abstand wichtigsten Volumenwerkstoffe. Auch Kupfer wird in nennenswertem Umfang verbraucht. Im Zeitraum 2010 bis 2014 sank der Kupferpreis und könnte somit zur Steigerung der Rohstoffproduktivität beigetragen haben. Ein weiterer wichtiger Rohstoff für die Branche ist Magnesium, das z. B. bei Legierungen Anwendung findet. Bedeutende Risikostoffe sind Wolfram und Tantal. Sie sind etwa Bestandteil von Walzmaschinen, Schneidwerkzeugen oder Bohrkronen. Für viele Zukunftstechnologien (wie beispielsweise Antriebstechnik und Windkraftturbinen) kommen zudem Seltene Erden zum Einsatz. Da Seltene Erden ein erhöhtes Rohstoffrisiko aufweisen, wird Effizienz im Zusammenhang mit Versorgungssicherheit künftig eine wichtige Rolle spielen.



Praxisbeispiel: Bauer Maschinen & Technologie GmbH & Co. KG

Hauptsitz: Weilheim

Mitarbeiter: rund 220

Branche: Maschinenbau

Schlüsselrohstoffe: unter anderem Eisen
bzw. Stahl, Aluminium

Das Familienunternehmen Bauer Maschinen & Technologie GmbH & Co. KG ist Auftragsfertiger für Konstruktionen von Baugruppen und kompletten Maschinen. Zu den Kunden gehören Unternehmen unter anderem aus der Getränke- und Solarindustrie sowie der Präzisionsoptik. Bauer Maschinen & Technologie begleitet Maschinen von der ersten Konzeption, über die Montage bis hin zur Inbetriebnahme. Schon im Entwicklungsprozess können so die selbsternannten „Maschinologen“ den Kunden Materialeinsparpotenziale bereits während der Konzeptionsphase aufzeigen.

Zu den Schlüsselwerkstoffen in der Fertigung zählen vorrangig Stahl und Aluminium. Damit möglichst wenige Rohstoffabfälle anfallen, bezieht das Unternehmen hauptsächlich fertige Materialzuschnitte bei regionalen Lieferanten. Durch die Fertigung auf Auftragsbasis kann das Unternehmen sehr genau kalkulieren, welche Rohstoffe in welchem Umfang benötigt werden. Die maßgefertigten Rohstoffzuschnitte sind zwar auf den ersten Blick teurer als standardisierte Meterware, jedoch langfristig durch den geringeren Anteil an Ausschuss umweltfreundlicher und wirtschaftlicher. Bauer Maschinen & Technologie verzichtet auch auf provisorische Überbestellungen für Ausschusssicherung und hat kein Materiallager. Das heißt, es wird nur so viel bestellt wie auch verbraucht wird.

Zudem arbeitet das Unternehmen selbst Maschinen auf, die es vor vielen Jahren gefertigt hat. Ein Beispiel für eine gelungene Aufarbeitung und Nachrüstung ist die vor 20 Jahren produzierte Holzverarbeitungsmaschine für Handläufe. 95% des Materialvolumens konnte in der Überarbeitung der Anlage wiederverwendet werden. Re-Manufacturing spielt in der gesamten Unternehmensgruppe eine große Rolle. Das Tochterunternehmen BTS GmbH, ein Spezialist für Turbolader im Fahrzeugbereich, gewann 2017 für sein Turbolader-Austauschprogramm den Rohstoffeffizienzpreis des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Beim Austausch eines Turboladers fordert das Unternehmen den defekten Turbolader ein und bereitet diesen ohne Qualitätsverlust neu auf, wodurch 98% des Materials eingespart werden können.

Darüber hinaus ist das Unternehmen Mitglied im Umweltpakt Bayern und kann auf eine Reihe von Auszeichnungen im Bereich Ressourceneffizienz blicken. Das Unternehmen ist zudem ausgezeichnete Ökoprot-Betrieb und trägt den Umweltpreis der Stadt Weilheim.

„Als Unternehmensgruppe sind wir nicht nur bestrebt neue Produkte herzustellen, sondern auch die Reparaturfähigkeit zu ermöglichen.“

Robert Wittig,
Leiter der Managementsysteme, Qualität, Umwelt und Energie

Ressourceneffizienz in der Elektroindustrie

Gemessen an der Bruttowertschöpfung ist die Elektroindustrie nach dem Fahrzeugbau die zweitwichtigste Industriebranche in Bayern. Sie lässt sich in die beiden Bereiche Datenverarbeitungsgeräte, Elektronik und Optik sowie Elektrische Ausrüstungen untergliedern, wobei beide Bereiche in Bayern ähnlich groß sind. Die Branche ist sehr forschungsintensiv und innovationsstark: Im Jahr 2015 entfielen 28 % der gesamten Ausgaben für Forschung und Entwicklung in der bayerischen Industrie auf Unternehmen aus der Elektroindustrie.

Die Elektroindustrie ist auch deshalb sehr bedeutsam für den gesamten Industriestandort Bayern, weil ihre Produkte in großem Umfang in die Produktionsprozesse anderer Industriebranchen eingehen. Besonders viele Vorleistungen werden an den Fahrzeug- und Maschinenbau geliefert. Die Elektroindustrie selbst wiederum bezieht viele Vorleistungen aus der Metallindustrie und der Chemieindustrie, wobei aus letzterer vor allem Gummi- und Kunststoffwaren bezogen werden.

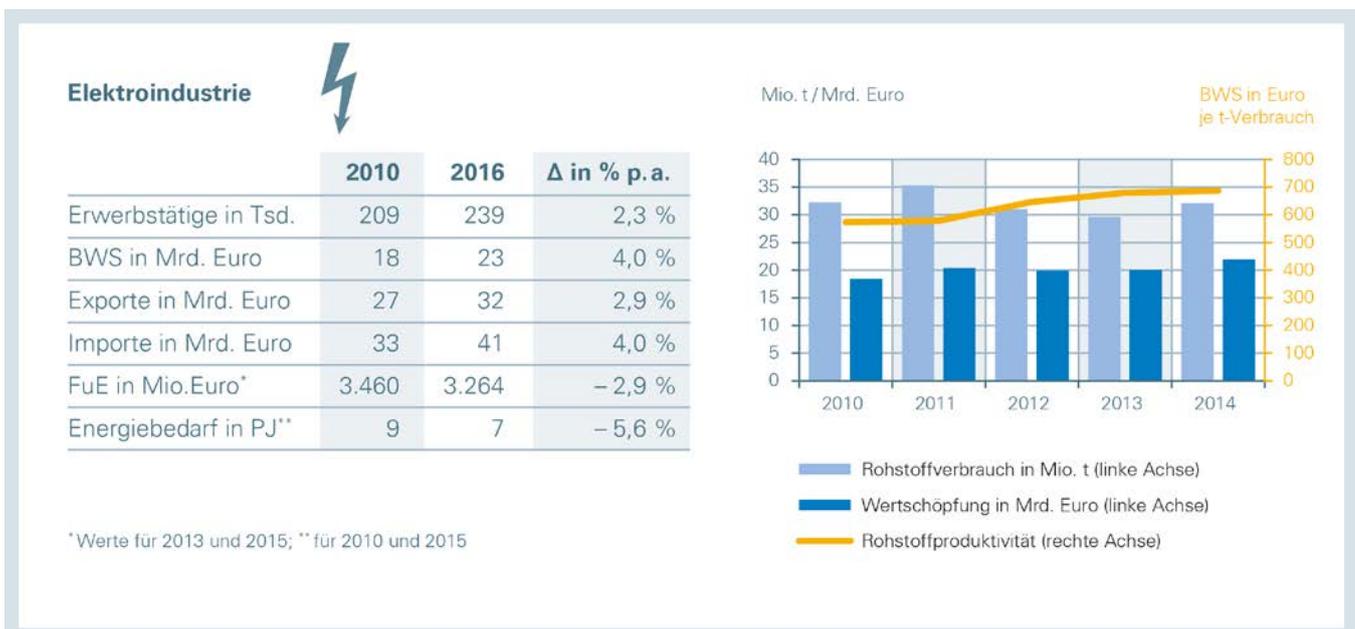
Während die Bruttowertschöpfung in der Branche in den vergangenen Jahren deutlich zulegte, blieb der Rohstoffverbrauch – nicht zuletzt auch vor dem Hintergrund gestiegener Anforderungen in Bezug auf Öko-Design und Elektroaltgeräte – in etwa auf einem stabilen Niveau. Im Ergebnis nahm die Rohstoffproduktivität messbar zu. 2010 generierte die bayerische Elektroindustrie je Tonne Rohstoffeinsatz eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 570 Euro. Bis zum Jahr 2014 stieg die Wertschöpfung auf gut 680 Euro (Abbildung 25 rechts).

Charakteristisch für die Elektroindustrie ist, dass sie in ihren Produktionsprozessen eine große Vielfalt an Rohstoffen verarbeitet. Fast alle der in Kapitel 3 dargestellten Rohstoffe finden in der Branche Anwendung. Volumenrohstoffe wie Eisen oder Kupfer (etwa für Kabel, Drähte, Leitungen) werden verbraucht, jedoch in weniger großem Umfang als z. B. im Fahrzeug- oder Maschinenbau. Silizium ist elementarer Bestandteil von Halbleitern, Mikrochips oder Solarzellen. Wolfram findet bei elektrischen Kontakten, Elektroden, Kathoden oder Dünnfilmtransistoren Anwendung. Seltene Erden sind wiederum etwa in der Magnettechnik zu finden. Elektrolytkondensatoren etwa in der Fahrzeugelektronik, in Computern oder Mobiltelefonen Tantal. Die wichtiger werdende Batterietechnik verarbeitet Lithium, Kobalt und Antimon. Insbesondere die umfassende und steigende Nachfrage nach risikoreichen Rohstoffen kann eine besondere Herausforderung für die Elektroindustrie bedeuten und rückt das Thema Ressourceneffizienz noch stärker in den Fokus.

Abb. 25:

Ökonomische Eckdaten und Rohstoffproduktivität in der Elektroindustrie

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamts, Prognos Economic Outlook BWS = Bruttowertschöpfung, FuE = Forschung und Entwicklung



Praxisbeispiel: SPINNER GmbH

Hauptsitz: München

Mitarbeiter: rund 1.000

Branche: Elektroindustrie

Schlüsselrohstoffe: unter anderem
Kupfer, Aluminium

Das Elektrotechnik-Unternehmen SPINNER GmbH mit Hauptsitz in München ist Hersteller von Produkten für die Hochfrequenztechnik. In seiner Hauptproduktionsstätte in Feldkirchen-Westerham fertigt das Unternehmen diverse Produkte wie Steckverbinder oder Komponenten für Sendeanlagen. Sie finden Anwendung in den Bereichen Mobilfunk, Rundfunk, Radar, Industrie, Messtechnik und Hochenergiephysik. Das wichtigste Rohmaterial hierbei ist Messing, eine Kupferlegierung mit bis zu 40 % Zink und Zinn. Der jährliche Verbrauch liegt bei etwa 500 Tonnen. Mengenmäßig spielt auch Aluminium bei dem Elektrotechnikunternehmen mit 200 Tonnen eine entscheidende Rolle in der Produktion. Auch 50 Tonnen reines Kupfer verarbeitet SPINNER jedes Jahr. Darüber hinaus nutzt SPINNER auch Edelmetalle wie Gold und Silber für das Aufbringen von galvanischen Oberflächen.

Das Thema Ressourceneffizienz ist im Unternehmen sowohl intrinsisch als auch extrinsisch getrieben. Das Unternehmen sieht sich seit einigen Jahren kundenseitig mit gestiegenen Anforderungen an Nachhaltigkeit und Umweltmanagement (ISO 14001) konfrontiert. Zudem reduziert der effiziente Umgang mit Materialien einen wesentlichen Kostenfaktor. Ansätze für die Kreislaufführung von Rohstoffen finden sich beispielsweise bei den Messingabfällen. Sie liegen sortenrein vor und werden vom Lieferanten zurückgenommen und dem Schmelzprozess wieder zugeführt. Dies lohnt sich auch finanziell.

Zur Vermeidung von Materialabfällen setzt das Unternehmen zunehmend auf alternative Verfahrenstechniken. Einen direkten Effekt und Beitrag zur Rohstoffeffizienz konnte durch das vor wenigen Monaten etablierte Lasertechnikverfahren beim Zuschnitt von Kupfer erreicht werden. Bislang nutzte das Unternehmen zur Materialbearbeitung CNC-gesteuerte Stanz- und Nippelmaschinen. Durch den Umstieg auf die Lasertechnik können nun 10–15 % Kupferbleche und -platten eingespart werden. Weitere Materialeinsparungen erreicht das Unternehmen seit etwa zwei Jahren mit der Rückgewinnung von Gold- und Silberanteilen im Bad des galvanotechnischen Verfahrens.

Ergänzend zu etablierten Maßnahmen zur Materialeffizienz erprobt SPINNER den Einsatz mit 3-D-Druckern. Zunehmend wird daran gearbeitet, für die jeweilige Anwendung das optimale Design zu finden. Das heißt zum Beispiel für eine ideale Materialauslastung bei Steckverbindern, dass für den jeweils vorgesehenen Leistungsbereich eine entsprechend optimierte Dimensionierung angestrebt wird.

Neben seiner umweltverträglichen Ausrichtung in der Produktion ist das Unternehmen Teil des Umweltpakt Bayerns und zertifizierter Ökoprot-Betrieb.

„Verfahrensoptimierungen sind der Schlüssel zu einer besseren Materialauslastung und der Weg hin zu mehr Ressourceneffizienz.“

Johann Braun,
Umweltbeauftragter der
SPINNER GmbH

Ressourceneffizienz in der Branche Chemie, Pharmazie, Gummi und Kunststoffe

Die Branche lässt sich unterteilen in die Chemieunternehmen im engeren Sinn, die Pharmaunternehmen sowie die Hersteller von Gummi und Kunststoffen. Während in Bayern die Pharmaindustrie weniger stark vertreten ist, sind die beiden übrigen Bereiche in etwa gleich groß.

Sowohl die Chemiebranche im engeren Sinn als auch der Bereich Gummi und Kunststoffe stellen vorwiegend Vorleistungsgüter her, die in den Produktionsprozessen von Unternehmen in anderen Industriebranchen Anwendung finden. Zu den wichtigsten Abnehmern gehören der Fahrzeug- und Maschinenbau sowie in geringerem Umfang die Elektroindustrie. Die Pharmaindustrie stellt hingegen in erster Linie Produkte für den Endverbrauch oder Vorleistungen für andere Pharmabetriebe her.

Im Vergleich zur Entwicklung in der bayerischen Industrie insgesamt war die Wachstumsdynamik in der bayerischen Chemie- und Pharmaindustrie gering. Die Bruttowertschöpfung legte zwischen 2010 und 2016 im Durchschnitt um rund 1,7 % jährlich zu. Da der Rohstoffverbrauch in der Zwischenzeit leicht zurückging, steht im Ergebnis ein Zuwachs an Rohstoffproduktivität: So erzielten die Unternehmen in Bayern im Jahr 2010 je Tonne Rohstoffeinsatz eine Bruttowertschöpfung in Höhe von 400 Euro und im Jahr 2014 von 440 Euro (Abbildung 26 rechts).

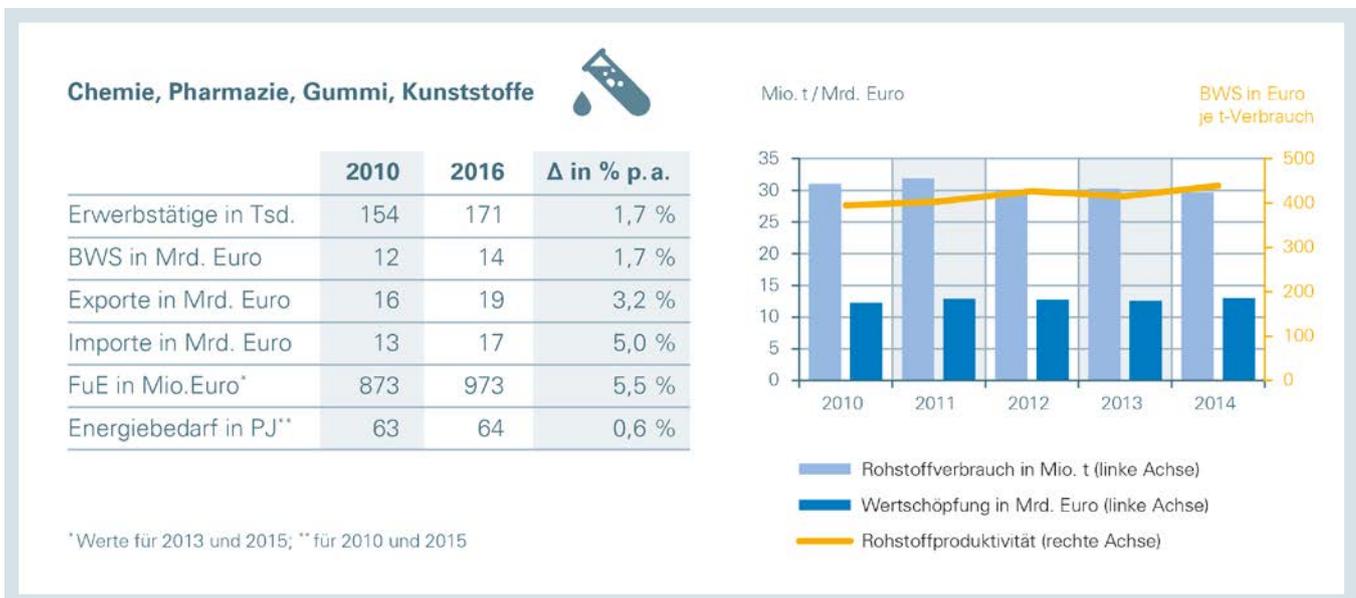
Anders als in den anderen vier betrachteten Branchen spielen Volumenrohstoffe wie Eisen oder Kupfer in der Chemie- und Pharmaindustrie eine untergeordnete Rolle. In der chemischen Industrie dominiert der zweithäufigste Rohstoff der Welt, Silizium. Dieser, wie auch Antimon, ist in vielen Form- und Dichtungsmaterialien sowie Lacken und Farben enthalten. Als einer der wichtigsten Rohstoffe in der Katalyse, beispielsweise zur Gewinnung von Salpetersäure oder zur Dehydrierung von Ethanol, wird Platin eingesetzt. Der Rohstoff Magnesium dient unter anderem als Reduktionsmittel zur Herstellung von Uran, Kupfer, Nickel oder auch Chrom. In der Pharmaindustrie wird der kritische Rohstoff Lithium in vielen Arzneimitteln bei psychischen Erkrankungen eingesetzt.

Auch in der Chemie- und Pharmaindustrie gewinnt das Thema Ressourceneffizienz stetig an Bedeutung. Dies ist besonders relevant, da beispielsweise China das größte Abbaugelände für Silizium, Antimon und Magnesium vorweist und dadurch trotz ausreichender Verfügbarkeit ein erhöhtes Abhängigkeitsrisiko besteht.

Abb. 26:

Ökonomische Eckdaten und Rohstoffproduktivität in der Chemischen Industrie

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamts, Prognos Economic Outlook BWS = Bruttowertschöpfung, FuE = Forschung und Entwicklung



Praxisbeispiel: Wacker Chemie AG

Hauptsitz: München/Burghausen

Mitarbeiter: rund 14.400 im Konzern

Branche: Chemieindustrie

Schlüsselrohstoffe: unter anderem
Silizium, Ethylen

Die Wacker Chemie AG mit Hauptsitz in München und Hauptwerk in Burghausen ist das größte Chemieunternehmen Bayerns. Die Aktivitäten des Unternehmens gliedern sich in vier Geschäftsbereiche: Wacker Polysilicon, Wacker Polymers, Wacker Silicones und Wacker Biosolutions. Das Produktportfolio umfasst rund 3.500 Produkte, die in einer Vielzahl unterschiedlicher Branchen zum Einsatz kommen. Dazu gehören unter anderem die Elektro-, Automobil- und Bauindustrie.

Ausgangsmaterial für etwa 80 % der hergestellten Produktmengen stellt der Rohstoff Silizium dar, nur 20 % der Produkte basieren auf Ethylen. Seinen Siliziumbedarf stellt Wacker zu etwa einem Drittel selbst aus Quarzsand her und kauft zwei Drittel des Bedarfs an Silizium hinzu. Zur Bedarfssicherung unterhält das Unternehmen langfristige Kooperationen mit qualifizierten Lieferanten weltweit.

Eine entscheidende Rolle spielt bei Wacker die Verbundproduktion. Die Ausgangsstoffe des Produktionsverbunds sind hauptsächlich Salz, Silizium, Methanol und Ethylen. Anfallende Nebenprodukte in der Produktion werden gleichzeitig als Ausgangsmaterial für weitere Produkte verwendet. Dies steigert die Materialeffizienz des Unternehmens maßgeblich. Das Unternehmen ist im Siliziumverbund in der Lage, aus drei Rohstoffen über 2.800 verschiedene Silikonprodukte, pyrogene Kieselsäure und polykristallines Polysilizium herzustellen. Zur Steuerung dieses Prozesses verfügt Wacker über ein spezielles Team, das kontinuierlich an der Optimierung der Prozesse arbeitet. Von 2006 bis 2015 konnten so in der Produktion in Burghausen die anfallenden Abfallmengen zur Beseitigung um zwei Drittel (pro Tonne hergestelltes Produkt) gesenkt werden – von 6,9 kg auf 1,6 kg.

Rohstoffeffizienz ist bei Wacker von großer Bedeutung und wird seit 2004 unter anderem durch das Programm Wacker Operating System (WOS) stetig weiterentwickelt und entlang der gesamten Wertschöpfungskette mitgedacht. Das WOS verbessert einerseits die Anlagennutzungsgrade, Energieverbräuche und Rohstoffausbeute und verringert andererseits den Instandhaltungsaufwand. Die in den Jahren 2015 und 2016 umgesetzten WOS-Maßnahmen erbrachten einen Wertbeitrag von rund 260 Millionen Euro.

2018 wurde das Unternehmen mit dem Responsible-Care®-Preis für sein Polysilizium, das maßgeblich zum Durchbruch der Solarenergie beigetragen hat, ausgezeichnet. Zudem engagiert sich das Unternehmen bei Chemie³, der Nachhaltigkeitsinitiative des Verbands der Chemischen Industrie e. V., und im Umweltpakt Bayern.

„Rohstoffeffizienz sollte jedem Unternehmen eine intrinsische Motivation sein, denn Nachhaltigkeit sichert langfristig den ökonomischen Erfolg.“

Dr. Jutta Matreux, Vice
President Corporate
Services & Sustainability
bei Wacker Chemie AG

Ressourceneffizienz in der Metallindustrie

Die Metallindustrie lässt sich in die Bereiche Metallerzeugung und Metallverarbeitung untergliedern. Die Metallerzeugung umfasst unter anderem die Herstellung und erste Bearbeitung von Roheisen, Stahl und Nichteisenmetalle sowie die Gießereien. Den zweiten Bereich bildet die Herstellung von Metallprodukten. Hierunter fallen unter anderem der Stahl- und Leichtmetallbau sowie die Herstellung unterschiedlichster Metallwaren. In Bayern liegt der Schwerpunkt der Branche auf dem zweiten Bereich.

Insbesondere die Metallerzeugung benötigt sehr viele Rohstoffe, womit die Rohstoffproduktivität in der Branche insgesamt deutlich niedriger ist als in den übrigen vier betrachteten Branchen in dieser Studie. Gleichwohl hat sie sich in den vergangenen Jahren deutlich erhöht. Die Bruttowertschöpfung legte mit durchschnittlich 3,4 % pro Jahr sehr dynamisch zu. Der Rohstoffverbrauch ging hingegen insbesondere im letzten betrachteten Jahr spürbar zurück. So wurden im Jahr 2010 je Tonne Rohstoffeinsatz 130 Euro an Bruttowertschöpfung erzielt. 2014 lag dieser Wert bei etwa 190 Euro (Abbildung 27 rechts). In den letzten Jahren konnte die Produktion in der Metallindustrie durch zahlreiche Innovationen (unter anderem in verbesserte Prozessführung, erweiterte Möglichkeiten zur Rückführung von Reststoffen in den Prozess) noch effizienter ausgerichtet werden.

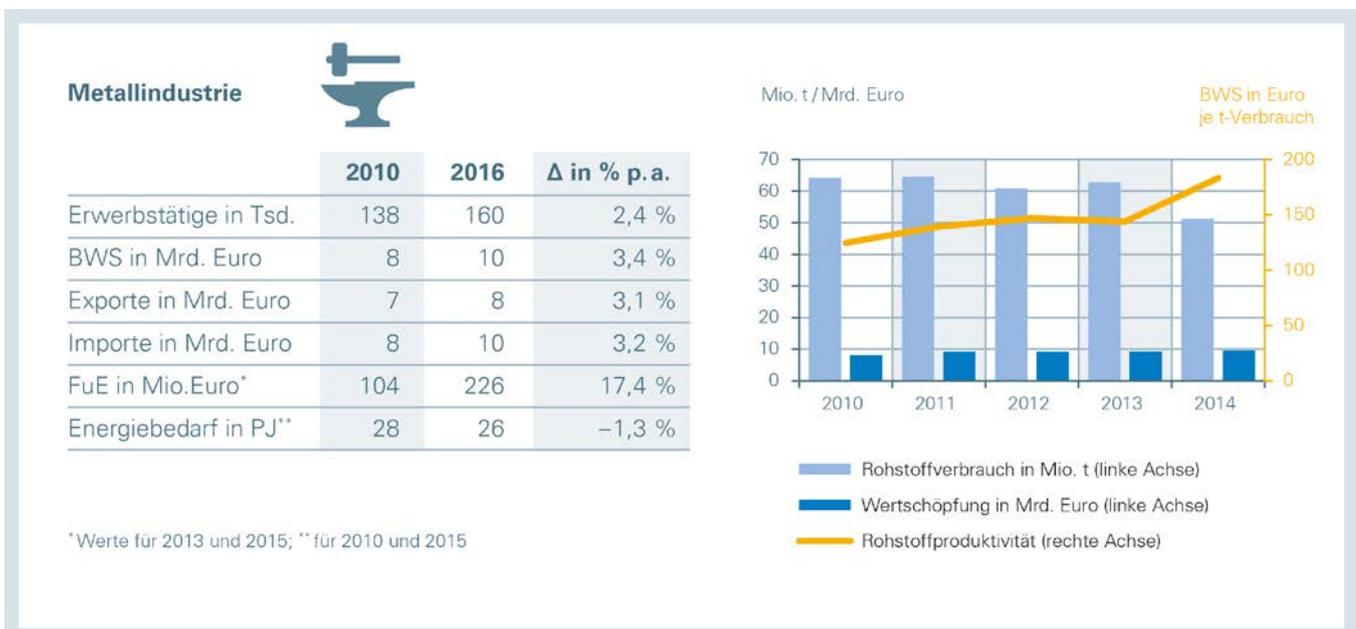
Die Metallindustrie ist für viele andere Industriebranchen eine zentrale Zulieferbranche. In besonders hohem Umfang liefert sie in den Fahrzeug- und Maschinenbau. Auch die Elektroindustrie ist ein wichtiger Abnehmer. Die Metallindustrie selbst bezieht wiederum viele Vorleistungen aus der Chemieindustrie, dem Bereich Kokerei- und Mineralölerzeugnisse sowie dem Maschinenbau.

Abb. 27:

Ökonomische Eckdaten und Rohstoffproduktivität in der Metallindustrie

Quelle: Umweltökonomische Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamts, Prognos Economic Outlook
BWS = Bruttowertschöpfung, FuE = Forschung und Entwicklung

Die Metallerzeugung in Bayern fokussiert sich insbesondere auf die Produktion von Aluminium, Eisen und Kupfer. Für den Bereich Metallverarbeitung sind Eisen sowie Aluminium als Volumenrohstoffe von größter Bedeutung. Ein weiterer entscheidender Rohstoff der Metallbranche ist Kupfer, welcher vor allem als Legierungsbestandteil und auf Grund seiner Leitfähigkeit geschätzt wird. Daneben ist die Metallindustrie auf verschiedene kritische Rohstoffe angewiesen. Wolfram ist unter anderem die Grundlage für Superlegierungen von Hartmetall-Werkzeugen und Turbinenschaufeln im Heißgasbereich. Ebenfalls für Legierungen genutzt werden Tantal, Antimon sowie Magnesium, welches auch als Reduktionsmittel in der Metallurgie zum Einsatz kommt.



Effizienz zahlt sich aus – Werden auch Sie aktiv!

Die Umsetzung ressourceneffizienter Maßnahmen bietet Unternehmen mehrere Vorteile: Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit werden gestärkt, Materialkosten eingespart, Technologieführerschaften ausgebaut und die Versorgung mit Rohstoffen gesichert. Der optimierte Einsatz von Rohstoffen und Materialien trägt gleichzeitig zum betrieblichen Umweltschutz bei. Ansatzpunkte gibt es in jedem Unternehmen. Im verarbeitenden Gewerbe machen beispielsweise die Materialkosten mit rund 43 % den größten Anteil an den Gesamtkosten aus. Daher lohnt sich hier ein Blick auf die Prozessorganisation, die Materialauswahl und das Umfeld der Produktion.

Ressourceneffizienz trägt darüber hinaus zu einem sparsamen Umgang mit (begrenzten) stofflichen Ressourcen bei und ist wichtiger Bestandteil einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft.



Das **Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern (REZ)** ist die zentrale Anlaufstelle für das Thema Ressourceneffizienz in Bayern. Es ist ein Projekt des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz und wird durch das Bayerische Landesamt für Umwelt in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Industrie- und Handelskammertag umgesetzt.

Das REZ bietet Ihnen:

- Fachspezifische Veranstaltungen
- Positive Beispiele von Vorreitern in Bayern
- Aufbereitete fachliche Informationen
- Erfahrungsaustausch mit Unternehmen und Fachleuten
- Kontakte zu Expertinnen und Experten für innovative technologische Lösungen
- Erstberatung für mehr Überblick zum Thema
- Übersicht über Förderprogramme



Die Angebote des REZ richten sich an alle bayerischen Unternehmen unter besonderer Berücksichtigung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) des produzierenden und verarbeitenden Gewerbes. Auf unserem Online-Portal können Sie sich umfassend zum effizienten Einsatz von Materialien und Rohstoffen informieren.

Besuchen Sie uns auf www.rez.bayern.de

KONTAKT

Bayerisches Landesamt für Umwelt,
Referat 35: Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern (REZ)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

E-Mail: REZ@ifu.bayern.de
Telefon: 0821 9071-5276

Standorte: Hauptsitz des REZ ist in Augsburg am Bayerischen Landesamt für Umwelt, Außenstellen befinden sich in Nürnberg und München.

Das REZ wird finanziert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz.

Weitere Ansprechpartner zum Thema Ressourceneffizienz

Kooperationspartner des REZ:

Die bayerischen Industrie- und Handelskammern sind an neun Standorten in Bayern vertreten:
www.bihk.de

Partnerregionen:

In den Regionen Augsburg, Bayreuth, Untermain und Oberpfalz-Nord wird das REZ von den REZregio-Regional-partnern vertreten. Näheres unter: www.rez.bayern.de/regionalpartner

ANHANG

Fußnoten:

- [1] Siehe Definition in Kapitel 3. Chancen ergreifen.
- [2] Der DMI (Direct Material Input) beschreibt den direkten Materialeinsatz in einem Land für ökonomische Aktivitäten und stellt somit den Aufwand an Primärmaterial dar, welches direkt für Produktion und Konsum verwendet und verwertet wurde. Enthalten sind im Land erzeugte sowie importierte Rohstoffe. Hinzu kommt der Saldo aus dem Intrahandel zwischen den Bundesländern. Das Konzept des sog. Gesamtmaterialeinsatzes (TMI, Total Material Input) schließt darüberhinausgehend auch die nicht verwertete Entnahme ein. Hierzu ist jedoch eine schlechtere Datenbasis vorhanden. Der Inländische Materialverbrauch (DMC, Direct Material Consumption) fokussiert hingegen auf den Verbrauch innerhalb einer Volkswirtschaft bzw. eines Bundeslands. Dazu wird vom DMI die in Form von Produkten exportierte Menge an Rohstoffen in ausländische Märkte abgezogen. Des Weiteren bestehen analog zu DMI und DMC die Konzepte des RMI (Raw Material Input) und des RMC (Raw Material Consumption). Diese umfassen so genannte Rohstoffäquivalente, welche die verwerteten Materialströme bzw. Materialverluste vorgelagerter Produktionsstufen miteinschließen. Diese Indikatoren lassen sich jedoch nur auf Basis von Schätzverfahren ermitteln.
- [3] Rohmaterialien umfassen zu Pulvern, Granulaten und ähnlichen Formen weiterverarbeitete Rohstoffe sowie Halbzeug.
- [4] Die abgebildeten Kunststoffe dieses und des darauffolgenden Diagramms im Kapitel „Bayerns Import von Rohstoffen und Rohmaterialien“ setzen sich aus Primär- und Sekundärrohstoffen zusammen. Bei den Primärrohstoffen der Kunststoffe handelt es sich um Kunststoffe in Primärform (z. B. Polymere des Ethylens, Styrols, Vinylchlorids, Propylens und weitere), als auch Aminoharz, Petroleumharze und weitere. Bei den Sekundärrohstoffen der Kunststoffe handelt es sich um Abfälle, Schnitzel und Bruch von Polymeren des Ethylens, Styrols, Vinylchlorids, Propylens und weitere, als auch Abfälle von Chemiefasern (z. B. Polyester-Spinnfasern).
- [5] Branchen gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ) des statistischen Bundesamts: Herstellung von Bekleidung (WZ 14), Herstellung von elektronischen und optischen Geräten (WZ 26), Reparatur und Installation von Maschinen (WZ 33), Metallherzeugung und -bearbeitung (WZ 24), Getränkeherstellung (WZ 11) sowie Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus (WZ 17).
- [6] Berechnet als Index (2010 = 100) auf der Grundlage des primären Abfallinputs (ohne Sekundärabfälle) in Abfallbehandlungsanlagen aus Bayern. Auf Grund der statistischen Datenlage ist eine Gesamtbetrachtung für die in Bayern erzeugten Abfälle nicht möglich.
- [7] Die tatsächliche Recyclingquote kann statistisch in Bezug auf das Gesamtpotenzial aufgrund der Datenlage nur begrenzt für die in Abfallbehandlungsanlagen behandelten Abfälle Modellbasiert hochgerechnet werden (hohe Datenaggregation, Annahmen für Potenziale in Abfallgemischen).
- [8] „Beispielsweise wird bei Metallen das Erz als Ausgangsmaterial berücksichtigt, zudem werden alle mineralischen und energetischen Rohstoffe zur Gewinnung des reinen Metalls in gleicher Weise dem Ausgangsmaterial hinzugerechnet. Nicht wirtschaftlich verwendete Materialien (wie Abraum) bleiben unberücksichtigt.“ weitere Informationen unter <https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/glossar/k/>, Abruf im Januar 2019. Datenquelle: IFEU – INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG (2012): Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion, 01/2012, Umweltbundesamt.
- [9] Die Anzahl der Erwerbstätigen setzt sich aus der Anzahl der Beschäftigten sowie die Anzahl weiterer Tätigkeitsverhältnisse wie Selbstständige, mithelfende Familienangehörige und Beamte zusammen. Weiterhin werden die in dieser Studie vorliegenden Branchen nicht gemäß der statistischen WZ-Klassifikation, sondern z. T. zu höheren Aggregaten ausgewiesen, um eine Kompatibilität mit den Daten aus der Umweltökonomischen

Gesamtrechnung herzustellen. Beispielsweise setzt sich die Branche Fahrzeugbau aus den WZ „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ und „Sonstiger Fahrzeugbau“ zusammen.

- [10] Aus Gründen der Datenverfügbarkeit werden die Branchen Chemie, Gummi und Kunststoffwaren sowie Pharmazie dennoch zusammen betrachtet.
- [11] Zu den unterschiedlichen Erfassungskonzepten des Rohstoffverbrauchs siehe Endnote 2 in Kapitel 1.

Literatur:

- [II] VBW DIE BAYERISCHE WIRTSCHAFT (2017): Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, Januar 2017; DERA – DEUTSCHE ROHSTOFFAGENTUR IN DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2017): DERA-Rohstoffliste 2016. –DERA Rohstoffinformationen 32: 116 S., Berlin. DELOITTE SUSTAINABILITY, BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES UND NETHERLANDS ORGANISATION FOR APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH (2017): Study on the review of the list of Critical Raw Materials: Criticality Assessment, European Commission; FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR UMWELT, SICHERHEITS- UND ENERGIETECHNIK UMSICHT UND UNIVERSITÄT STUTTGART INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERBAU, WASSERGÜTE UND ABFALLWIRTSCHAFT (2014): Analyse kritischer Rohstoffe für die Landesstrategie Baden-Württemberg.
- [III] Die End-of-Life-Recycling-Input-Rate (Inputrate für das Recycling am Ende der Nutzungsdauer; EOL-RIR) stellt den Anteil des Recyclings von Altschrott in der EU an der EU-Rohstoffversorgung dar. Der Indikator beschreibt, in welchem Umfang Sekundärmaterial aus Schrotten und Abfällen der Produktion zugeführt wird und den Primär Materialeinsatz ersetzt. (Quelle: siehe folgende Endnote).
- [IIII] DELOITTE SUSTAINABILITY, BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES UND NETHERLANDS ORGANISATION FOR APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH (2017): Study on the review of the list of Critical Raw Materials: Criticality Assessment, European Commission; BLENGINI, G.A., ET. AL. (2017): Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, 978-92-79-69611-4, doi:10.2760/130462, JRC106997. UNEP (2011): Recycling Rates of Metals: A Status Report.
- [IV] DELOITTE SUSTAINABILITY, BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES UND NETHERLANDS ORGANISATION FOR APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH (2017): Study on the review of the list of Critical Raw Materials: Criticality Assessment, European Commission. Die Werte des Substitutions Index Economic Importance (Kosten und Leistungseigenschaften) und Supply Risk (Produktion, Kritikalität und Coproduktion) wurden addiert. Rohstoffe mit einem Wert von 2 wurden als „Schlecht“, mit 1,9 mit „Mittel“ und 1,6–1,8 mit „Gut“ ausgewiesen. Substitutionsmöglichkeiten werden unter anderem in der folgenden Veröffentlichung beschrieben: U.S. GEOLOGICAL SURVEY (2018): Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/70194932>
- [V] IFEU – INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG (2012): Indikatoren/Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion, 01/2012, Umweltbundesamt.
- [VI] KELLY, T.D., AND MATOS, G.R., COMPS. (2014): Historical statistics for mineral and material commodities in the United States (2016 version): U.S. Geological Survey Data Series 140, Abruf im November 2018, <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics/>.
- [VII] KELLY, T.D., AND MATOS, G.R., COMPS. (2014):, Historical statistics for mineral and material commodities in the United States (2016 version): U.S. Geological Survey Data Series 140, Abruf im November 2018, <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics/>, eigene Berechnungen.

BILDNACHWEIS

123rf.com:

© ktsdesign – 123rf.com: S. 1; © tiero – 123rf.com: S. 49 mitte

Adobe Stock:

© Karl Allen Lugmayer – stock.adobe.com: S. 6 o., S. 8; © industrieblick – stock.adobe.com:

S. 6 u., S. 17, S. 35, S. 39 u. 2. v. l.; © Tom Bayer – stock.adobe.com: S.7, S. 35;

© antonmatveev – stock.adobe.com: S. 39 o. l.; © S.T.A.R.S – stock.adobe.com: S. 39 o. m.;

© nd3000 – stock.adobe.com: S. 39 o. r.; © protectnature – stock.adobe.com: S. 39 u. l.;

© meailleluc.com – stock.adobe.com: S. 39 u. 2. v. r., © neznamov1984 – stock.adobe.com:

S. 39 u. r.; © LVDESIGN – stock.adobe.com: S. 41

© Bauer Maschinen & Technologie GmbH & Co. KG: S. 43

© ccvision.de: S. 49 l.

© Andrey Armyagov – fotolia.com: S. 49 r.

LfU:

Frank Karlstetter: alle Infografiken und Piktogramme; Maria Wölfl: S. 49

© SPINNER GmbH: S. 45

© WACKER: S. 47



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

