

# Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland – Forschungs- und Entwicklungsprogramm des BMBF für neue Rohstofftechnologien –

Lothar Mennicken

1.	Die Bedeutung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland .....	63
2.	Politische Initiativen .....	66
3.	Ziele des Forschungs- und Entwicklungsprogramms des BMBF für neue Rohstofftechnologien .....	66
4.	Zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....	67
4.1.	F&E-Bedarf in der Gewinnung von Primärrohstoffen .....	67
4.2.	F&E-Bedarf in der Gewinnung von Sekundärrohstoffen .....	68
5.	Maßnahmen zur Umsetzung des Programms .....	69
5.1.	National .....	69
5.2.	International .....	70
6.	Quellen .....	71

## 1. Die Bedeutung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland

Die generelle Versorgungssicherheit der Industrie mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen ist nicht mehr in allen Fällen gewährleistet. Rohstoffverfügbarkeit ist für Deutschland als Industrienation mit breiter Produktionsbasis und hohem Exportanteil jedoch unabdingbare Voraussetzung zur Sicherung der Arbeitsplätze und des Wohlstands. Die Verknappung und damit Kostensteigerungen betreffen vor allem mineralische (metallische) Ressourcen, zum Beispiel Stahl und Eisen, Kupfer und Aluminium, die sogenannten Stahlveredler, Platingruppenmetalle und Seltene Erden. Letztere sind für die Entwicklung und den Ausbau von Schlüsseltechnologien, u.a. im Bereich erneuerbare Energien, unentbehrlich. Deutschland ist hinsichtlich dieser Primärrohstoffe fast zu hundert Prozent auf Importe angewiesen. Forschung und Entwicklung kann dazu beitragen, dieses Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage durch innovative Technologien zu reduzieren.

Unter wirtschaftsstrategischen Rohstoffen werden Metalle und Mineralien verstanden, deren Verfügbarkeit für Zukunftstechnologien gesichert werden muss und die eine große Hebelwirkung für die Wirtschaft haben. Ein relativ geringer Mengeneinsatz dieser Rohstoffe trägt zu einer hohen Wertschöpfung in Hochtechnologieprodukten bei. Als Beispiele können Stahlveredler (Legierungselemente für Hochleistungsstähle), Elektronikmetalle (z.B. für Mikrochips in Smartphones und Fahrzeugen) sowie die Metalle der Seltenen Erden (z.B. Neodym für Permanentmagnete in Windkraftanlagen) genannt werden. Der Einsatz dieser Rohstoffe ist oft mit einer zusätzlichen Hebelwirkung zur Steigerung der Ressourceneffizienz durch Zukunftstechnologien verbunden, z.B. durch den Ausbau erneuerbarer Energietechnologien, intelligente Mess- und Steuerungssysteme oder auch Leichtbaufahrzeuge mit Hochleistungsstählen.

Eine Gruppe von Rohstoffen unter dem Aspekt der Technologieoffenheit als *wirtschaftsstrategisch* zu bezeichnen, soll den Nachteil einer statischen Liste vermeiden. Diese Beurteilung muss z.B. aufgrund von politischen Veränderungen, des Aufbaus neuer Primär- und Sekundärrohstoffproduktionen oder schnellen technologischen Wandels regelmäßig aktualisiert werden. Die Beurteilung der Kritikalität von Rohstoffen berücksichtigt i.d.R. das Versorgungsrisiko (Konzentration der Anbieter, politisches Risiko u.a.) und die Empfindlichkeit der Volkswirtschaft im Hinblick auf Versorgungsausfälle (Substituierbarkeit, Recyclingraten u.a.).

In den letzten fünfzig Jahren wurden weltweit mehr Rohstoffe verbraucht als in der gesamten Menschheitsgeschichte zuvor. Und der Rohstoffverbrauch nimmt weiter zu – trotz aller Aktivitäten die Rohstoffproduktivität zu verbessern, z.B. durch die BMBF-Förderinitiative *r<sup>2</sup> – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Rohstoffintensive Produktionsprozesse* [1]. Hinzu kommt, dass die Produktzyklen immer kürzer und die Produkte immer komplexer werden.

So benötigte man in den achtziger Jahren beispielsweise für die Herstellung eines Computerchips noch zwölf verschiedene chemische Elemente. Heute braucht man für einen Hochleistungschip mehr als sechzig Elemente [2]. Verschärft wird diese Situation durch eine zunehmende dissipative Verwendung, d.h. die Feinverteilung eines Metalls in verschiedenen Anwendungsbereichen oder Produkten. Hierdurch wird die Rezyklierbarkeit der Metalle signifikant vermindert. In Hightech-Elektronik (z.B. USB-Sticks) sind derzeit geringste Konzentrationen an knappen strategischen Metallen und Mineralien eingebettet.

Der Problemdruck auf die Rohstoffverfügbarkeit hat sich in der jüngeren Vergangenheit durch die Teilhabe der sogenannten Schwellenländer an Wirtschaftswachstum und Wohlstand – hier ist insbesondere China zu nennen – drastisch erhöht, auch wenn laut einer neuen DERA-Studie [3] das zukünftige Wachstum in China nicht mehr einen so starken Einfluss auf die Rohstoffpreise haben wird wie in der Vergangenheit.

Der Kreislauf von Rohstoffen entlang des Wertschöpfungskette und des Produktlebenszyklus ist schematisch in Bild 1 dargestellt.

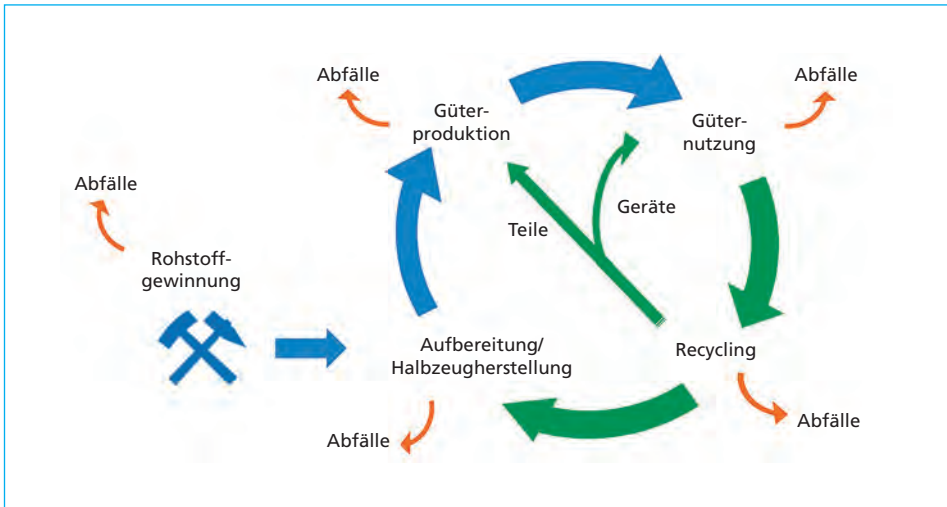


Bild 1: Kreislauf von Rohstoffen und Abfällen nach Faulstich (2010)

Quelle: Faulstich, M.: r3 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien. Informationspapier zum Forschungs- und Entwicklungsbedarf der gleichnamigen BMBF-Fördermaßnahme, 2010 ([http://www.bmbf.de/pubRD/informationspapier\\_bmbf\\_r3.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/informationspapier_bmbf_r3.pdf))

Die veränderte Nachfrage führte bei vielen Rohstoffen zu einem starken Preisanstieg. Diese Entwicklung wurde nur kurzzeitig durch die Finanzkrise im Jahr 2008 unterbrochen. Verglichen mit dem Preisniveau zur Jahreswende 2002/03 stieg der Preis von Blei auf das Achtfache, der von Nickel zeitweilig auf das Sechsfache, der Zink- und Kupferpreis auf das Fünffache und der von Erdöl auf das Vierfache. Exportrestriktionen in einigen Produzenten- und Exportländern und Spekulationen an den Finanzmärkten verursachten zusätzliche Preisspitzen.

Bei derartig ungewöhnlichen Preisbewegungen reagiert die Industrie in der Regel sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite, so dass nach einiger Zeit das (erhöhte) Angebot und die (verringerte) Nachfrage wieder ein neues Gleichgewicht finden: auf der Angebotsseite durch verstärkte Produktion im Primär- wie auch im Sekundärrohstoffbereich, auf der Nachfrageseite durch Effizienzsteigerungen und Substitutionsmaßnahmen im weitesten Sinne.

Rohstoffsicherung ist eine Aufgabe der Industrie. Die Bundesregierung unterstützt die Aktivitäten der Industrie durch flankierende Maßnahmen. Beispiele hierfür sind das rohstoffpolitische Förderinstrumentarium, die Rohstoffaußenpolitik und die Forschungsförderung. So fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Hightech-Strategie Forschung und Entwicklung für Spitzentechnologien, um die Ressourceneffizienz zu steigern. Mit der Fördermaßnahme *r<sup>3</sup> – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien* werden auch nicht erschlossene Sekundärrohstoffquellen (*Urban Mining*) zugänglich gemacht.

## 2. Politische Initiativen

Auf die zunehmende Rohstoffverknappung, Risiken bei der Versorgungssicherheit und steigende Kosten für Rohstoffe haben die Bundesregierung und die Ressorts mit einem Bündel an Strategien und Maßnahmen reagiert. Hier ist die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie (Entkopplung des Ressourcenverbrauchs vom Wirtschaftswachstum), die Deutsche Rohstoffstrategie (Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands), das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (nachhaltige Nutzung mineralischer, nichtenergetischer sowie die mögliche Substitution durch stoffliche Nutzung biotischer Rohstoffe) zu nennen. Über die politischen Initiativen und Strategien haben bereits Huthmacher [5] und Mennicken [6, 7] ausführlich im Buch *Recycling und Rohstoffe*, Band 5 berichtet.

Vor dem Hintergrund der globalen Herausforderungen und gleichzeitig begrenzter finanzieller Ressourcen ist eine optimierte Abstimmung und Bündelung der Förderaktivitäten im Rohstoffbereich unverzichtbar. Hier soll das neue Forschungs- und Entwicklungsprogramm für neue Ressourcentechnologien des BMBF *Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland* [8] einen wichtigen Beitrag leisten. Es ordnet sich in das BMBF-Rahmenprogramm *Forschung für nachhaltige Entwicklungen – FONA* ein und hat darüber hinaus Bezüge zu anderen BMBF-Fachprogrammen zur Werkstoff- und zur Produktionsforschung und dem Explorationsförderprogramm des BMWi.

Parallel zu den deutschen Aktivitäten wird auch auf europäischer Ebene eine Rohstoffstrategie vorbereitet. Mit der Leitinitiative Ressourcenschonendes Europa im Rahmen der Europa-2020-Strategie will die Europäische Kommission die Umstellung auf eine ressourcenschonende Wirtschaft unterstützen, die Versorgung mit wesentlichen Ressourcen sichern und neue Wachstums- und Innovationsmöglichkeiten schaffen. Weitere europäische Initiativen sind die Europäische Innovationspartnerschaft Rohstoffe (EIP), das ERA-Net *Industrial Handling of Raw Materials for European Industries* (ERA-MIN) und die für 2014 vorgesehene Etablierung einer Wissens- und Innovationsgemeinschaft Rohstoffe (KIC Raw Materials). Deutschland kann hier eine starke Rolle übernehmen.

## 3. Ziele des Forschungs- und Entwicklungsprogramms des BMBF für neue Rohstofftechnologien

Ziel des Programms ist, die Forschung und Entwicklung entlang der Wertschöpfungskette nicht-energetischer mineralischer Rohstoffe in den nächsten fünf bis zehn Jahren auszubauen. Der thematische Fokus liegt dabei auf solchen Metallen und Mineralien, deren Verfügbarkeit für Zukunftstechnologien gesichert werden muss und die eine große Hebelwirkung für die Wirtschaft haben – den wirtschaftsstrategischen Rohstoffen. Massenmetalle werden insofern angesprochen, als sie bei der Gewinnung von Primär- und Sekundärrohstoffen mit betrachtet werden müssen oder erhebliche Verbesserungen der Rohstoffeffizienz zu erwarten sind.

Das Programm richtet sich an Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Es zielt auf eine Stärkung der angewandten Forschung und deren Verknüpfung mit der institutionellen Grundlagenforschung, Bildung und internationale Zusammenarbeit werden als flankierende Maßnahmen ebenfalls adressiert. Das BMBF leistet mit dieser Initiative einen Beitrag zur Rohstoffstrategie und zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm der Bundesregierung. Zudem trägt das Programm zur Umsetzung der kürzlich gemeinsam von BMBF und BMU beschlossenen Initiative *Green Economy* bei.

## 4. Zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Deutschland sind überwiegend auf der Rohstoff-Nachfrageseite angesiedelt, z.B. Verringerung des Materialeinsatzes durch innovative Produkte und Prozesse. Die Anstrengungen auf der Nachfrageseite sollen fortgesetzt werden. Hier besteht insbesondere weiterer Bedarf zur Substitution wirtschaftsstrategischer Rohstoffe durch neue Werkstoff- und Technologieentwicklungen. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Deutschland müssen auch auf der Rohstoff-Angebotsseite verstärkt werden. Dies ist das Ergebnis der Analyse und Diskussion im Programmbeirat Ressourcentechnologien, einem externen Sachverständigenkreis, der das BMBF bei der Vorbereitung des neuen F&E-Programms beraten hat. Dies betrifft sowohl die effiziente und umweltverträgliche Bereitstellung von wirtschaftsstrategischen Primärrohstoffen als auch die Gewinnung von wirtschaftsstrategischen Sekundärrohstoffen durch Recycling. Eine begleitende ökologische, ökonomische und soziale Bewertung ist sowohl für die Gewinnung von Primärrohstoffen als auch für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen relevant. Für den Primärrohstoffbereich bedeutet dies eine Bewertung von Lagerstätten sowohl nach ökonomischen als auch nach ökologischen und sozialen Gesichtspunkten. Für den Sekundärrohstoffbereich beinhaltet dies einen objektiven Vergleich alternativer Recyclingtechnologien und Verfahrenswege.

### 4.1. F&E-Bedarf in der Gewinnung von Primärrohstoffen

Bei der Exploration und Gewinnung von Primärrohstoffen besteht F&E-Bedarf für alle wesentlichen Schritte der Wertschöpfungskette – von der Erkundung über den Bergbau bis hin zur Aufbereitung und Metallurgie:

#### Erkundung

Die Erkundung der heimischen Potenziale der wirtschaftsstrategischen Hochtechnologiemetalle stand aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen bisher nicht im Fokus der deutschen Bergbauaktivitäten. Auf Grund der neuen Situation besteht die Notwendigkeit neue Verfahren zu entwickeln, die eine Identifizierung insbesondere heimischer Rohstofflagerstätten aber auch eine Neubewertung bereits bekannter Lagerstätten ermöglichen. Die dadurch gewonnenen Daten sind Voraussetzung für die Ableitung von Erkundungskonzepten zur Erfassung bisher unbekannter Rohstoffvorkommen.

## **Bergbau**

Die bergmännische Gewinnung von Primärrohstoffen muss energie- und materialeffizienter gestaltet werden. Dies betrifft beispielsweise die Optimierung bzw. Automatisierung von Prozessabläufen, die Entwicklung von neuartigen effizienten Verfahren der Gesteinszerstörung, den Einsatz von vernetzten Informationssystemen sowie die integrierte Produktionsplanung, die zu einer besseren Verzahnung des Gewinnungsprozesses mit dem vor- und nachgeschalteten Prozessschritt beiträgt.

## **Aufbereitung**

Für den Bereich der Aufbereitung der Primärrohstoffe steht ebenfalls die Steigerung der Energie- und Materialeffizienz im Vordergrund, um die Freisetzung aller im Rohstoff enthaltenen Wertstoffe zu verbessern. Dies ist beispielweise durch den Einsatz sensorgestützter Sortierprozesse und effizienter Separationsverfahren möglich. Von einer vollständigen Nutzung aller enthaltenen Wertkomponenten sind die bisherigen Aufbereitungskonzepte noch weit entfernt, meist wird der Fokus auf die Gewinnung einer Hauptkomponente wie Kupfer oder Gold gelegt.

## **Metallurgie**

Da Verarbeitung von Aufbereitungsprodukten in vielen Fällen energieintensiv, wie beispielsweise bei der pyrometallurgischen Verarbeitung bzw. materialintensiv wie beispielsweise bei der hydrometallurgischen Verarbeitung ist, besteht der Forschungsbedarf in erster Linie in der Steigerung der Energie- und Materialeffizienz. Bei den Massenrohstoffen wie Eisen, Kupfer oder Aluminium ist der Forschungsbedarf geringer, allerdings besteht aufgrund des Mengenumsatzes immer noch ein erhebliches Effizienzpotenzial. Der Fokus der Forschungsarbeiten wird besonders auf die Entwicklung neuer effizienter Gewinnungsverfahren für Hochtechnologiemetalle gelegt.

## **4.2. F&E-Bedarf in der Gewinnung von Sekundärrohstoffen**

Bisher konzentrierte sich die Recyclingwirtschaft vorrangig auf Stoffströme mit gleichzeitig hoher Mengen- und Wertrelevanz, aus denen vergleichsweise wenige, dafür aber mengenrelevante, hochkonzentrierte Sekundärrohstoffströme gewonnen wurden. Als Beispiele sind hier Eisenschrotte, Aluminium-Schrotte und Altglas zu nennen. Wertstoffe, die nur in geringer Konzentration enthalten sind, werden durch Sortierung und Aufbereitung teilweise abgetrennt und finden sich oft in Nebenprodukten und Abfällen wieder. In folgenden Themenfeldern wird ein hohes Forschungspotenzial gesehen, darüber hinaus kommt auch der Schnittstellenoptimierung zwischen den Themenfeldern eine große Bedeutung zu.

### **Stoffströme und Potenziale**

Hier steht die Bereitstellung einer möglichst umfassenden Datengrundlage über sekundäre Lagerstätten, wie z.B. Schlackenhalde, Altdeponien im Sinne des *urban mining* sowie das Erkennen derzeitiger und zukünftiger potenzieller Stoffströme im Vordergrund. Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Entwicklung differenzierter

Erfassungssysteme für dispers verteilte wirtschaftsstrategische Rohstoffe, der Konzeption von temporären Rohstofflagern für Stoffströme mit Wertstoffpotenzial, welche momentan technologisch oder wirtschaftlich noch nicht sinnvoll recycelt werden können, sowie in der recyclinggerechten Produktgestaltung und -kennzeichnung.

### **Aufbereitung und Trennung**

In dieses Themenfeld fallen insbesondere F&E-Ansätze, die sich mit der Materialauf-trennung, z.B. von Hochleistungswerkstoffen unter weitgehendem Erhalt der ursprüng-lich beabsichtigten Materialeigenschaften bzw. der Zerlegung in Grundwerkstoffe beschäftigen.

### **Metallurgische Extraktion und Reinigung**

Hier besteht Forschungsbedarf in der Entwicklung flexibler Prozesse mit maximierter Rückgewinnungsrate für Multi-Metall-Systeme, d.h. Stoffsysteme mit einer großen Bandbreite von Metallen, sowie in einer verbesserten Stofftrennung auf elementarer oder molekularer Ebene.

## **5. Maßnahmen zur Umsetzung des Programms**

### **5.1. National**

Das BMBF wird auf Empfehlung des Programmbeirates einen ersten Schwerpunkt auf Maßnahmen setzen, mit deren Hilfe das heimische Angebot an wirtschaftsstrategischen Rohstoffen erhöht werden kann und welche die bestehenden Anstrengungen für Material- und Produktinnovationen sowie zur Verbesserung der Materialeffizienz (Senkung der Rohstoffnachfrage) ergänzen. Folgende Forschungsschwerpunkte stehen dabei im Fokus:

#### **Entwicklung von Konzepten zur Exploration von Primärrohstoffen und technischen Konzepten zur wirtschaftlichen Nutzung von komplexen Erzen bekannter Lagerstätten**

Zwischen den letzten Explorationsarbeiten in Deutschland Anfang der achtziger Jahre und den jetzigen Aktivitäten liegen etwa 20 bis 25 Jahre. Das ist der Innovationszyklus in der Exploration für neue Methoden und Konzepte: Die Eindringtiefen von Explorationsmethoden sind erhöht, ganz neue genetische Modelle für neue Lagerstättentypen sind weltweit entwickelt worden. Konzeptionelle Vorarbeiten sind die Basis jeder kommerziellen Exploration. Mit Hilfe der Kenntnis der deutschen Lagerstätten und neuen weltweiten Erkenntnisse und Methoden sollen innovative Konzepte für die Erkundung neuer heimischer Lagerstätten entwickelt werden. Die kommerzielle Exploration selbst ist nicht Gegenstand dieses Programms, sondern eher Gegenstand des Explorationsförderprogramms des BMWi.

#### **Aufarbeitung von Aufbereitungs- und Produktionsrückständen**

Die lange Bergbau- und Explorationstradition Mitteleuropas auf dem Metallsektor zeigt, dass es Lagerstätten gibt, für die bisher keine geeigneten Aufbereitungsmethoden entwickelt werden konnten. Gleiches gilt für viele Aufbereitungs-(Tailings) und

Produktionsrückstände, die ein erhebliches Rohstoffpotenzial beinhalten. Auch wenn zahlreiche dieser Resthalden mittlerweile überbaut oder anderweitig genutzt werden, so liegt doch immer noch ein großes Rohstoffpotenzial vor, das mit verbesserten Methoden genutzt werden kann.

### **Aufarbeitung von end-of-life Produkten**

Bei der Aufarbeitung von end-of-life Produkten muss der Tatsache Rechnung getragen werden, dass Produktzyklen immer kürzer und die Produkte unserer Industrie, insbesondere der Elektronikindustrie, immer komplexer werden. Das bedingt eine immer vielschichtigere und sich schnell ändernde Zusammensetzung der Sekundärmaterialien. Sie sind viel komplizierter zusammengesetzt als Primärrohstoffe bzw. -konzentrate und erfordern daher die Entwicklung spezieller mechanischer und metallurgischer Aufbereitungsmethoden. Im Vordergrund stehen hier die zumeist nur in geringer Konzentration in end-of-life-Produkten enthaltenen Sekundärstoffe, die sich bisher in Nebenprodukten oder Abfällen wiederfinden. Für sie gilt es, Wiedergewinnungsmethoden zu entwickeln.

## **5.2. International**

Da neunzig Prozent des weltweiten Wissens außerhalb Deutschlands generiert werden, kommt der internationalen Zusammenarbeit eine hohe Bedeutung zu. Deutschland und Frankreich haben nichtenergetische Rohstoffe als ein Thema von gemeinsamem strategischem Interesse in der Forschung identifiziert. Vor diesem Hintergrund wird mit einer bilateralen Bekanntmachung von BMBF und der Agence Nationale de la Recherche (ANR) eine stärkere Vernetzung der Forschung und Entwicklung für neue Rohstofftechnologien in Deutschland und Frankreich und die gemeinsame Gestaltung europäischer Initiativen unterstützt. Mit der Förderung der deutsch-französischen wissenschaftlich-technologischen Zusammenarbeit zu nachhaltigen Technologien zur Gewinnung, Verarbeitung und Substitution wirtschaftsstrategischer Rohstoffe sollen die wissenschaftlichen Grundlagen sowie Konzepte und nachhaltige Technologien zur Verbesserung des Angebots nichtenergetischer mineralischer Rohstoffe in Deutschland und Europa entwickelt werden. Die deutsch-französischen Verbundforschungsprojekte fokussieren auf folgende Themen:

- Nachhaltige Gewinnung und Verarbeitung primärer und sekundärer wirtschaftsstrategischer Rohstoffe (innovative umweltverträgliche Prozesse entlang der Wertschöpfungskette von der Gewinnung bis zum Recycling)
- Verbesserung der Wiederverwendbarkeit sowie Wartungs- und Reparaturfähigkeit von Produkten, die wirtschaftsstrategische Rohstoffe enthalten
- Substitution wirtschaftsstrategischer Rohstoffe (z.B. durch neue Produktdesigns, neue Verarbeitungstechnologien)

Das BMBF wird außerdem bestehende Förderaktivitäten im Rahmenprogramm *Forschung für nachhaltige Entwicklungen – FONA* zur Unterstützung der Umsetzung des Programms nutzen. Die laufende Fördermaßnahme *Internationale Partnerschaften für*



*nachhaltige Klimaschutz- und Umwelttechnologien und Dienstleistungen (CLIENT)* ist offen für die Einreichung von Projektideen mit ausgewählten Partnerländern. Eine neue Fördermaßnahme *r4* wird voraussichtlich im Laufe des Jahres 2013 bekannt gemacht. Weitere Fördermaßnahmen des BMBF in den Rahmenprogrammen *Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING* und *Forschung für die Produktion von morgen* sowie *KMU-innovativ: Ressourcen- und Energieeffizienz* tragen zur Steigerung der Energieeffizienz und Rohstoffproduktivität bei und unterstützen damit die Umsetzung des vorliegenden Programms.

Flankierend zur Forschungsförderung des BMBF empfiehlt der Programmbeirat weitere Maßnahmen zur Erreichung der Programmziele, wie z.B. Bereitstellung von F&E-Infrastruktur, Förderung eines Doktorandenprogramms, Erhöhung der internationalen akademischen Mobilität, Maßnahmen zur Bergbau-Akzeptanzverbesserung und Etablierung von Netzwerken sowie aktive Mitgestaltung der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP) Rohstoffe und weiterer europäischer Initiativen.

Mit der Umsetzung des F&E-Programms des BMBF und dem Explorationsprogramm des BMWi wird die Bundesregierung dazu beitragen, dass die deutsche Hightech-Industrie mit einer verlässlichen Rohstoffbasis weiterhin weltweit eine Vorreiterrolle einnimmt, auch als Anbieter von effizienten Rohstofftechnologien.

## 6. Quellen

- [1] Mennicken, L.; Jacobi, A.; Degenhardt, A.: Forschung sichert Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland. CIT Themenheft Ressourceneffizienz, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & KGaA, Chemie Ingenieur Technik 2012, 84, No. 10, 1666-1670
- [2] National Research Council of the National Academies: Minerals, Critical Minerals and the U.S. Economy. The National Academies Press, Washington, D.C., 2008
- [3] Deutsche Rohstoffagentur: DERA Rohstoffinformationen 11. 2012
- [4] Faulstich, M.: r3 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien. Informationspapier zum Forschungs- und Entwicklungsbedarf der gleichnamigen BMBF-Fördermaßnahme, 2010 ([http://www.bmbf.de/pubRD/informationspapier\\_bmbf\\_r3.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/informationspapier_bmbf_r3.pdf))
- [5] Huthmacher, K. E.: Forschung sichert nachhaltige Rohstoffversorgung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012, S. 243-252
- [6] Mennicken, L.: Forschungsprogramme des BMBF im Bereich der rohstoffbezogenen Nachhaltigkeitsforschung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012, S. 343-352
- [7] Mennicken, L.: Resource efficiency – the potential of research and development, econsense. Berlin, 2012, S. 5-8
- [8] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Wirtschaftsstrategische Rohstoffe für den Hightech-Standort Deutschland, Forschungs- und Entwicklungsprogramm des BMBF für neue Rohstofftechnologien, 2012 (<http://www.fona.de/de/14738>)

# Planung und Umweltrecht



**Planung und Umweltrecht, Band 1**  
 Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
 Andrea Verstejl  
 Erscheinungsjahr: 2008  
 ISBN: 978-3-935317-33-7  
 Gebund. Ausgabe: 199 Seiten  
 Preis: 25.00 EUR

**Planung und Umweltrecht, Band 4**  
 Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
 Andrea Verstejl  
 Erscheinungsjahr: 2010  
 ISBN: 978-3-935317-47-4  
 Gebund. Ausgabe: 171 Seiten  
 Preis: 25.00 €

**Strategie Planung Umweltrecht, Band 7**  
 Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
 Andrea Verstejl  
 Erscheinungsjahr: 2013  
 ISBN: 978-3-935317-93-1  
 Gebund. Ausgabe: 171 Seiten,  
 farbige Abbildungen  
 Preis: 25.00 €

**Planung und Umweltrecht, Band 2**  
 Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
 Andrea Verstejl  
 Erscheinungsjahr: 2008  
 ISBN: 978-3-935317-35-1  
 Gebund. Ausgabe: 187 Seiten  
 Preis: 25.00 €

**Planung und Umweltrecht, Band 5**  
 Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky  
 Erscheinungsjahr: 2011  
 ISBN: 978-3-935317-62-7  
 Gebund. Ausgabe: 221 Seiten  
 Preis: 25.00 €

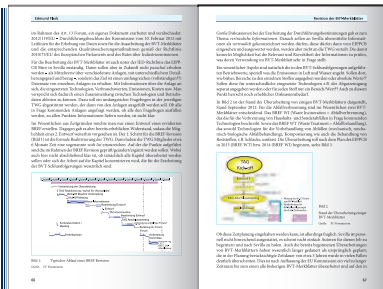
**Planung und Umweltrecht, Band 3**  
 Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
 Andrea Verstejl  
 Erscheinungsjahr: 2009  
 ISBN: 978-3-935317-38-2  
 Gebund. Ausgabe: 209 Seiten  
 Preis: 25.00 €

**Planung und Umweltrecht, Band 6**  
 Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
 Andrea Verstejl  
 Erscheinungsjahr: 2012  
 ISBN: 978-3-935317-79-5  
 Gebund. Ausgabe: 170 Seiten  
 Preis: 25.00 €

**110,00 EUR**  
 statt 175,00 EUR

**Paketpreis**

Planung und Umweltrecht, Band 1 bis 6;  
 Strategie Planung Umweltrecht, Band 7



Bestellungen unter [www.vivis.de](http://www.vivis.de)  
 oder

Dorfstraße 51  
 D-16816 Nietwerder-Neuruppin  
 Tel. +49.3391-45-45-0 • Fax +49.3391-45-45-10  
 E-Mail: [tkverlag@vivis.de](mailto:tkverlag@vivis.de)

**vivis**  
 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Recycling und Rohstoffe** – Band 6

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-97-9

ISBN 978-3-935317-97-9 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ina Böhme, Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M.

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.