

# Das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF)

Jens Gutzmer und Andreas Klossek

1.	Einführung.....	253
2.	Zukunftsaufgaben der Rohstoff- und Ressourcenforschung.....	254
3.	Struktur und Aufbau des Helmholtz-Instituts Freiberg.....	257
4.	Forschungsfokus.....	258
5.	Ausblick.....	259
6.	Quellen.....	259

## 1. Einführung

Mineralische und insbesondere metallhaltige Rohstoffe bilden das Fundament der volkswirtschaftlichen Wertschöpfung in Deutschland. Vor allem die exportstarken Wirtschaftszweige des Fahrzeug-, Anlagen- und Maschinenbaus sowie der Elektrotechnik sind in erheblichem Maße auf metallische Rohstoffe wie z.B. Aluminium, Kupfer und Eisen angewiesen [12]. Durch den technischen Fortschritt wird die Abhängigkeit von mineralischen und metallhaltigen Rohstoffen zunehmend komplexer, wobei insbesondere der Bedarf an bislang technologisch wenig genutzten Metallen dramatisch steigen wird [1].

Der weitaus größte Teil des deutschen Bedarfs an metallischen und mineralischen Rohstoffen muss derzeit auf den Weltmärkten eingekauft werden. So wurden allein im Jahr 2007 Rohstoffe im Wert von rund EUR 84 Milliarden eingeführt [2]<sup>1</sup> – die volkswirtschaftliche Wertschöpfung aus diesen Rohstoffen ist um ein Vielfaches höher [11]. Gefährdungen für die Wirtschaft ergeben sich insbesondere aus der globalen Verknappung des Rohstoffangebots sowie einer verstärkten Importabhängigkeit, die auf europäischer wie deutscher Ebene für fast alle strategisch wichtigen Rohstoffe gegeben ist [2, 7, 9]. Wesentliche Treiber hierfür sind auf der Nachfrageseite zum einen technische Innovationen, die zur Bedarfserhöhung bei bislang nur wenig eingesetzten Metallen führen, zum anderen die erhöhte Nachfrage in Schwellen- und Entwicklungsländern. Die dadurch bedingte Nutzung ärmerer Lagerstätten und somit schwierigere Gewinnungs- und Aufbereitungsbedingungen schränken das Angebot weiter ein. Auf der Angebotsseite kommen Konzentrations- und Protektionismusbestrebungen, aber auch die politische und wirtschaftliche Instabilität vieler Förderländer hinzu.

---

<sup>1</sup> Davon 22 % Metalle und Nichtmetalle.

Die daraus folgenden Lieferengpässe und Preissteigerungen auf den Weltmärkten haben für die heimische Wirtschaft erhebliche Konsequenzen [7, 11]. Expertenschätzungen zufolge erhöht ein Anstieg der primären Rohstoffkosten um 50 % die Materialkosten in Deutschland um EUR 10 Milliarden [8]. Die Materialkosten (ohne Energie) in der verarbeitenden Industrie haben sich über die letzten zehn Jahre zum mit Abstand größten Kostenblock entwickelt und machten 2006 allein 43 % des Bruttoproduktionswerts aus [1]. Preissteigerungen und Turbulenzen auf den Rohstoffmärkten werden damit zum Risiko für Beschäftigung und Wohlstand in Deutschland.

Bisherige Maßnahmen zur Sicherung der Rohstoffversorgung haben sich vor allem auf wirtschaftspolitische Aspekte konzentriert. Natur- und ingenieurwissenschaftliche sowie technologische Gesichtspunkte konnten in den Überlegungen von Politik und Wirtschaft nur nachrangig Berücksichtigung finden. Wie bereits in den *Elementen einer Rohstoffstrategie* bzw. in der aktualisierten *Rohstoffstrategie* von der Bundesregierung angedeutet [4, 6], stellen Ressourcentechnologien jedoch den Schlüssel zur Erhöhung der Ressourceneffizienz, zur Erschließung neuer Rohstoffquellen und damit zur langfristigen Sicherung der Rohstoffversorgung dar, indem

- neue Erkundungsverfahren bisher nicht bekannte oder genutzte Rohstoffvorkommen nutzbar werden lassen,
- eine verbesserte Rohstoffgewinnung und -förderung das effiziente und möglichst vollständige Ausbringen der vorhandenen Rohstoffe ermöglicht,
- im Aufbereitungs- und Veredelungsprozess das effiziente Ausbringen der vorhandenen Wertstoffe erhöht werden kann,
- durch produktbezogene Rohstoffauswahl, -verarbeitung und -substitution neue Optionen der Rohstoffbereitstellung erschlossen werden,
- Recycling und die Nutzung von Sekundärrohstoffen den Bedarf an begrenzt verfügbaren Primärrohstoffen reduzieren.

Das im August 2011 neu gegründete Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie verfolgt daher eine ganzheitliche Ressourcentechnologieforschung, welche die gesamte Rohstoff-Wertschöpfungskette von der Erkundung und Gewinnung der Rohstoffe über ihre Aufbereitung und Veredelung bis hin zum Recycling umfasst (Bild 1).



Bild 1: Die Rohstoff-Wertschöpfungskette

## 2. Zukunftsaufgaben der Rohstoff- und Ressourcenforschung

Auf die grundlegende Bedeutung mineralischer sowie insbesondere metallhaltiger Rohstoffe für die deutsche Volkswirtschaft hat die Bundesregierung erstmals 2007 in ihren *Elementen einer Rohstoffstrategie* hingewiesen [4]. Damit einher ging die von der Rohstoffinitiative der Europäischen Kommission im November 2008 vorgestellte Strategie, sich auf den diskriminierungsfreien Zugang zu den internationalen Rohstoffmärkten, die dauerhafte Versorgung mit Rohstoffen aus heimischen Quellen und die Senkung des Primärrohstoffverbrauchs in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union zu konzentrieren. Durch die Gründung der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und

Rohstoffe im Oktober 2010 aber auch des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) im August 2011 wurden diesbezüglich von der Bundesregierung die Weichen gestellt. Die politischen Initiativen erfuhren auch von Seiten der Industrie in Form von Interessenverbänden wie z.B. dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) weitergehende Unterstützung. So wird beispielsweise seit etwa einem halben Jahr getrieben durch den BDI der Ansatz der Rohstoffsicherung über eine Rohstoffallianz, an der sich große deutsche Industrieunternehmen beteiligen werden, diskutiert [10].

Die politisch und wirtschaftlich getriebenen Forderungen, nachhaltige Strategien für die Sicherung der Rohstoffbasis der europäischen bzw. deutschen Volkswirtschaft zu verfolgen, wurden bislang bis vor kurzem nur partiell durch die grundlagen- und anwendungsorientierten Forschungsinstitutionen in Europa aufgegriffen. Defizite lagen v.a. in der Behandlung natur- und ingenieurwissenschaftlicher technologischer Gesichtspunkte, die in den strategischen Überlegungen zur Sicherung der Rohstoffversorgung nur nachrangig Berücksichtigung fanden oder losgelöst von wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Betrachtungen behandelt wurden. Die *Elemente einer Rohstoffstrategie* bzw. die aktualisierte *Rohstoffstrategie* der Bundesregierung sprechen sich z.B. zwar für die Unterstützung der engen Kooperation von staatlich und privatwirtschaftlich finanzierten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten u.a. zur Materialeffizienzsteigerung oder im Bereich nachwachsender Rohstoffe aus, beschränken sich größtenteils aber auf bereits bestehende, themen- und technologieoffene Fördermaßnahmen zur Erhöhung der Innovationskompetenz von Unternehmen. Weiterhin setzt die Bundesregierung an der Förderung und Vernetzung der anwendungsorientierten Rohstoff- und Ressourcenforschung an und schlägt die Durchführung von Foren zum Informationsaustausch von Wirtschaft und einzelnen Forschungsgruppen vor. Ein darüber hinausgehender die Rohstoff-Wertschöpfungskette umfassender Forschungsansatz im Bereich der Ressourcentechnologie und der Bündelung der in diesem Bereich vorhandenen Kompetenzen hingegen ist bis vor kurzem nicht verfolgt worden.

Gerade hierin besteht aber einer von zwei wichtigen Lösungswegen für die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit kritischen Rohstoffen, wie Bild 2 zeigt.

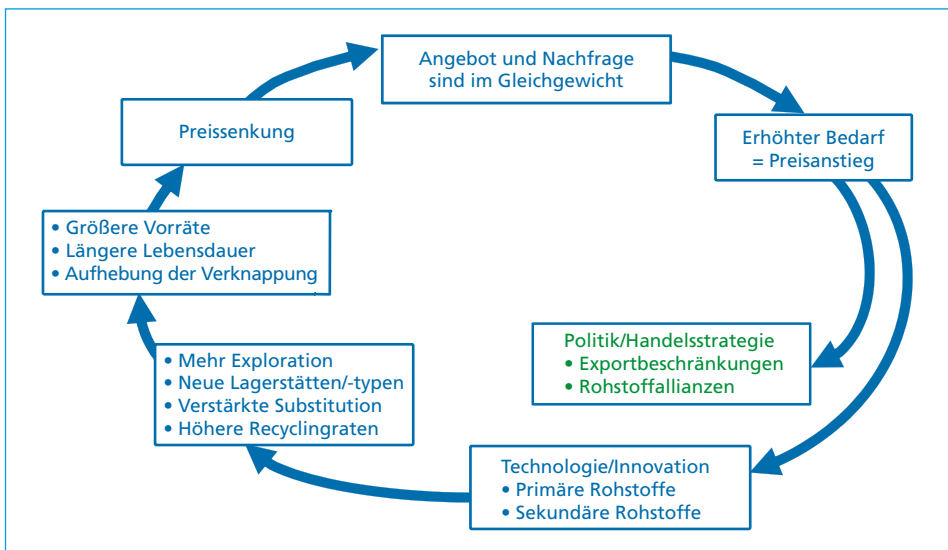


Bild 2: Marktzyklus der Rohstoffwirtschaft

Quelle: in Anlehnung an BGR: Rohstoffwirtschaft. Abgerufen am 21.12.2011 unter [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Rohstoffwirtschaft/rohstoffwirtschaft\\_node.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Rohstoffwirtschaft/rohstoffwirtschaft_node.html). 2012

Ein Weg mit Versorgungsengpässen bzw. erhöhten Bedarfen, die sich in der Regel in Preisanstiegen von Rohstoffen auswirken, umzugehen, sind politische bzw. handelsstrategische Maßnahmen. Diese Vorgehensweise wird in Deutschland insbesondere durch die neu an der BGR gegründete DERA verfolgt. Eine zweite Vorgehensweise besteht in der Innovation bzw. Entwicklung neuer Technologien in Bezug auf die Verfügbar- und Nutzbarmachung primärer und sekundärer Rohstoffe. Technologische Entwicklungen könnten bspw. zu Verbesserungen in der Erkundung und Exploration neuer Lagerstätten, in der Entwicklung neuer Recyclingverfahren und -prinzipien oder in der Möglichkeit, die Abhängigkeit von besonders kritischen Rohstoffen durch Substitution zu umgehen, führen. Die hierdurch zu erzielenden Effekte in Bezug auf den Verbleib eines Metalls oder Minerals im Wirtschaftszyklus (durch Recycling) oder durch eine Reduktion des Bedarfs (durch Substitution) sowie die Vergrößerung der Vorräte (durch Erkundung und Exploration) könnte die Verknappungs- und damit Preissituation bestimmter Rohstoffe entschärfen und langfristig zu einem Gleichgewichtszustand hinsichtlich des Angebots und der Nachfrage nach bestimmten Rohstoffen führen.

Kompetenzen im Bereich der Ressourcengewinnung und Know-how über Rohstoffverwendungen, ihre Industrien und Technologien sind bisher in Deutschland aber weit verstreut und müssen miteinander verknüpft werden. Singuläre, kurzfristige Forschungsprojekte reichen nicht aus, denn die beschriebenen Mechanismen für eine nachhaltige, sichere Rohstoffversorgung verlangen eine ebenso nachhaltige und langfristig angelegte Forschung. Erfolgreiche Beispiele in anderen Ländern wie CSIRO in Australien zeigen, dass hierfür die Etablierung einer zentralen Forschungseinrichtung, welche die Kompetenzen übergreifend bündelt und ganzheitlich ausbaut, erforderlich ist.

Die Ausrichtung des Helmholtz-Instituts Freiberg deckt deshalb einen strategischen Bedarf in der europäischen und deutschen Industrie- und Forschungslandschaft ab. Es soll durch technologieorientierte Forschung entlang der gesamten Rohstoff-Wertschöpfungskette über eine Alleinstellung gegenüber anderen europäischen Forschungseinrichtungen erreichen. Das Institut positioniert sich damit als nationales Kompetenzzentrum für die Erforschung, die Entwicklung und die Innovation von Technologien zur Bereitstellung strategisch wichtiger mineralischer sowie insbesondere metallhaltiger Rohstoffe. Dies berücksichtigt besonders die Ressourcen- und Energieeffizienz (siehe diesbezüglich auch die Forderung nach einer Verdopplung von Energie- und Rohstoffproduktivität bis 2020 [5]) sowie die Nachhaltigkeit der Prozessketten von der Erkundung und Gewinnung über die Aufbereitung und Veredelung bis zum Recycling.

Das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie verfolgt die Ziele,

- neue Technologien für die Nutzbarmachung mineralischer und metallhaltiger Rohstoffe aus komplex zusammengesetzten heimischen und weltweiten Lagerstätten zu entwickeln,
- einen Beitrag zum globalen Umweltschutz durch material- und energieeffiziente Gewinnung und Verwendung von Rohstoffen zu leisten,
- nachhaltige Technologien für deutsche Unternehmen als Basis für die wirtschaftliche Vernetzung mit ressourcenreichen Ländern (Technologie gegen Ressourcenzugang) bereitzustellen und
- die Ausbildung einer neuen Generation hochqualifizierter Wissenschaftler und Techniker für die deutsche Industrie und den Hochschulsektor zu unterstützen.

Mit Grundlagen- und anwendungsorientierter interdisziplinärer Forschung, bei der alle Stufen der Rohstoff-Wertschöpfungskette vernetzt werden, wird eine strategische Lücke zwischen der bergbaulichen Gewinnungskompetenz und dem Know-how von Rohstoffanwendungen in der deutschen aber auch in der europäischen Forschungslandschaft geschlossen.

Diese Ausrichtung ermöglicht es, beide in Bild 2 dargestellten Vorgehensweisen komplementär für Deutschland zu erfüllen. Das Helmholtz-Institut Freiberg ist damit als Counterpart der DERA an der BGR zu verstehen (Bild 3).

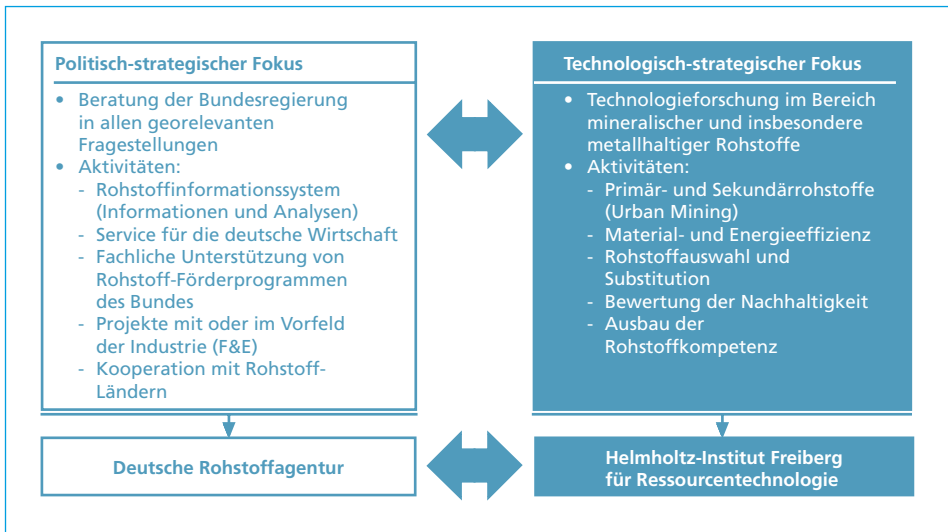


Bild 3: Komplementäre Lösungsansätze von HIF und DERA

### 3. Struktur und Aufbau des Helmholtz-Instituts Freiberg

Das Institut wurde in der Form eines organisatorisch an das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf angegliederten Helmholtz-Instituts gegründet. Es folgt damit dem Modell anderer Helmholtz-Institute. Thematisch ist das Institut sowohl in das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf als auch vor allem in die Technische Universität Bergakademie Freiberg integriert. Die im Jahr 1765 gegründete Bergakademie ist die weltweit älteste montanwissenschaftliche Hochschule und bildet in Freiberg den wissenschaftlich-technologischen Inkubator für zahlreiche Ausgründungen und Firmenansiedlungen im Themenbereich Ressourcentechnologie (z.B. Freiburger Compound Materials GmbH, Siltronic AG, Solarworld AG). Das neu gegründete Institut wurde deshalb am Standort Freiberg angesiedelt. Es ist geplant, dass das Institut mittelfristig bestehende Räumlichkeiten auf dem Gelände des ehemaligen Forschungsinstituts für Aufbereitung der DDR – damals Mitglied in der Akademie der Wissenschaften – nutzt. Hier besteht insbesondere die Möglichkeit, die vorhandene Aufbereitungstechnik im Technikums- und Pilotmaßstab in Kooperation mit der UVR-FIA GmbH zu nutzen.

Das Helmholtz-Institut Freiberg orientiert sich in seiner Struktur an der Rohstoff-Wertschöpfungskette (Erkundung, Gewinnung, Aufbereitung, Metallurgie & Recycling), wobei diese durch zwei querschnittsorientierte Themenfelder bzw. Abteilungen ergänzt werden (Modellierung & Bewertung, Analytik). Die sechs Abteilungen sollen perspektivisch mit führenden Wissenschaftlern und Doktoranden besetzt werden und zusammen bis 2015 in etwa 100 Angestellte umfassen. Die sechs Abteilungen (siehe auch Säulen in Bild 4) werden thematisch eng zusammenarbeiten und interdisziplinäre Forschungsthemen bearbeiten. Wie im folgenden Punkt erläutert, werden im Institut zunächst insbesondere fünf thematische Schwerpunkte interdisziplinär behandelt (siehe auch Querbalken in Bild 4).

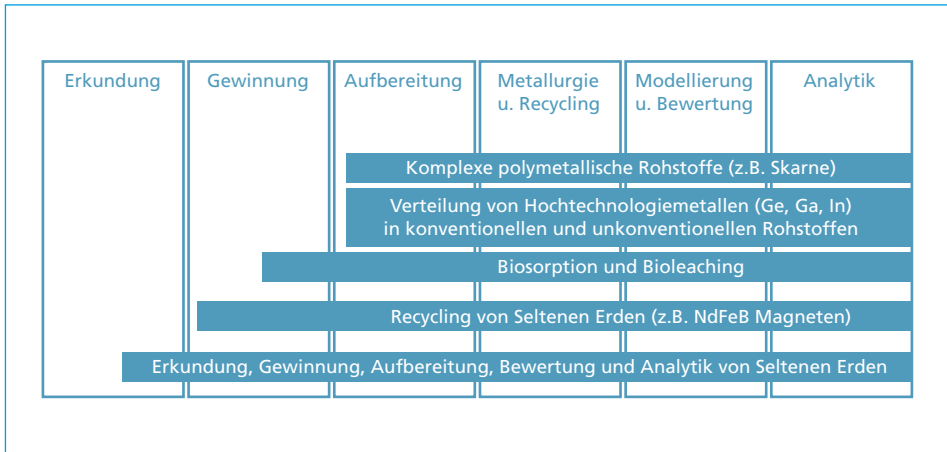


Bild 4: Interdisziplinäre Forschungsthemen und fachlicher Aufbau des HIF

## 4. Forschungsfokus

Das Institut erforscht und entwickelt Technologien für die nachhaltige Versorgung der deutschen Volkswirtschaft mit dringend benötigten mineralischen sowie insbesondere metallhaltigen Rohstoffen. Folgende fünf Forschungsthemen erscheinen für die kommenden Jahre besonders relevant und sollen daher als Schwerpunkte im geplanten Institut bearbeitet werden:

- Nutzung komplexer polymetallischer heimischer Rohstoffe: Erforschung der Wiederaufbereitung heimischer Rohstoffvorkommen bzw. Haldenrückständen (z.B. Gewinnung von Lithium, Zinn, Wolfram und Molybdän aus Rückständen des Bergbaus, z.B. in Altenberg);
- Recycling von Seltenen Erden: Erforschung und Entwicklung neuer Recyclingtechnologien für die Wiedernutzbarmachung von Seltenen Erden aus Produkten (z.B. Rückgewinnung von Neodym aus Hochleistungsmagneten aus Windkraftanlagen);
- Verteilung von Hochtechnologiemetallen (Ge, Ga, In) in konventionellen und unkonventionellen Rohstoffen: Charakterisierung der Verteilung dieser Metalle (z.B. in Zinkerzen oder Aluminiumrohstoffen (Bauxit)) und Entwicklung von Strategien zur wirtschaftlichen Extraktion solcher Metalle als Begleitprodukt;
- Biosorption, Bioleaching: Entwicklung von biologischen Verfahren für die Aufbereitung von Massen- (z.B. Optimierung Kupferlaugung) und Hightech-Metallen (z.B. Rückgewinnung von V und REE aus Rückständen des Uranbergbaus);
- Erkundung, Gewinnung, Aufbereitung, Bewertung und Analytik von Seltenen Erden: Analyse weltweiter Vorkommen an Seltenen Erden hinsichtlich Gewinnbarkeit, Aufbereitbarkeit und ökonomischer Nutzbarkeit (u.a. auch angedacht in der Mongolei, in Russland und in Kanada).

Ziel des Instituts ist dabei nicht nur die Erforschung der in den Projekten gestellten Forschungsziele sondern auch das Vorantreiben nationaler und internationaler Kooperationen mit der Wissenschaft und der Wirtschaft, um Drittmittel für weitere Forschungsprojekte zu

generieren. Auf nationaler Ebene werden so verstärkt Kooperationen mit anderen Helmholtz-Einrichtungen, zu denen es thematisch Anknüpfungspunkte gibt (z.B. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig), aber auch Kooperationen mit anderen (außer-) universitären Einrichtungen angestrebt. Auf internationaler Ebene sollen Kooperationen mit allen wichtigen Forschungseinrichtungen auf dem Themengebiet (z.B. CSIRO, Luleå University of Technology) weiter ausgebaut oder angestoßen werden.

Bereits in der Gründungsphase des Instituts konnten wichtige Partnerschaften in (inter-) nationalen Netzwerken angebahnt und in der Aufbauphase umgesetzt werden. Dazu gehören insbesondere die Raw Materials Initiative (u.a. auch Mitarbeit an einer European Innovation Partnership Raw Materials), das European Research Area-Network on the Industrial Handling of Raw Materials for European Industries (ERAMIN) oder die European Technology Platform on Sustainable Mineral Resources (ETP SMR).

In der Zusammenarbeit mit der Wirtschaft möchte sich das Institut langfristig als das nationale und europäische Forschungs- und Kompetenzzentrum im Themenbereich Ressourcentechnologie profilieren. Dies schließt z.B. die Möglichkeit mit ein, als Kooperationspartner für langfristig angelegte strategische Allianzen auch mit nationalen Industriekonsortien zu fungieren. In kurz- bis mittelfristig angelegten Industrieprojekten versteht sich das Institut hingegen eher als Technologiepartner für den Technologietransfer in die Industrie, z.B. um Technologieexporte gegen Rohstoffimporte für die deutsche Wirtschaft zu ermöglichen. In Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg möchte sich das Institut aber auch als Aus- und Weiterbildungspartner für deutsche Fach- und Führungskräfte positionieren.

## 5. Ausblick

Die Aufgabe der nächsten Wochen und Monate wird es sein, das entwickelte und oben dargestellte Forschungskonzept umzusetzen und weitere langfristige Schwerpunkt-Bereiche gemeinsam mit Wissenschaft, Wirtschaft und Politik festzulegen. Zusammen mit der Industrie werden deshalb derzeit beispielsweise unterschiedliche Ansatzpunkte in Bezug auf die Rückgewinnung wichtiger Hightech-Metalle aus Prozessrückständen aber auch aus Altprodukten diskutiert. In wissenschaftlich-politischer Hinsicht hat das Helmholtz-Institut für das Bundesministerium für Bildung und Forschung die Koordination des Programms *r<sup>3</sup> – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien* übernommen. Ziel des Programms ist es, konkrete Vorschläge für die Erhöhung der Versorgungssicherheit strategisch bedeutender Ressourcen in Deutschland zu erarbeiten. Das Helmholtz-Institut wird zu diesem Zweck gemeinsam mit weiteren Partnern (TU Bergakademie Freiberg, Deutsche Rohstoffagentur, Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, Universität Stuttgart) die Fördermaßnahme *r<sup>3</sup>* nicht nur koordinieren, sondern entstandenes Wissen bündeln, Forschungspartner miteinander vernetzen und den Transfer in die Wirtschaft sicherstellen.

## 6. Quellen

- [1] Angerer, G.; Marscheider-Weidemann, F.; Lüllmann, A.; Erdmann, L.; Scharp, M.; Handke, V.; Marwede, M.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien – Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung Berlin, Fraunhofer ISI. Studie im Auftrag des BMWi, 2009
- [2] BGR: Bundesrepublik Deutschland – Rohstoffsituation 2009, 2008

- [3] BGR: Rohstoffwirtschaft. Abgerufen am 21.12.2011 unter [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Rohstoffwirtschaft/rohstoffwirtschaft\\_node.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Rohstoffwirtschaft/rohstoffwirtschaft_node.html). 2012
- [4] Bundesregierung: Elemente einer Rohstoffstrategie der Bundesregierung, 2007
- [5] Bundesregierung: Fortschrittsbericht 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, 2008
- [6] Bundesregierung: Rohstoffstrategie der Bundesregierung, 2010
- [7] Buttermann, G.; Hillebrand, B.; Behringer, J. M.: Rohstoffeinsatz in hochindustrialisierten Volkswirtschaften – ein strukturprägender Faktor. EEFA, Münster, Berlin, 2010, 2005
- [8] e.velop – das Entwicklungs-Magazin: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, Nr. 47, 2006
- [9] Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. 2008. Die Rohstoffinitiative – Sicherung der Versorgung Europas mit den für Wachstum und Beschäftigung notwendigen Gütern. KOM(2008)699
- [10] BDI: Aufbau einer deutschen Rohstoffallianz. Abgerufen am 06.02.12 unter [http://www.bdi.eu/rd-ext/Agenda/6\\_Februar\\_2012.html#seite 3.2012](http://www.bdi.eu/rd-ext/Agenda/6_Februar_2012.html#seite 3.2012)
- [11] Tiess, G.: Rohstoffpolitik in Europa: Bedarf, Ziele, Ansätze. Wien, Springer, 2009
- [12] ZVEI: Zur Rohstoffsituation in der Elektroindustrie. 2010



Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Recycling und Rohstoffe** – Band 5

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012

ISBN 978-3-935317-81-8

ISBN 978-3-935317-81-8 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 2012

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: Janin Burbott, Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

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.