



r^3 – Strategische Metalle und Mineralien

Innovative Technologien für Ressourceneffizienz



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



r^3 – Strategische Metalle und Mineralien

Innovative Technologien für Ressourceneffizienz

Vorwort

Für den Hightech-Standort Deutschland ist die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen von größter Bedeutung. Insbesondere die Bereitstellung von Metallen und Mineralien wie Seltene Erden, Indium, Germanium und Gallium ist für die Industrie enorm wichtig. Der Bedarf an diesen wirtschaftsstrategischen Rohstoffen, zum Beispiel für den Automobilbau und die Energiewirtschaft, steigt rasant an. Gleichzeitig bestehen jedoch erhebliche Versorgungsrisiken für bestimmte Elemente, unter anderem weil einzelne Lieferländer Rohstoffmonopole haben oder effiziente Recyclingsysteme fehlen.

Die Bundesregierung hat auf diese Herausforderung bereits reagiert: Mit der Hightech-Strategie 2020, der Nachhaltigkeitsstrategie, der Rohstoffstrategie sowie dem Deutschen Rohstoffeffizienzprogramm nimmt sie hier eine Vorreiterrolle im internationalen Vergleich ein. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) setzt mit der Fördermaßnahme „r³ – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien“ innerhalb des Rahmenprogramms Forschung für nachhaltige Entwicklungen (FONA) im Rohstoffbereich seine erfolgreiche Forschungsförderung fort. Das BMBF stellt hierfür in den Jahren von 2012 bis 2016 rund 30 Millionen Euro zur Verfügung, hinzu kommen 12 Millionen Euro aus der Wirtschaft.

Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft arbeiten im Rahmen der Fördermaßnahme „r³“ in 28 Forschungsverbünden an Antworten auf drängende Zukunftsfragen: Kann der Einsatz knapper Rohstoffe in der Produktion verringert oder sogar vollständig durch andere weniger knappe Rohstoffe ersetzt werden? Wie können wir die Rückgewinnung von Wertstoffen aus ausgedienten Technologieprodukt verbessern? Wie ermöglichen wir eine Rückgewinnung wertvoller Metalle und Mineralien aus Müllde-



ponien, Abraumhalden und Alt-Gebäuden? Und wie gehen wir zukünftig verantwortungsvoll mit knappen Rohstoffen um?

Die vorliegende Broschüre stellt die seitens des BMBF geförderten Projekte zu diesen Themen vor. Sie zeigt die große Vielfalt an Herausforderungen und Technologieansätzen, mit denen Wissenschaft und Wirtschaft gemeinsam nach zukunftsfähigen Lösungen suchen.

Ich wünsche allen eine informative und anregende Lektüre.

A handwritten signature in dark ink, reading 'Johanna Wanka'. The script is fluid and cursive, with a large initial 'J'.

Prof. Dr. Johanna Wanka

Bundesministerin für Bildung und Forschung

Inhalt

Einleitung	8
Übersicht Verbundprojekte	10
Recycling	12
Bo2W Recycling in internationalen Netzwerken	13
InAccess Monitore im Blickfeld	14
PhotoRec Solarmodule haben es in sich	15
r ³ Bece Neue Lösungswege	16
UpGrade Kritischen Metallen auf der Spur	17
CaF ₂ Alles im Fluss	18
NickelRück Schwermetall aus dem Stahlbad	19
Einsparung/Substitution	20
EcoTan Mit Baumrinde ans Leder gehen	21
Innodruck Bauteile in 3-D-Druck	22
PitchER Seltene Erden nicht in den Wind schreiben	23
SubITO Zinn für Zukunftstechnologien	24
SubMag Gießen ohne Magnesium	25

Urban Mining	26
ATR Schätze aus der Asche	27
Kraftwerksasche Mehrwert bei der Energieerzeugung	28
PhytoGerm Reiche Ernte aus Pflanzenrückständen	29
Rotschlamm Gute Behandlung zahlt sich aus	30
TönsLM Abfallberge sicher versetzen	31
VeMRec Gut sortiert ist halb gewonnen	32
ZwiPhos Aufheben für später	33
UrbanNickel Metallressourcen im Schlamm	34
ReStrateGIS Landkarte der schlummernden Ressourcen	35
ROBEHA Haldenrecycling im Harz	36
SMSB Detektivarbeit im Erzgebirge	37
Grenzflächen Trennung als Chance	38
PRRIG Zurück in den Stoffstrom	39
ResourceApp Wertstoffinventur per Mobilgerät	40
Bewertung und Transfer	41
ESSENZ Nachhaltigkeit im Vergleich	42
INTRA r ³ + Forschung und Praxis verbinden	43
Der r³-Sachverständigenkreis	44
Anhang	45

Rohstoffstrategien für die Zukunft

Nichtenergetische Rohstoffe sind von zunehmender Bedeutung für den Wirtschaftsstandort Deutschland. Diese Rohstoffe werden vor allem benötigt, um Zukunftstechnologien zu entwickeln und auszubauen. So sind Elemente wie Indium, Germanium, Gallium und seltene Erden in vielen Branchen unverzichtbar. Das gilt für Hightech-Produkte wie Mobiltelefone und Flachbildschirme ebenso wie für Photovoltaikzellen und Windkraftanlagen. Die Versorgung mit mineralischen und metallischen Rohstoffen ist deshalb zu einem wichtigen Faktor geworden für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft.

Derartige Rohstoffe werden jedoch immer knapper. Die Versorgungssicherheit hat im Laufe der letzten Jahre abgenommen, was man in Deutschland mit wachsender Besorgnis beobachtet. Zum einen steigt der Bedarf an solchen Materialien weltweit, zum anderen sind diese Ressourcen nicht aus heimischen Lagerstätten verfügbar. Unser Land ist hier von Importen aus dem Ausland abhängig. Manche nichtenergetische Rohstoffe, zum Beispiel seltene Erden, müssen als Primärrohstoff zu mehr als 90 Prozent eingeführt werden. Sekundärrohstoffe dagegen sind in Deutschland vorhanden. Im Hinblick auf Hochtechnologiemetalle werden sie jedoch bislang nicht ausgeschöpft.



Wettbewerbsfähigkeit sichern

Aus diesen Gründen setzt sich die Bundesregierung in ihrer aktuellen Rohstoffstrategie (Bundesregierung 2010a) und der Hightech-Strategie 2020 (Bundesregierung 2010b) unter anderem dafür ein, Innovationen für einen nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen voranzutreiben. Außerdem hat sich die Rohstoffinitiative der Europäischen Kommission zum Ziel gesetzt, den Zugriff auf außereuropäische Rohstoffquellen zu sichern und bestehende Handelshemmnisse abzubauen (KOM 2008).

Ein zentraler Leitgedanke der Hightech-Strategie 2020 der Bundesregierung ist, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft durch eine erhöhte Innovationskraft zu stärken. Dieser Leitgedanke wird mit der Fördermaßnahme r^3 innerhalb des Rahmenprogramms FONA „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ aufgegriffen. Dabei fließen auch ökologische und soziale Aspekte mit ein. Um eine Überführung der Forschungsergebnisse in die wirtschaftliche Anwendung zu erleichtern, sollen an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft strategische Partnerschaften aufgebaut werden.

Auf Basis der Rohstoffstrategie und der Hightech-Strategie 2020 fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Maßnahme „ r^3 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien“ mit rund 30 Millionen Euro. Die r^3 -Projekte haben das Ziel, innovative Technologien und Prozesse für die Erhöhung der Versorgungssicherheit wirtschaftsstrategischer metallischer Rohstoffe in Deutschland zu entwickeln. Darunter befinden sich Metalle wie Indium, Germanium, Gallium und seltene Erden, aber auch Industriemineralien wie Flussspat. Diese Stoffe sollen zukünftig effizienter gewonnen, recycelt oder in der Produktion sparsamer verwendet werden.

Verbundprojekte zu vier Themenfeldern

Seit Anfang 2012 forschen im Rahmen der r³-Fördermaßnahme mehr als 100 Partner in 28 Verbundprojekten. Sie alle wollen Effizienzsprünge in der Ressourcennutzung erreichen. Die Forschungsvorhaben konzentrieren sich dabei auf die Themenfelder Recycling, Substitution und Materialeinsparung, Urban Mining sowie Methoden zur Bewertung der Ressourceneffizienz.

Im Bereich Recycling wird untersucht, wie die in Elektro- und Elektronikaltgeräten oder Solarmodulen enthaltenen Metalle zurückgewonnen und aus Produktionsabfällen wiederverwertet werden können. Es werden zudem Konzepte erarbeitet, die die Rückführung von Hightech-Rohstoffen aus ausgedienten Exportgütern in das Herstellungsland Deutschland ermöglichen.

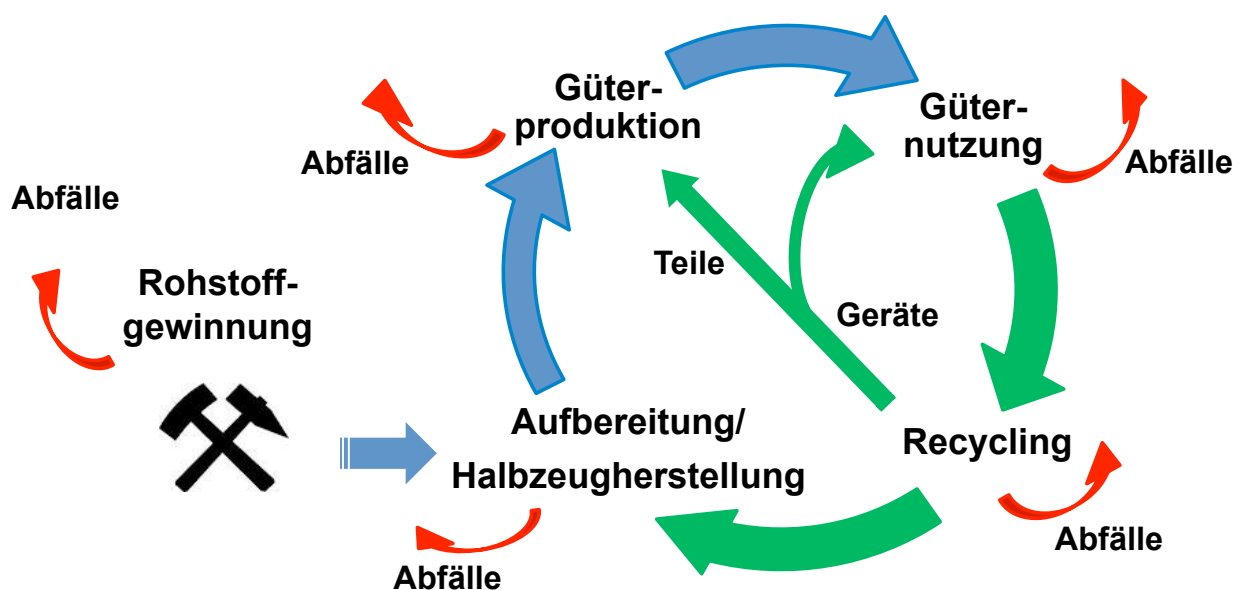
Die Projekte zum Thema Substitution und Materialeinsparung verfolgen das Ziel, wertvolle Metalle durch andere Stoffe mit vergleichbaren Eigenschaften zu ersetzen. So soll etwa Indium bei der Herstellung leitfähiger Schichten durch andere, weniger seltene Elemente substituiert oder Chrom durch neue Gerbverfahren von Leder eingespart werden. Ein weiterer

Forschungsverbund untersucht Möglichkeiten, den Einsatz von Refraktärmetallen wie Wolfram und Molybdän in der Produktion zu verringern.

Auf dem Gebiet Urban Mining konzentrieren sich die Arbeiten in r³ auf anthropogene Lager und Ablagerungen, die metallische Rohstoffe enthalten. Dazu zählen Aschenablagerungen, Bergbauhalden, Depo-nien oder Gebäude. Hieraus können noch Wertmetalle gewonnen werden. Zudem stellt sich die Frage nach einem sicheren Rückbau dieser Ablagerungen.

Darüber hinaus befasst sich ein übergreifender Forschungsschwerpunkt mit Methoden zur Bewertung der Ressourceneffizienz. Hier geht es unter anderem darum, aufbauend auf bereits existierenden Ansätzen der Industrie und anderer Akteure, geeignete Indikatoren zur Messung von Ressourceneffizienz zu entwickeln. Außerdem werden die neuen Recyclingtechnologien und -verfahren bewertet und ihre praktische Anwendung vorbereitet.

Die Begleitung und Ergebnisverbreitung der BMBF-Fördermaßnahme r³ unterstützt das Integrations- und Transferprojekt INTRA r³+, koordiniert vom Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourceneffizienztechnologie.



Kreislauf von Rohstoffen und Abfällen entlang der Wertschöpfungskette und des Produktlebenszyklus.
Quelle | © Dürkoop/ Helmholtz-Institut Freiberg nach Faulstich 2010



Legende

- Verbundkoordinator
- Verbundteilnehmer
- INTRA r³+ Koordinator
- INTRA r³+ Partner

Die r³-Verbundprojekte

Im Rahmen der Fördermaßnahme r³ arbeiten 28 verschiedene Verbundprojekte an innovativen Technologien und Lösungen, um die Rohstoffbasis für Schlüsseltechnologien zu sichern. An den Forschungsvorhaben sind Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen in ganz Deutschland beteiligt. Mehr als hundert Verbundpartner untersuchen und entwickeln neue Technologien, Verfahren und Dienstleistungen im Hinblick auf einen effizienten Umgang mit strategischen Metallen und Mineralien.

Die Akteure sind entlang der gesamten Wertschöpfungskette in Industrie und Forschung tätig. Insbesondere beteiligen sich auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) an den Projekten. Die große Spannbreite bei den Verbundpartnern sorgt dafür, dass sich die Lösungen an der praktischen Umsetzbarkeit orientieren.

Zurück in den Kreislauf

Recycling von Metallen und Mineralien aus Elektronikschrott und Produktionsprozessen



In ausgedienten Technologieprodukten wie Bildschirmen, Mobiltelefonen, Leuchtstofflampen oder Photovoltaikmodulen sind oft hohe Konzentrationen an Metallen und Mineralien zu finden. So enthalten etwa 41 Mobiltelefone die gleiche Menge Gold wie eine Tonne Erz.

Das Recycling der wertvollen Sekundärrohstoffe aus Elektronikschrott ist aber bisher nicht ausgereift und es gehen noch erhebliche Mengen in Abfallströmen verloren. Das Gleiche gilt für viele Abfallstoffe aus Produktionsprozessen, die ebenfalls ein beachtliches Ressourcenpotenzial bergen, das noch längst nicht ausgeschöpft wird.

Ziel der r^3 -Forschungsprojekte ist es, neue Konzepte und Recyclingtechnologien zu entwickeln, damit künftig seltene Metalle wie Indium oder wichtige Minerale wie Flussspat mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zurückgewonnen werden können.

So befassen sich insgesamt fünf r^3 -Verbundprojekte damit, Metalle wie Indium, Gallium oder Seltene Erden aus LCD-Bildschirmen, Solarmodulen und Elektro- und Elektronikaltgeräten zurückzugewinnen und dafür die Sammlung von Altgeräten und deren Aufbereitung zu verbessern. In weiteren Verbundprojekten wollen die Forscher untersuchen, wie sich Nickel bzw. Zinn und Kupfer aus bestimmten Produktionsabfällen der Stahlindustrie und der Leiterplattenherstellung auffangen und wiederverwerten lassen.

Recycling in internationalen Netzwerken

Bo2W

Best of two Worlds – Globale Kreislaufführung strategischer Metalle

Viele Studien belegen die negativen Auswirkungen, die der unsachgemäße Umgang mit Elektronikschrott und anderen Altgeräten in Entwicklungsländern auf Mensch und Umwelt hat. Gleichzeitig ist bekannt, dass die bestehenden Recyclingsysteme nicht geeignet sind, um strategisch relevante Rohstoffe wie Metalle der Platingruppe, Kobalt und Seltene Erden zurückzugewinnen. Aufgrund der offensichtlichen Umweltprobleme und der begrenzten Ressourcen sollte das Metallpotenzial, das sich in Altgeräten und -fahrzeugen verbirgt, besser und sauberer genutzt werden.

Das Projekt Bo2W untersucht, wie ein Übergang zu nachhaltigen Recyclinglösungen in Entwicklungs- und Schwellenländer erreicht werden kann, um einerseits die negativen Sozial- und Umweltauswirkungen zu reduzieren und andererseits seltene und wertvolle Metalle wie Palladium und Seltene Erden besser zurückzugewinnen. Ziel ist es, die Prozesskette des Recyclings komplexer Schrotte gesundheits-, umwelt- und sozialverträglich zu gestalten sowie wirtschaftlich attraktiv zu machen.

Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie werden die Forscher den Aufbau neuer Recyclingstrukturen in Ghana und Ägypten unterstützen und in Pilotvorhaben erproben. Das Projekt soll lokale Wertschöpfung erzeugen, die Pilotvorhaben internationalen Sozial-, Gesundheits- und Sicherheitsstandards entsprechen und Arbeitsplätze vor Ort schaffen. Komponenten, die in der Region nicht effizient und umweltfreundlich zu verwerten sind, werden zu spezialisierten High-



Fachgerechte und umweltfreundliche Zerlegung von Altgeräten in Ghana
Quelle | © Öko-Institut

Tech-Raffinerien in Europa exportiert. Dafür sollen die beiden Länder besser mit den Recyclingstrukturen der Industrieländer verbunden werden.

Mit dem Best-of-two-worlds-Ansatz will das Projekt die Stärken von Entwicklungsländern mit den Stärken von Industrieländern kombinieren: Während in Entwicklungsländern Altgeräte vorwiegend ressourcenschonend manuell zerlegt werden, verfügen Industrieländer über hocheffiziente Anlagen zur weiteren Rückgewinnung von Metallen. In dem Vorhaben geht es ausschließlich um lokal anfallende Schrotte. Es grenzt sich damit eindeutig vom illegalen Handel mit Giftmüll und Elektronikschrott ab.

27 Co 58,93	47 Ag 107,86	79 Au 196,96	82 Pb 207,2
SELTENE ERDEN		PLATINGRUPPENMETALLE	

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Dr. Matthias Buchert
Öko-Institut e.V.
E-Mail | m.buchert@oeko.de
Internet | www.r3-innovation.de/bo2w

Monitore im Blickfeld

InAccess

Rückgewinnung von Indium durch effizientes Recycling von LCD-Bildschirmgeräten

Wie in vielen anderen Hightechprodukten ist auch in LCD-Bildschirmen das wirtschaftsstrategische Metall Indium enthalten. Damit das Indium aus den Monitoren zukünftig effizient recycelt werden kann, ist ein ganzheitliches und ressourceneffizientes Erfassungs- und Verwertungssystem nötig.

Der Forschungsinhalt des Projekts InAccess besteht in der Entwicklung eines solchen Konzeptes in mehreren Schritten. Zunächst ermitteln die Verbundpartner die anfallende Menge und den Aufbau der Bildschirme sowie anderer Indiumquellen, um auf dieser Basis ein Sammel- und Identifikationssystem zu erarbeiten. Für die Demontage der LCD-Bildschirmgeräte und ihre Befreiung von Schadstoffen entwickeln sie ein neues Verfahren, das anschließend

in einer Pilotanlage getestet wird. Die vom Rest der Monitore separierten LCD-Displays werden dann aufbereitet und daraus Metall-, Kunststoff- und Glaskonzentrate gewonnen. Aus diesen Konzentraten will man schließlich über eine chemische Laugung Indium zurückgewinnen.

Zum Abschluss erarbeiten die Forscher ein Gesamtverfahrenskonzept und stellen Markteinführungsszenarien dar. Ihr Ziel ist, damit insgesamt einen möglichst großen Massenanteil der Altprodukte zu recyceln und Indium daraus zu gewinnen. Auch auf andere indiumhaltige Abfallströme soll das neu zu entwickelnde Verwertungssystem zukünftig anwendbar sein.



Effizientes Recycling von Indium aus LCD-Bildschirmen
Quelle | © TV-Gerät – ENE; Zerlegte Baugruppen – Electro-cycling GmbH; Indiumbarren – www.chemiestun.de/grafiken/pse/bilder/smart-elements/In-SE-3.jpg



ZIELMETALL

Verbundkoordinator

Dipl.-Ing (Fh) Guido Sellin
Electrocycling GmbH
E-Mail | guido.sellin@electrocycling.de
Internet | www.r3-innovation.de/inaccess

Solarmodule haben es in sich

PhotoRec

Recycling von Hightechmetallen aus Photovoltaikmodulen

Zur Herstellung von Dünnschicht-Solarmodulen werden seltene Rohstoffe wie Indium, Tellur oder Gallium benötigt. Doch auch Photovoltaikmodule haben irgendwann ausgedient. Da für das Recycling bisher kein wirtschaftlich interessantes Verfahren existiert, gehen die in den Modulen enthaltenen wertvollen Metalle derzeit im Stoffstrom des Altglases verloren.

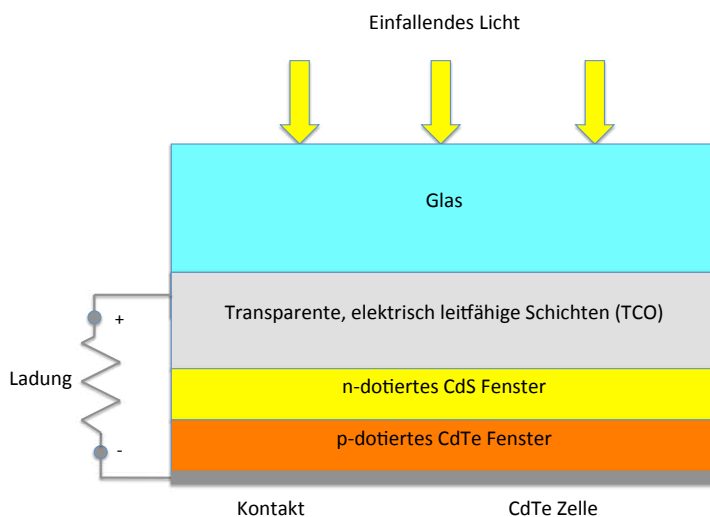
Ziel des Vorhabens PhotoRec ist es daher, ein solches wirtschaftliches Recyclingverfahren für Dünnschicht-Photovoltaikmodule zu entwickeln. Mit Hilfe eines thermischen hochselektiven Verfahrens soll neben den seltenen strategischen Metallen Indium, Tellur und Gallium auch das hochwertige Flachglas aus den Abfallströmen zurückgewonnen werden.



Großflächige Photovoltaikanlage
Quelle | © Senses GmbH Hilden

Die ausgedienten Solarmodule werden zunächst nach Bautypen sortiert, demontiert und anschließend mechanisch bearbeitet. Dabei entstehen Mikrorisse im Glas der Module. Bei der Erhitzung in einer speziell entwickelten Destillationsanlage verdampfen die Wertmetalle durch diese Risse aus dem Glas. Die dampfförmigen Metalle werden zum Schluss in einem speziellen Kondensator abgeschieden und damit wieder nutzbar gemacht.

Die innovativen Recyclingverfahren können nicht nur dazu beitragen, die Rohstoffversorgung für die Solarindustrie zu sichern. Sie helfen auch, die Rohstoffeffizienz insgesamt zu steigern. Langfristig wird eine Ausbeute von 90 Prozent der Halbleitermetalle angestrebt.



Aufbau einer Photovoltaikzelle (CdTe)
Quelle | © Conergy

31 Ga	49 In	52 Te
69,72	114,81	127,60

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Dipl.-Ing. Reiner Weyhe
ACCUREC-Recycling GmbH
E-Mail | reiner.veyhe@accurec.de
Internet | www.r3-innovation.de/Photorec

Neue Lösungswege

r³ Bece

Separate Rückgewinnung von Zinn und Kupfer aus Stripperlösungen der Leiterplattenindustrie

Die wachsende Nachfrage nach Zinn und Kupfer hat in den letzten Jahren zu einem steilen Preisanstieg geführt. Bei der Fertigung von Leiterplatten fallen verbrauchte chemikalische Lösungen (Zinn-Stripperlösungen) an, die einen hohen Gehalt an diesen beiden Metallen aufweisen. In Deutschland sind das schätzungsweise 240 Tonnen Zinn und circa 45 Tonnen Kupfer, die bisher nicht spezifisch recycelt werden.

Der Verbund r³Bece entwickelt ein Verfahren zur Aufarbeitung der Zinn-Stripperlösungen. So soll mit einer kosteneffizienten, flexiblen Recyclingmethode Zinn und Kupfer in elementarer Form aus dem Reststoffstrom zurückgewonnen werden.

Der Lösungsweg sieht zunächst die Separation der Zinn-Stripperlösung in eine kupferreiche Flüssigphase und eine zinnreiche Feststoffphase vor.

Nach Trennung erfolgt die Reaktion des Feststoffes zu einer löslichen Zinnverbindung. Beide Flüssigkeiten werden jeweils durch Zementation zu den elementaren Metallen Zinn und Kupfer umgesetzt. Auch die anfallenden Restlösungen will man untersuchen, um dafür qualitativ hochwertige Verwertungswege aufzeigen zu können.

Nach Ausarbeitung und Optimierung einer laborgetesteten Reaktionsfolge ist die Übertragung in die größere Dimension des Demonstratorbetriebes geplant. Die Ergebnisse können – über die Zinn-Stripper-Behandlung hinaus – bei der Rückgewinnung anderer strategisch wichtiger Metalle genutzt werden. Insbesondere für Gallium, Indium, Germanium und sämtliche Edelmetalle ist aufgrund ihrer Eigenschaften prinzipiell eine übergreifende Anwendung des Verfahrens möglich.



Aus den Zinn-Stripperlösungen der Leiterplattenindustrie können Kupfer und Zinn zurückgewonnen werden
Quelle | © IUTA, Duisburg; Dipl.-Ing. (FH) Frank Grüning.

29	Cu	50	Sn
63,55		118,71	

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Christian Berger
BECE Leiterplatten-Chemie GmbH
E-Mail | christian.berger@bece-chemie.de
Internet | www.r3-innovation.de/r3bece

Kritischen Metallen auf der Spur

UPgrade

Rückgewinnung von Spurenmetallen aus Elektro- und Elektronikaltgeräten

Untersuchungen zeigen, dass ausgediente Elektro- und Elektronikgeräte eine wichtige Rohstoffquelle für kritische Metalle wie Gallium, Indium und Seltenerdelemente sind. Bisher werden diese Elemente und ihre Verbindungen jedoch nur ansatzweise in den Kreislauf zurückgeführt. Gründe dafür sind unter anderem die unzureichende Erfassung und fehlende Recyclingtechnologien.

Ziel des UPgrade-Projektes ist es, neue und optimierte Prozesse für die Behandlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten und deren Komponenten zu entwickeln, die alle Stufen der Recyclingkette berücksichtigen. Dadurch soll eine Anreicherung und Rückgewinnung von ausgewählten Spurenmetallen erreicht werden. Neben technischen und organisatorischen Optimierungen und Neuentwicklungen im Recycling geht es darum, Wirtschafts- und Produktlebenszyklen besser zu verstehen.

Der erste Projektschritt besteht im Aufbau eines Wertstoffkatasters für Elektro- und Elektronikaltgeräte, das als Datengrundlage für die weiteren Arbeitsschritte dient. Es folgen experimentelle Stoffstromanalysen von Aufbereitungs- und Behandlungsprozessen, um Spurenmetallverluste entlang der Entsorgungskette aufzuspüren. Darauf aufbauend will das Forschungskonsortium neue Recyclingsysteme und -prozesse entwickeln, die auf bislang nur unzureichend rückgewonnene Metalle zielen.



Die Optimierung der Recyclingkette soll eine Rückgewinnung von kritischen Metallen aus Elektronikschrott ermöglichen.

Quelle | © TU Berlin/ Rotter 2001

Eine wichtige Rolle im Gesamtprozess spielen auch Entwicklung und Design der Elektro- und Elektronikgeräte. Deshalb sollen Empfehlungen zum recyclingorientierten Produktdesign spezifisch für Spurenmetalle erarbeitet werden. Nur wenn alle Akteure entlang des Produktlebenszyklus mitspielen, lassen sich Verluste minimieren und Kreisläufe schließen.

27 Co 58,93	31 Ga 69,72	32 Ge 72,61	49 In 114,81	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76
73 Ta 180,94	SELTENE ERDEN				

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Prof. Dr.-Ing. Vera Rotter
TU Berlin
Fachgebiet Abfallwirtschaft
E-Mail | vera.rotter@tu-berlin.de
Internet | www.r3-innovation.de/upgrade

Alles im Fluss

CaF₂

Rückgewinnung von Calciumfluorid als Sekundärrohstoff für die Kunststoffindustrie

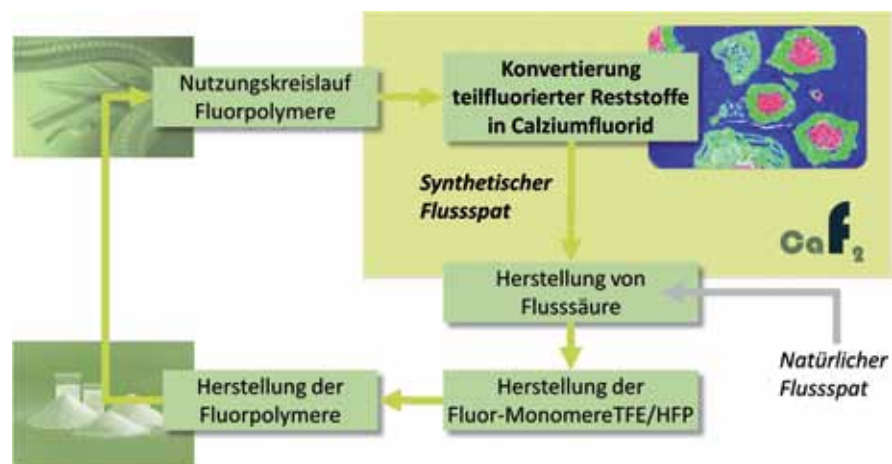
Das Industriemineral Flussspat – Calciumfluorid (CaF₂) – kommt zunehmend bei der Herstellung von Schlüsselprodukten zum Einsatz. So wird Flussspat als Zusatzstoff in Metallschmelzen benötigt sowie zur Produktion von Flusssäure und Kunststoffen wie Polytetrafluorethylen (PTFE), auch bekannt unter dem Handelsnamen Teflon. Was für viele Hightechmetalle gilt, trifft auch auf diesen Rohstoff zu: Deutschland ist von Importen abhängig und die Möglichkeiten Flussspat durch andere Stoffe zu ersetzen, sind äußerst gering.

Ziel des Verbundprojektes CaF₂ ist es, ein neues, leistungsfähiges Verfahren zu entwickeln, um Calciumfluorid aus fluorierten organischen Reststoffströmen kosten- und energieeffizient zu gewinnen. Anschließend kann dieser synthetisch hergestellte Flussspat direkt als Sekundärrohstoff in der Produktion verwendet werden.

In einer ersten Prozessstufe wollen die Forscher fluorhaltige organische Molekülketten (Polymere) und niedermolekulare Reststoffströme durch ein chemisches Syntheseverfahren, das ohne Wärmezufuhr auskommt (autotherme Hochtemperaturkonvertierung), in Kohlendioxid, Flusssäure und Wasser zerlegen. Als potentieller Rücklaufstrom sind dabei in erster Linie teilfluorierte Polymere interessant. In einer zweiten Stufe wird aus den entstandenen Gasmischungen Flussspat synthetisiert. Um eine direkte Verwendung des synthetischen Flussspates zu ermöglichen, muss das Material mit hoher Reinheit und enger Partikelgrößenverteilung vorliegen.

Die Wiedergewinnung des Fluoridanteils als CaF₂ hat mehrere Vorteile. So lässt sich damit nicht nur der immer teurer werdende Flussspat durch eine Sekundärressource kompensieren. Aus Kosten- und Umweltgründen stellt das Recycling auch eine gute Alternative zur Entsorgung fluorierter Reststoffe dar.

Konzept zur Rückgewinnung von Flussspat aus fluorierten organischen Reststoffströmen, die aus Fluorpolymer-haltigen Produkten (Teflon, Goretex-Membranen o. a.) sowohl bei der Herstellung als auch bei der Entsorgung anfallen.
Quelle | © Universität Bayreuth



CaF₂

ZIELMINERAL

Verbundkoordinator

Prof. Dr. Monika Willert-Porada
Universität Bayreuth
E-Mail | monika.willert-porada@uni-bayreuth.de
Internet | www.r3-innovation.de/caf2

Schwermetall aus dem Stahlbad

NickelRück

Rückgewinnung von Nickel aus Prozesswässern der Stahl-Phosphatierung

Die Phosphatierung dient als Oberflächenbehandlung vor allem für Stahl. Indem die Stahlteile in eine wässrige Phosphatlösung getaucht werden, bildet sich eine schwer lösliche Metallphosphatschicht, die verschiedene Schutzfunktionen erfüllt. Bei diesem Prozess wird unter anderem Nickel eingesetzt. Eine Rückgewinnung des Schwermetalls aus dem Phosphatierbad trägt nicht nur dazu bei, Nickelressourcen zu schonen, sondern bietet auch wirtschaftliche Vorteile für den Anlagenbetreiber.

Im Rahmen des Projekts NickelRück wird eine neuartige Technologie zur Rückgewinnung von Nickel aus Prozesswässern der Stahl-Phosphatierung entwickelt und erprobt. Es handelt sich um ein Verfahren, das innovative Membrankontaktoren zur Extraktion und Re-Extraktion einsetzt. Ein Extraktionsmittel nimmt dabei das Wertmetall auf und gibt dieses in einem weiteren Prozessschritt als Konzentrat wieder ab.

Um ihr Ziel zu erreichen, erfassen die Forscher zunächst die Stoffströme an einer Phosphatierungsanlage und wählen ein geeignetes Extraktionsmittel aus. Daraufhin entwickeln sie ein Modell für die Metallerkennung im Membrankontaktor. Anschließend werden konventionelle und neuartige Membranmaterialien untersucht, um den optimalen Kontaktor zur Nickelrückgewinnung zu bestimmen. Während das nickelhaltige Konzentrat möglichst direkt in das Phosphatierbad zurückgeführt wird, kann das gereinigte Prozesswasser erneut genutzt werden oder erfüllt nach der Behandlung die Einleitkriterien für Abwasser. Durch die Kreislauflösung lässt sich der Wasserbedarf minimieren.



Extraktionsanlage zur Rückgewinnung von Wertmetallen aus Prozesswässern der Phosphatierung

Quelle | © Betriebsforschungsinstitut GmbH

Die Entwicklung erfolgt exemplarisch für ein Phosphatierungsverfahren mit Nickel an der Betriebsanlage eines Automobilproduzenten. Das Vorhaben umfasst experimentelle Untersuchungen im Labor sowie die Erprobung des Verfahrensprinzips in Techniks- und Betriebsversuchen. Zum Abschluss soll ein betriebliches Verfahrenskonzept entwickelt werden.



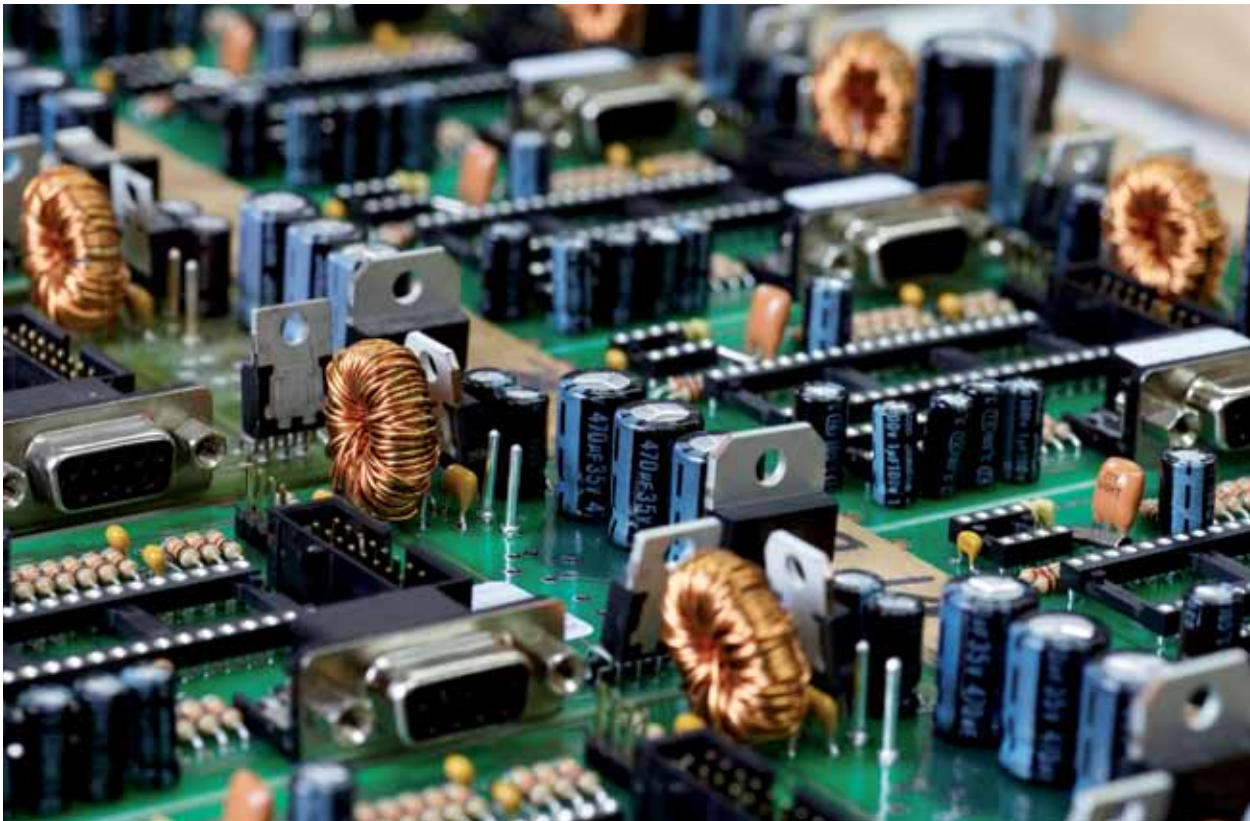
ZIELMETALL

Verbundkoordinator

Dr. Ralf Wolters
VDEh-Betriebsforschungsinstitut
E-Mail | ralf.wolters@bfi.de
Internet | www.r3-innovation.de/nickelrueck

Weniger ist mehr

Substitution und Einsparung von Rohstoffen in Prozessen und neuen Produkten



Der beste Weg, um knappe Ressourcen zu schonen und einem drohenden Engpass entgegenzuwirken, liegt darin, sie gar nicht erst zu verbrauchen. Bei manchen Produkten besteht die Möglichkeit, in ihrer Herstellung weniger strategische Rohstoffe einzusetzen oder sie im Idealfall sogar völlig zu vermeiden. Die Ersatzrohstoffe sollten dafür dieselben Eigenschaften besitzen wie die ursprünglich verwendeten Metalle.

So untersuchen einige r³-Verbundprojekte, ob wertvolle Metalle in Produktionsprozessen, etwa bei der Ledergerbung und der Stahlherstellung, oder in Produkten wie leitfähige Folien vollständig durch andere Rohstoffe ersetzt werden können. Entwickelt und getestet werden aber auch neue Technologien um beispielsweise Seltene Erden in Antrieben von Windkraftanlagen oder Wolfram, Molybdän und Tantal bei der Herstellung von Bauteilen einzusparen.

Mit Baumrinde ans Leder gehen

EcoTan

CO₂-Gerbung – Ressourceneffiziente Nutzung von Chromgerbstoffen durch weitgehende Substitution im Gerbprozess

Die Verwendung von Tierhaut zählt zu den ältesten Abfallverwertungsprojekten der Menschheit. Heute werden weltweit jährlich rund 2.000 Quadratkilometer Leder produziert, bei dessen Gerbung meist Chromsalze zum Einsatz kommen. Dieser Prozess verbraucht nicht nur viel Wasser, es fallen dabei auch große Mengen chrom- und salzbelastete Abwässer an. Die Lederindustrie verwendet jährlich etwa 200.000 Tonnen der weltweiten Chromproduktion, wovon ein Großteil im Leder fixiert wird und etwa 80.000 Tonnen Chromgerbstoffe im Abwasser landen.

Das Fraunhofer-Institut UMSICHT hat ein innovatives Gerbverfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, über 95 Prozent des chromkontaminierten Abwassers und bis zu 50 Prozent des Chromgerbstoffs einzusparen. Außerdem lässt sich damit gegenüber konventionellen Verfahren die Gerbzeit erheblich verkürzen. Das Forschungsvorhaben EcoTan hat das Ziel, dieses neuartige Gerbungsverfahren weiterzuentwickeln.

Eine wichtige Innovation ist die Verwendung von verdichtetem Kohlendioxid für den Gerbprozess. CO₂ hat einen positiven Einfluss auf den Transport der Gerbstoffe in die Haut, wodurch das Leder nahezu abwasserfrei gegerbt werden kann. Das Projekt will einerseits durch Optimierung des entwickelten druckintensivierten Verfahrens den Einsatz von Chrom verringern und andererseits den Chromgerbstoff weitgehend durch pflanzliche Gerbstoffe ersetzen. Diese sollen über Extraktion aus Baumrinde hergestellt und auf ihre Gerbfähigkeit getestet werden. Grundlegende Idee ist dabei die Verwen-



Anlage zur Ledergerbung
Quelle | © Fraunhofer Umsicht

dung heimischer Hölzer als Gerbstofflieferant mit dem Fokus auf schnell wachsenden Holzarten aus Kurzumtriebsplantagen.

Würde man das ressourcenschonende Verfahren flächendeckend einsetzen, könnte man weltweit schätzungsweise 20 Milliarden Liter Abwasser, 160 000 Tonnen Chromgerbstoff und 500 000 Tonnen Salz einsparen.



ZIELMETALL

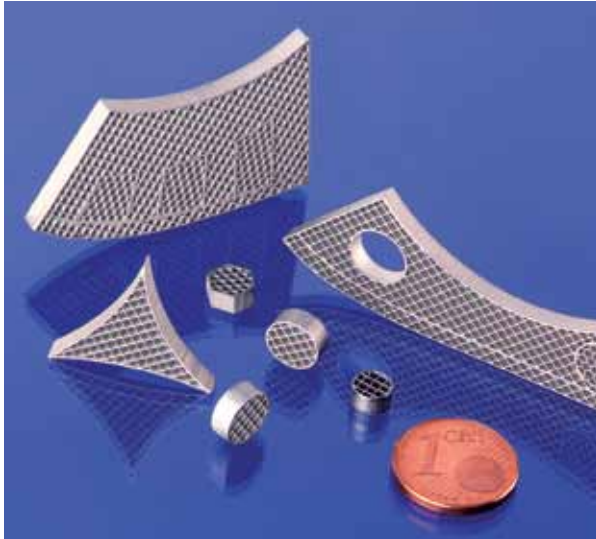
Verbundkoordinator

Manfred Renner
Fraunhofer Institut UMSICHT
E-Mail | manfred.renner@umsicht.fraunhofer.de
Internet | www.r3-innovation.de/ecotan

Bauteile in 3-D-Druck

Innodruck

Einsparung von Refraktärmetallen bei der Herstellung von Bauteilen in der Medizintechnik



Siebdruckelemente für die Herstellung von Bauteilen

Quelle | © Fraunhofer IFAM

Wolfram, Molybdän und Tantal zählen zu den Refraktärmetallen. Diese zeichnen sich aus durch einen hohen Schmelzpunkt sowie hohe Leitfähigkeit für Wärme und elektrischen Strom. Zudem besitzen sie eine geringe Wärmeausdehnung. Diese Eigenschaften sind vorteilhaft für viele technische Anwendungen, so auch in der Medizintechnik.

Im Rahmen des Projekts Innodruck soll eine neue Technologie zur Direktherstellung von komplexen Bauteilen aus Refraktärmetallen entwickelt und getestet werden. Das Verfahren basiert auf dreidimensionalem Siebdruck. Da mit dieser Technologie deutlich weniger Prozessschritte erforderlich sind, lässt sich der Primäreinsatz von Refraktärmetallen erheblich verringern. Gegenüber konventionellen Herstellungsverfahren könnten so bis zu 80 Prozent der wertvollen Metalle eingespart werden.

Darüber hinaus ist aufgrund der endformnahen Fertigung keine mechanische Nachbearbeitung mehr nötig. Somit entfällt auch das Recycling der dabei bisher entstehenden Abfälle. Ein zusätzlicher Beitrag zum Umweltschutz, da die Aufbereitung von Refraktärmetallen sehr energieintensiv ist und spezielle Umweltschutzmaßnahmen verlangt. Mit dem dreidimensionalen Siebdruck ist es außerdem möglich, auch neue, funktionsoptimierte Strukturen darzustellen, die mit den derzeit existierenden Herstellungsverfahren nicht realisierbar sind.

In dem Projekt sollen Demonstratoren für die Medizintechnik aus Wolfram-, Molybdän- und gegebenenfalls Tantallegierungen entwickelt werden. Geplant sind hier Kollimatoren für die Computertomographie. Dies sind Bauteile, die zur Unterdrückung von Streustrahlung dienen. Zusätzlich zur Ressourceneinsparung sollen sie eine höhere Auflösung und damit größere Genauigkeit bei der Diagnose ermöglichen.

42 Mo	73 Ta	74 Wo
95,94	180,94	183,84

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Dipl.-Ing. Guido Stiebritz
H.C. Starck Hermsdorf GmbH
E-Mail | guido.stiebritz@hcstarck.com
Internet | www.r3-innovation.de/innodruck

Seltene Erden nicht in den Wind schreiben

PitchER

Einsparung von Seltenen Erden in Windenergieanlagen durch magnetlosen Pitchantrieb

In Motoren von Windenergieanlagen kommen Permanentmagnete zum Einsatz, in denen die Seltenen Erden Neodym, Terbium und Dysprosium enthalten sind. Durch den Verzicht auf Permanentmagnete in den Stellantrieben der Windkraftanlagen lassen sich die dafür benötigten Seltenen Erden einsparen.

Das Projekt PitchER will ein neues Antriebssystem für die Verstellung des Pitchwinkels, also des Einstellwinkels der Rotorblätter zum Wind, entwickeln, das ohne Permanentmagnete auskommt. Der neuartige Antrieb (Transversalfluss-Reluktanzmaschine) soll eine ebenso hohe Kraftdichte erreichen, wie die mit Magneten betriebenen Motoren. Bei diesem Antrieb entfallen überdies die Wickelköpfe im Motor, so dass Kupfer eingespart wird.

Ein Schwerpunkt des Vorhabens liegt außerdem darin, die Zuverlässigkeit des Motor-Umrichter-Systems zu erhöhen und damit seine Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Erreicht wird dies durch mehrere, voneinander entkoppelte Wicklungen. Sie stellen sicher, dass der Betrieb auch dann aufrechterhalten wird, wenn in einem einzelnen Strang ein Fehler auftritt. Zusätzlich soll eine spezielle Ausführung des Umrichters dazu beitragen, dass das Antriebssystem auf Fehler reagiert und langfristig zuverlässig arbeitet. Auf diese Weise kann der Markteintritt für die neue Maschinenkonstruktion erleichtert werden.



Neue Antriebssysteme für Windenergieanlagen sollen weniger Seltene Erdelemente enthalten.
Quelle | © Universität Bremen_IALB

29 Cu 63,55	60 Nd 144,24	65 Tb 158,93	66 Dy 162,5	WEITERE SELTENE ERDEN
--------------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------	-----------------------

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Prof. Dr.-Ing. Bernd Orlik
Universität Bremen | Institut für elektrische Antriebe, Leistungselektronik und Bauelemente
E-Mail | b.orlik@ialb.uni-bremen.de
Internet | www.r3-innovation.de/pitcher

Zinn für Zukunftstechnologien

SubITO

Substitution von Zinn-dotiertem Indiumoxid (ITO) durch Fluor-dotiertes Zinndioxid (FTO) zur Herstellung von leitfähigen transparenten Polymerfolien

Indium findet heutzutage vielfach Anwendung in Displays, Touchscreens, LEDs und Solarzellen. Dort wird es insbesondere in Form von Indium-Zinnoxid (ITO) in transparenten und leitfähigen Beschichtungen, sogenannten Dünnschichtbeschichtungen eingesetzt. Aufgrund der Knappheit von Indium besteht die Gefahr, dass dieser Rohstoff zum Engpass für die Weiterentwicklung von Zukunftstechnologien wird.

Das Verbundprojekt SubITO hat das Ziel, durch Substitution von Indium die Ressourcen des seltenen Schwermetalls zu schonen. Dazu wollen die Forscher Technologien für die Herstellung von Polymerfolien mit transparenter leitfähiger Beschichtung entwickeln, die auf Fluor-dotiertem Zinndioxid (FTO) basieren. Ein solches Material ist bisher nicht verfügbar, hat aber das Potenzial, ITO-beschichtete Folien in verschiedenen Anwendungen zu ersetzen.

Da die Abscheidung von FTO nur bei Temperaturen von über 350 °C möglich ist, kann es nicht direkt auf die Polymerfolien appliziert werden. Stattdessen muss die Beschichtung in einem speziellen Transfervorgang erfolgen. Dafür sind geeignete Wege, Substrate und Polymerfolien für den Schichttransfer zu entwickeln.

Für die Demonstration und Evaluierung werden verschiedene Anwendungsdemonstratoren hergestellt. Abschließend ist die Entwicklung eines Anlagenkonzeptes für das Umsetzen der Prozessschritte geplant. Das Vorhaben bindet Forschungsinstitute, Unternehmen sowie potenzielle Endanwender der FTO-Folien ein.



Beschichtungen auf Basis von Fluor-dotiertem Zinndioxid (FTO) sollen den Indium-Zinnoxid (ITO) Einsatz in Dünnschichtbeschichtungen zukünftig überflüssig machen
Quelle | © Andrea Klausch TU Dresden



ZIELMETALL

Verbundkoordinator

Dr. Holger Althues
Fraunhofer IWS
E-Mail | holger.althues@iws.fraunhofer.de
Internet | www.r3-innovation.de/subito

Gießen ohne Magnesium

SubMag

Alternatives Entschwefelungsverfahren in der Gießereiindustrie zur Substitution von Magnesium

In Gießereien wird für die Entschwefelung der Gusseisenschmelzen Magnesium verwendet, allerdings in einer Form, die nicht mehr recycelt werden kann. Da Magnesium zu den strategischen Rohstoffen mit einem erhöhten Versorgungsrisiko gehört, ist es wichtig dieses Metall in der Gießereiindustrie durch andere Elemente und Verbindungen zu ersetzen. Die Entschwefelung mit Kalk ist aus der Stahlindustrie vom Prinzip her bekannt. Aufgrund der unterschiedlichen Prozessbedingungen lässt sich das Verfahren jedoch nicht einfach in der Gießereiindustrie übertragen.

Im Projekt SubMag soll ein neues Verfahren für die Entschwefelung von Gusseisenschmelzen entwickelt werden mit dem Ziel, das Magnesium durch Kalkmischungen auf der Basis von Calciumoxid (CaO) zu substituieren. Gleichzeitig wollen die Forscher geeignete Methoden entwickeln, um das alternative Entschwefelungsmittel der Schmelze zuzugeben.

Im Rahmen des Projekts werden spezielle Kalkmischungen in definierter Zusammensetzung und Stückigkeit erzeugt und unter Labor- und Technikumsbedingungen getestet. Nachdem das Verfahren auf den betrieblichen Einsatz hin optimiert worden ist, soll es in einer Eisengießerei erprobt werden. Nun kommt es darauf an, dass die Schmelzen in der zur Verfügung stehenden Zeit entschwefelt werden können und die fertigen Gussprodukte die geforderten Werkstoffeigenschaften aufweisen. Nach Umstellung auf das kalkbasierte Entschwefelungsverfahren muss eine gleichbleibende Gussteilqualität gewährleistet sein.



Abstich von Gusseisenschmelzen,
für die zur Entschwefelung Magnesium
benötigt wird

Quelle | © Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG



ZIELMETALL

Verbundkoordinator

Prof. Dr. Rüdiger Deike
Universität Duisburg-Essen
Institut für Metallurgie und Umformtechnik
E-Mail | ruediger.deike@uni-due.de
Internet | www.r3-innovation.de/submag

Wertvolles auf Lager

Rückgewinnung von Rohstoffen aus anthropogenen Lagerstätten durch Urban Mining



Deponien und Bergbauhalden, aber auch alte Industrieanlagen und Gebäude sind Fundgruben für strategische Metalle, Mineralien und weitere Wertstoffe. Um sie nutzen zu können, muss man zunächst wissen, wo solche Stoffe überhaupt zu finden sind. Dann werden innovative Technologien und wirtschaftlich tragfähige Konzepte benötigt, um aus den von Menschen gebildeten Lagerstätten die begehrten Stoffe zurückzugewinnen.

Mit diesen Themen beschäftigen sich auf dem Gebiet Urban Mining zahlreiche r³-Verbundprojekte, deren Forschungsarbeiten sich auf Deponien, Bergbauhalden, Verbrennungsrückstände und Abrissgebäude konzentrieren. Dabei haben die Forscher das Ziel, die dort gelagerten Wertstoffe möglichst effizient zu gewinnen und zu verwerten.

So arbeiten drei Verbundprojekte im sogenannten „Haldencluster“ eng zusammen, um ein deutschlandweites Ressourcenkataster für Bergbau- und Hüttenhalden zu erstellen. Die Gewinnung der Metalle und Mineralien wird mit neuen Aufschluss- und Aufbereitungsverfahren getestet. Dabei kommen sowohl physikalische, chemische und biologische Methoden zum Einsatz.

Einige Verbundprojekte befassen sich generell mit der Rückgewinnung von Metallen aus Aschen, Schlacken und Schlämmen, andere mit einem sicheren Rückbau von Altdeponien bei gleichzeitiger Rückgewinnung von Wertstoffen. Darüber hinaus werden in anderen r³-Verbundprojekten auch Baustoffe und Gebäude als potenzielle Rohstoffquelle untersucht und Methoden für einen ressourceneffizienten Abriss von Gebäuden entwickelt.

Schätze aus der Asche

ATR

Gewinnung von Metallen aus Rückständen thermischer Prozesse

Bei der Müllverbrennung werden heute Fernwärme und Strom erzeugt. Dabei fällt als Reststoff neben Flugasche vor allem die sogenannte Rostasche an, aus der man einen Großteil der mineralischen und metallischen Rohstoffe recycelt. Die Abtrennung von Metallen erfolgt meist mit Magnet- und Wirbelstromscheidern. Von den etwa zehn Prozent der in der Rostasche enthaltenen Metalle lassen sich so circa acht Prozent zurückgewinnen. Dabei handelt es sich vor allem um Eisen, aber auch um Aluminium und Kupfer. Recycelt werden aktuell überwiegend die Grobanteile, während die Feinfraktion weitgehend unberücksichtigt bleibt.

Das Projekt ATR entwickelt und erprobt ein innovatives mehrstufiges Aufschluss-, Trennungs- und Rückgewinnungsverfahren (ATR), um auch den Feinanteil für das Recycling zu nutzen. Weil die Metalle hier nicht ausschließlich in metallischer, sondern auch in chemisch gebundener Form vorliegen, erfordert die Aufbereitung neue Verfahren.

Auf der Deponie Damsdorf bei Hamburg entsteht eine großtechnische Pilotanlage mit mehreren mechanischen Aufbereitungsschritten, unter anderem mit der sogenannten Prallzerkleinerung. Dabei wird die Asche stark beschleunigt und auf ein Prallblech geschleudert, so dass mineralische Anhaftungen abgesprengt und Metallpartikel freigelegt werden. Um diese dann aus dem Gemisch abzutrennen, testen die



Schlacke und Aschereste thermischer Prozesse als Ausgangsmaterial für die Metallerückgewinnung
Quelle | © Stefan Lübben/ Stadtreinigung Hamburg

Projektpartner unterschiedliche Sortierverfahren, bei denen sowohl mechanische, physikalisch-chemische als auch biologische Verfahren zum Einsatz kommen.

Die Anlage wird vornehmlich mit Asche von der Hamburger und der Berliner Stadtreinigung beschickt. Zudem wird bereits gealterte und abgelagerte Rostasche aufbereitet, um das Potential von deponierten Aschen abzuschätzen. Weiterhin ist vorgesehen, die einzelnen Verfahrensschritte zu bewerten und Verwertungsmöglichkeiten der gewonnenen Metalle zu testen.

NE-METALLE	¹³ Al	²⁹ Cu	³⁰ Zn	⁸² Pb
	26,98	63,55	65,39	207,2

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Dr. Olaf Holm
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
E-Mail | Olaf.Holm@bam.de
Internet | www.r3-innovation.de/atr

Mehrwert bei der Energieerzeugung

Kraftwerksasche

Gewinnung von Wertstoffen aus Kraftwerksasche



Braunkohle-Kraftwerksasche als Ausgangsmaterial zur Gewinnung von strategischen Metallen, Spurenelementen und Seltenen Erden
Quelle | © G.E.O.S. GmbH

Aschen aus Braunkohlen bergen ein beachtliches Potenzial an industriell benötigten Rohstoffen. So finden sich in den Verbrennungsrückständen finden sich strategische Metalle ebenso wie Spurenelemente und Seltene Erden. Sowohl aus dem bereits deponierten als auch dem aktuell anfallenden Material lassen sich wertvolle Rohstoffe zurückgewinnen.

Das Projekt Kraftwerksasche hat sich zum Ziel gesetzt, Wertstoffe aus Braunkohleaschen zu gewinnen. Dabei streben die Forscher eine möglichst ganzheitliche Verwertung der Verbrennungsrückstände an. Um das Wertstoffpotenzial der in Deutschland verfügbaren Kraftwerksaschen abzuschätzen zu können, sollen die anfallende Menge sowie die vorhandenen Deponien erfasst werden.

Um die enthaltenen Wertstoffe gezielt anzureichern und zu konzentrieren, kommen verschiedene moderne Aufbereitungstechnologien zum Einsatz. Beginnend mit Verfahren der Feinstkornsartierung wird eine Anreicherung von Wertmetallen angestrebt. Chemische und biotechnologische Laugungsprozesse dienen dazu, die vorangereicherten Elemente zu extrahieren und abzutrennen. Aus der Kombination dieser Verfahrensstufen soll eine neue Methode entwickelt werden, mit der sich Wertstoffe aus der Asche effizient gewinnen lassen.

Die im Projekt untersuchten Gewinnungsverfahren werden abschließend nach ökonomischen Gesichtspunkten bewertet. Zudem wollen die Partner prüfen, in welchen Industriebereichen sich die gewonnenen Konzentrate verwerten lassen.



ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Dr. Eberhard Janneck
G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
E-Mail | e.janneck@geosfreiberg.de
Internet | www.r3-innovation.de/kraftwerksasche

Reiche Ernte aus Pflanzenrückständen

PhytoGerm

Germaniumgewinnung aus Biomasse

Germanium kommt in vielen Hightechprodukten zum Einsatz, was zu einer ständig wachsenden Nachfrage nach dem Halbleitermetall führt. Zwar ist das Element weit verbreitet, in der Erdkruste aber nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden. Aus diesem Grund ist ein wirtschaftlicher bergmännischer Abbau kaum möglich. Einige Pflanzen nehmen jedoch Germanium aus dem Boden auf und reichern es an. Hierin könnte die Chance bestehen, den wichtigen Rohstoff auf ökonomische Weise gewinnbar zu machen – mit Hilfe eines Verfahrens, das man als Phytomining bezeichnet.

Das Projekt PhytoGerm hat die Zielsetzung, Germanium aus Pflanzen zu gewinnen. Das Element soll aus den Reststoffen extrahiert werden, die bei der Biomassenverwertung, vor allem in der Biogasproduktion, anfallen. In einem ersten Schritt werden Pflanzen bestimmt, die das Germanium am besten anreichern. Dann wird untersucht, wie dieser Prozess hinsichtlich der Akkumulationsrate zu optimieren ist. Schließlich wollen die Forscher ein Verfahren entwickeln, um den im Erntegut angereicherten Wertstoff möglichst effizient zu extrahieren. Dafür bieten sich Rückstände aus der Biogasproduktion, Gärreste sowie Aschen und Rauchgase aus thermisch verwerteter Biomasse an. Die Idee ist, das Germanium abzutrennen bevor diese Stoffe wieder aufs Feld ausgebracht werden. Perspektivisch sollen durch eine Nachbereitung auch Schwermetalle wie Nickel und Cadmium aus den Resten und somit aus dem landwirtschaftlichen Kreislauf abgereichert werden.



Versuche zur Anreicherung von Germanium in Pflanzen
Quelle | © Oliver Wiche

Mit der Nutzung von nur einem Prozent der in Deutschland geernteten Biomasse und einem durchschnittlichen Gehalt von 100 ppm im Erntegut wären jährlich schon 150 Tonnen Germanium zu erschließen. Zum Vergleich: 2009 wurden weltweit nur 140 Tonnen produziert.



ZIELMETALL

Verbundkoordinator

Prof. Hermann Heilmeier
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Biowissenschaften
E-Mail | hermann.heilmeier@ioez.tu-freiberg.de
Internet | www.r3-innovation.de/phyto germ

Gute Behandlung zahlt sich aus

Rotschlamm

Rückgewinnung von Sonder-Aluminiumhydroxiden, Gallium und anderen Technologiemetallen aus Rotschlamm

Bei der Herstellung von einer Tonne Aluminium fällt als Abfallprodukt die zwei- bis dreifache Menge Rotschlamm an. Weltweit sind das etwa 40 Millionen Tonnen pro Jahr. Der rote Schlamm besteht hauptsächlich aus einem Gemenge von Eisen-, Aluminium- und Titanoxiden sowie Natronlauge. Er enthält aber auch wertvolle Rohstoffe wie Gallium und andere Technologiemetalle. Meist wird der Schlamm in abgedichteten Deponien eingelagert, bis sich die fein verteilten Feststoffe abgesetzt haben. Die austretende Natronlauge wird wiederverwertet. Häufig landet der giftige Stoff aber auch in Flüssen oder direkt im Meer.



Aus Rotschlamm lassen sich hochwertiges Aluminiumhydroxid, Gallium und Eisen extrahieren
Quelle | © REMONDIS GmbH

Im Projekt Rotschlamm soll ein Prozess zur Behandlung des Abfallstoffs entwickelt werden, um daraus Aluminiumhydroxid und möglichst auch das wirtschaftsstrategisch wichtige Gallium zu gewinnen. Ein weiteres Ziel ist, aus dem Schlamm Eisen zu erzeugen und den mineralischen Rückstand für die Baustoffindustrie aufzubereiten. Durch die Kombination verschiedener Verfahren soll das vorhandene Rohstoffpotenzial voll ausgeschöpft werden. Damit könnte man künftig nicht nur Deponien vermeiden, sondern durch Rückbau alter Lagerstätten die von ihnen ausgehenden Umweltbelastungen reduzieren.

Die Planung sieht vor, das Material zunächst in einem speziellen Drucklaugungsverfahren aufzuarbeiten, um Aluminiumhydroxid zu gewinnen. Die wertvollen Technologiemetalle sollen dann extrahiert und anschließend in einem Elektroofen der eisenreiche Laugungsrückstand aufgeschmolzen bzw. reduziert werden. Die Entwicklung des Verfahrens erfolgt erst einmal im Labormaßstab. Basierend auf den Ergebnissen wird anschließend eine Pilotanlage konzipiert und errichtet.

Zum Abschluss wollen die Verbundpartner das Gewinnungsverfahren im Hinblick auf Ressourcen- und Energieeffizienz sowie Umweltnutzen bewerten. Darüber hinaus sollen Aussagen zur Wirtschaftlichkeit und Übertragbarkeit in die Wirtschaft getroffen werden.

13 Al 26,98	26 Fe 55,84	31 Ga 69,72	MINERALISCHE BAUSTOFFE
ZIELMETALLE			

Verbundkoordinator

Dipl.-Ing. Bernd Jaspert
Remondis Production GmbH
E-Mail | bernd.jaspert@remondis.de
Internet | www.r3-innovation.de/rotschlamm

Abfallberge sicher versetzen

TönsLM

Rückgewinnung von Wertstoffen aus Siedlungsabfall- und Schlackedeponien

Über Jahrzehnte wurden nicht vorbehandelte Siedlungsabfälle und Schlacken in Deponien abgelagert. Die Mülldeponien enthalten daher große Mengen an Wertstoffen. Gleichzeitig stellen sie eine Gefahr für die Umwelt dar, weil häufig Sickerwasser und Gase unkontrolliert entweichen. Hierzu ist eine aufwendige Nachsorge mit hohem finanziellen Aufwand für die Deponien über sehr lange Zeiträume notwendig. Durch einen Rückbau können Rohstoffe wiedergewonnen, schädliche Umweltbeeinflussungen reduziert und langfristig Kosten eingespart werden. Zudem wäre eine neue Nutzung der geräumten Flächen möglich.

Im Projekt TönsLM beschäftigt sich das Team aus Industrie- und Hochschulpartnern mit dem Rückbau bestehender Siedlungsabfall- und Schlackendeponien. Als Forschungsgegenstand dienen die Deponie des Entsorgungszentrums des Kreises Minden-Lübbecke sowie eine Schlackedeponie in Hessen. Im Zentrum steht die Entwicklung innovativer Technologien zur Aufbereitung der Abfälle und Rückgewinnung der enthaltenen Ressourcen. Zum Einsatz kommen mechanische, thermische, chemische und biologische Aufbereitungsverfahren.

Weiterhin soll ein Leitfaden zum geordneten Rückbau von Deponien erarbeitet werden, der ökologische und ökonomische Aspekte einbezieht. Zu klären ist unter anderem, ob Rückbau und Verwertung wirtschaftlicher und umweltfreundlicher sind als etwa Nachsorgekonzepte. Zu diesem Zweck wird eine Ökobilanz für derartige Vorhaben erstellt, ihre Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz untersucht. Auch soll geprüft werden, welchen Beitrag Altdeponien für die Rohstoffversorgung liefern können.



Auf der Deponie des Abfallentsorgungsbetriebes des Kreises Minden-Lübbecke werden in mehreren Schürfen Proben genommen.

Quelle | © Abfallentsorgungsbetrieb Kreis Minden-Lübbecke



Verbundkoordinator

Dr. Michael Krüger
Tönsmeier Dienstleistung GmbH & Co. KG
E-Mail | krueger@toensmeier.de
Internet | www.r3-innovation.de/toenslm

Gut sortiert ist halb gewonnen

VeMRec

Verlustminimiertes Metallrecycling aus Müllverbrennungsaschen durch sensorgestützte Sortierung

Müllverbrennungsasche ist eine lokal verfügbare Rohstoffquelle für Nichteisenmetalle (NE-Metalle), die nur in Teilen ausgeschöpft wird. Eine bessere Nutzung solcher anthropogenen Wertstoffquellen kann dazu beitragen, die deutsche Industrie mit wichtigen Technologiemetallen zu versorgen. Außerdem birgt das Recycling der NE-Metalle Einsparpotenziale bezüglich Energie und CO₂.

Ziel des Projektes VeMRec ist es, die Rückgewinnung von NE-Metallen aus der Müllverbrennungsros-tasche zu optimieren. Hierzu will das Forscherteam alle Stufen der Wertschöpfungskette betrachten – von der mechanischen Aufbereitung über metallurgische Prozesse bis zum verhüttungsfähigen Produkt.

Teil der Aufgabenstellung ist die Entwicklung einer innovativen Verfahrenskombination. Moderne mechanische Aufbereitungstechnik soll weiterentwickelt und mit den nachfolgenden metallurgischen Verfahren verknüpft werden. Als Ausgangsmaterial dienen die festen Rückstände aus drei verschiedenen Müllverbrennungsanlagen. Nach Abtrennung eines NE-Metallkonzentrates in einer schon bestehenden Anlage wird dieses in einer Pilotanlage weiter behandelt.

Die Intention liegt darin, möglichst optimale Vorstoffe für das anschließende Metallrecycling zu erzeugen. Neben Klassier- und Fördertechnik sowie einer Zerkleinerungsstufe kommt eine sensorge-



In der VeMRec-Versuchsanlage werden NE-Metalle aus Müllverbrennungsaschen weiter aufbereitet.
Quelle | © MAV GmbH

stützte Sortiereinheit basierend auf Röntgentransmission zum Einsatz. Im labortechnischen Maßstab werden die erzeugten Vorstoffe hinsichtlich ihrer Schrottqualität untersucht und mögliche Prozessschritte sowie -fenster für ihr pyrometallurgisches Recycling vordefiniert. Anschließend wird der Maßstab in den Demonstrationsmaßstab vergrößert, um die industrielle Anwendbarkeit vorherzubestimmen und absatzfähige Hüttenprodukte zu gewährleisten.

Außer aktuell anfallender Rostasche wird auch bereits abgelagerte Asche untersucht. Die in dem Vorhaben weiterentwickelte sensorgestützte Sortiertechnik ist teilweise auf andere Materialien und Branchen übertragbar.

13 Al 26,98	29 Cu 63,55	30 Zn 65,39
VERGESELLSCHAFTETE ELEMENTE GERINGER KONZENTRATION		
ZIELMETALLE		

Verbundkoordinator

Dr.-Ing. Andreas Bechmann
MAV GmbH
E-Mail | andreas.bechmann@mav-gmbh.com
Internet | www.r3-innovation.de/vemrec

Aufheben für später

ZwiPhos

Zwischenlagerung von Klärschlammaschen zur späteren Phosphorrückgewinnung

In Deutschland fallen bei der Monoverbrennung hauptsächlich kommunaler Klärschlämme jährlich etwa 220.000 Tonnen Klärschlammasche an, die rund 13.000 Tonnen Phosphor enthalten. Phosphor ist als Dünger in der Landwirtschaft unersetzlich. Bei der Phosphorversorgung gibt es gegenwärtig noch keinen Engpass; wenn aber in Zukunft die Preise aufgrund sinkender Phosphatreserven steigen, können die Klärschlammaschen als Phosphor-Rohstoffquelle dienen. Dafür ist eine separate Lagerung der phosphorhaltigen Klärschlammaschen anzustreben, die derzeit jedoch kaum erfolgt.

Das Projekt ZwiPhos erarbeitet ein technisches und organisatorisches Konzept für die Lagerung von Klärschlammmonoverbrennungsaschen. Es geht dabei um Rückstände aus thermischen Prozessen, bei denen ausschließlich Klärschlamm verbrannt wird. Ziel ist es, eine spätere Rückgewinnung des Phosphors aus den mit anderen Abfallströmen unvermischten Aschen zu ermöglichen.

Zunächst werden die Klärschlammaschen auf ihr Wert- und Schadstoffpotenzial hin analysiert, sowie die mechanischen Eigenschaften ermittelt. Weiterhin erfolgt die Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen. Im Anschluss werden die technischen Anforderungen an die Lagerung festgelegt. Die Ergebnisse bilden die Basis für ein Planungsbeispiel auf der Kläranlage Bottrop. Die Projektpartner prüfen, ob die dortige Lagerung am Standort zweier vor-



Die phosphorhaltigen Klärschlammaschen stammen aus Monoverbrennungsanlagen

Quelle | © Jochen Durchleuchter, Emschergenossenschaft

handener Schlammbecken realisiert werden könnte. Dabei klären sie Fragen zur Abdichtung und zum Umgang mit anfallendem Sickerwasser.

Im letzten Baustein des Projektes wird ein Lagerungskonzept für Deutschland erarbeitet. Es soll aufzeigen, wo Möglichkeiten der Lagerung bestehen und wie ein zukünftiges Asche- und Phosphorrecyclingmanagement ausgestaltet werden kann.



ZIELMETALL

Verbundkoordinator

Prof. Dr. Johannes Pinnekamp
Technische Hochschule Aachen
Institut für Siedlungswasserwirtschaft
E-Mail | pinnekamp@isa.rwth-aachen.de
Internet | www.r3-innovation.de/zwiphos

Metallressourcen im Schlamm

UrbanNickel

Rückgewinnung und Wiederverwertung von Nickel aus deponierten Neutralisationsschlämmen der Edelstahlindustrie

Ein wichtiger Schritt bei der Herstellung von Edelstahl ist das Reinigen der Oberfläche. Um die in Walz- und Glühprozessen gebildeten Zunderschichten zu entfernen, wird der Stahl mit einer Mischung aus Fluss- und Salpetersäure gebeizt. Die verbrauchte Beizsäure neutralisiert man zumeist und deponiert den dabei entstehenden Neutralisationsschlamm. Dadurch fallen deutschlandweit jährlich mehrere tausend Tonnen nickelhaltiger Schlämme an. Weil sich die zeitgerechte Beschaffung von Nickel auf internationalen Rohstoffmärkten oft als schwierig erweist, ist es sinnvoll, eigene Ressourcen auszuschöpfen.

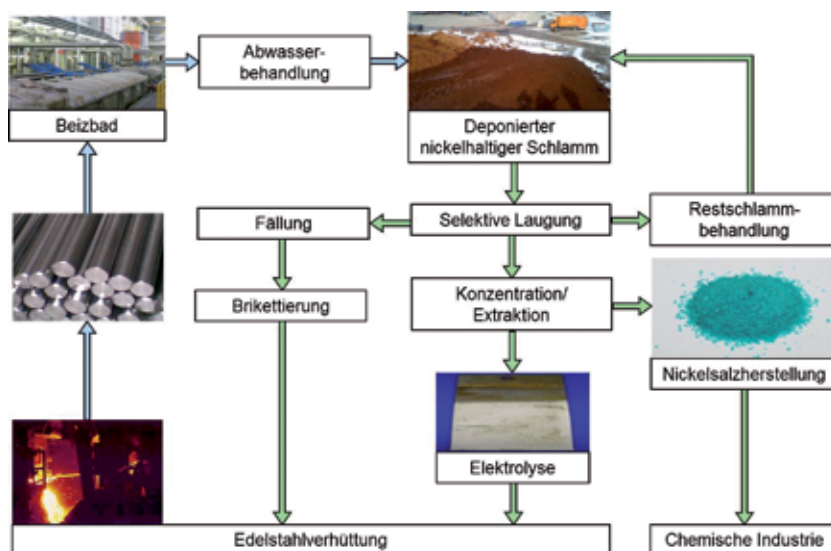
Das Verbundvorhaben UrbanNickel hat das Ziel, Nickel aus den deponierten Neutralisationsschlämmen zurückzugewinnen und wiederzuverwerten. Hierzu werden verschiedene Recyclingwege untersucht: Brikettierung, Nickelsalzherstellung und elektrolytische Abscheidung.



Deponierte Neutralisationsschlämme aus der Stahlindustrie
Quelle | © VDEh Betriebsforschungsinstitut Düsseldorf

Zunächst lösen die Forscher das Schwermetall über eine Laugung aus dem Schlamm. Bei der nachfolgenden Restschlammbehandlung soll die nickelhaltige Lösung möglichst vollständig abgetrennt werden. Anschließend trennen sich die Wege: Ein Verfahren sieht vor, das Nickel als Nickelhydroxid auszufällen und zu brikettieren. In einem anderen Verfahren wird die Lösung weiter aufkonzentriert und durch elektrolytische Abscheidung das Nickel gewonnen oder durch Extraktion Nickelsalz hergestellt.

Im Projekt wird weiterhin untersucht, ob Nickel in einem Schmelzprozess verwertet werden kann. Außerdem ist ein Kataster zur Deponiesituation geplant.



Fließschema zur Nickelrückgewinnung aus deponierten Neutralisationsschlämmen der Edelstahlindustrie
Quelle | © VDEh Betriebsforschungsinstitut Düsseldorf



ZIELMETALL

Verbundkoordinator

Dr. Hans-Dieter Dörner
Siegfried Jacob Metallwerke GmbH & Co. KG
E-Mail | h.doerner@jacob-metall.de
Internet | www.r3-innovation.de/urbannickel

Landkarte der schlummernden Ressourcen

REStrateGIS

Bundesweites Ressourcenkataster für Hüttenhalden durch Einsatz von Geoinformationstechnologien und Strategien zur Wiedergewinnung von Wertstoffen

Hüttenhalden sind Lagerstätten für Mineralien und Metalle. Sie bergen Reststoffe wie Stäube, Schlämme, nicht verwertete Schlacken und andere Überreste aus der Roheisen- und Stahlerzeugung. Eine Nutzung der dort schlummernden Ressourcen kann Rohstoffimporte reduzieren. Dafür werden aber umfassende Daten über die genauen Wertstoffpotenziale der Halden sowie neue Konzepte zur Rückgewinnung der Wertstoffe benötigt.

Ziel des Forschungsprojekts REStrateGIS ist es, die Wertstoffvorkommen in Deutschland aufzuzeigen. Dazu soll ein multiskalares Ressourcenkataster für Hüttenhalden entstehen. In einem Übersichtskataster werden Daten aus behördlichen Archiven und weiteren Quellen zusammengestellt. Die Ergebnisse wollen die Forscher online in einer interaktiven Karte präsentieren. In einer regionalen Komponente werden Daten zu einem konkreten Haldenstandort detailliert erfasst.

In zwei Testregionen sollen innovative Methoden der Fernerkundung entwickelt werden, um Halden aufzuspüren. Informationen zu Lage, Größe und Herkunft der Materialien werden in einem Geoinformationssystem (GIS) modelliert. Geplant ist weiterhin, das abgelagerte Material zu untersuchen und die Ergebnisse mit dem 3-D-Modell der Halde im GIS zu verknüpfen. Zur Charakterisierung der Haldenbestandteile wendet man unterschiedliche



Solche Hüttenhalden sollen mit Fernerkundungsmethoden in einem GIS gestützten Ressourcenkataster erfasst werden
Quelle | © Michael Jandewerth

Methoden an, zu denen auch eine flugzeuggestützte Hyperspektralbefliegung zählt. Mit einer speziellen Sensortechnik lassen sich dabei Bilder aufzeichnen, deren Auswertung erste Rückschlüsse zur Differenzierung der Materialien zulassen.

Auf der Grundlage dieser Daten und Informationen sollen – basierend auf chemischen und pyrometallurgischen Laborversuchen – neue Verfahren zur Wertstoffrückgewinnung entwickelt werden.



ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Michael Jandewerth
Fraunhofer UMSICHT
E-Mail | michael.jandewerth@umsicht.fraunhofer.de
Internet | www.r3-innovation.de/restrategis

Haldenrecycling im Harz

ROBEHA

Rückgewinnung von Wertstoffen aus Berge- und Hüttenhalden des Westharzes

Schon im Mittelalter begründeten Silber-, Blei-, Kupfer- und Eisenerze im Harz ein umfangreiches Montanwesen. Bergbau und Hüttenbetriebe hinterließen unzählige Halden aus taubem Gestein und minderwertigem Erz, Schlacken, Stäuben und Schlämmen. In den Ablagerungen verbergen sich wertvolle metallische Rohstoffe, die aber gleichzeitig auch ein hohes Gefährdungspotenzial für Wasser und Böden darstellen. Die Entscheidung für eine Aufbereitung ist deshalb nicht nur aus rohstoffwirtschaftlicher Sicht, sondern auch aus Umweltgesichtspunkten zu treffen. Sie erfordert ausreichend belastbare Daten über die vorhandenen Metalle und die Randbedingungen der Halden.

Das Projekt ROBEHA untersucht, ob sich die bisher ungenutzten Reststoffe der Bergbauhalden im Harz nachhaltig aufbereiten und verwerten lassen und gleichzeitig die Umweltqualität verbessert werden kann. Zunächst werden Haldentypen identifiziert und dann das Rohstoffpotenzial der Berge-, Aufbereitungs- und Schlackehalden bewertet. Dazu wollen die Forscher eine schnelle Methode entwickeln, um die Mineralbestände in allen Phasen bis zum Feinkorn zuverlässig zu bestimmen. Mit neuen Konzepten und Verfahren sollen dann Aufbereitung und Rückbau optimiert werden, um die Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Nachhaltigkeit bei der nachträglichen Rohstoffgewinnung zu erhöhen. Ziel ist es, die metallhaltigen Rohstoffe und gleichzeitig



Haldenböschung im Westharz

Quelle | © C. Poggendorf

auch die mineralischen Reststoffe möglichst vollständig zu verwerten.

Die Ergebnisse werden in einem Haldenressourcenkataster und einem Methodenhandbuch dokumentiert. Abschließend ist eine Gesamtbilanz geplant, die Nutzen und Nachteile der Aufbereitung bewertet. Dabei zählen nicht nur wirtschaftliche Aspekte. Neben der finanziellen Rentabilität geht es im Sinne der Nachhaltigkeit auch um Umweltauswirkungen und gesellschaftliche Konsequenzen.

23 V 50,94	24 Cr 51,996	27 Co 58,93	28 Ni 58,69	29 Cu 63,55	30 Zn 65,39
31 Ga 69,72	34 Se 78,96	37 Rb 85,46	38 Sr 87,62	42 Mo 95,94	49 In 114,81
51 Sb 121,76	56 Ba 137,32	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98		

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Christian Poggendorf
Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH
E-Mail | c.poggendorf@burmeier-ingenieure.de
Internet | www.r3-innovation.de/robeha

Detektivarbeit im Erzgebirge

SMSB

Gewinnung strategischer Metalle und anderer Mineralien aus sächsischen Bergbauhalden

Im Erzgebirge wurde über Jahrhunderte hinweg Bergbau betrieben. Bei der Aufbereitung und Verhüttung sind etliche große Berge-, Spül- und Waschsandhalden sowie Schlacke- und Flugstaubablagerungen entstanden. In diesen Halden lagern noch Reste der einst abgebauten Rohstoffe wie Zinn, Zink, Silber oder Wolfram und auch Begleitelemente wie Lithium oder Indium. Solche Metalle und Mineralien, die mit der damaligen Technik nicht auszubringen oder bei der historischen Gewinnung uninteressant waren, sind heute von wirtschaftsstrategischer Bedeutung.

Im Projekt SMSB werden sächsische Bergbauhalden auf derartige Rohstoffvorkommen untersucht. Geplant ist, die einzelnen Bestandteile der Halden aufzuschlüsseln und alle enthaltenen Ressourcen zu erfassen. Mit den heutigen technischen Möglichkeiten könnten große Teile der in den Aufbereitungsrückständen vorhandenen Wertstoffe wirtschaftlich nutzbar gemacht werden. Ziel der gemeinsamen Forschung ist die Entwicklung eines Verfahrens für die wirtschaftliche und umweltschonende Gewinnung dieser Rohstoffe aus den Halden.



Farbbestimmung des Spülsandes am geöffneten PVC Liner
Quelle | © TUBAF/Mario Köhler

3 Li	30 Zn	47 Ag	49 In	50 Sn	74 W
6,94	65,39	107,86	114,81	118,71	183,84

ZIELMETALLE



Entnahme von Probematerial für erste Vorversuche
Quelle | © VNG/Detlef Müller

Als erster Schritt sind bereits Bohrungen an vier Standorten durchgeführt worden, um Proben zu gewinnen. Nach Analyse der Proben werden Methoden entwickelt, um Wertstoffkonzentrate aus dem Haldenmaterial abzutrennen. In einer zweiten Bohrkampagne sollen zwei Halden im Raster beprobt werden. Ziel ist es, die Verteilung der Wertstoffe in den Haldenablagerungen zu ermitteln. Zusätzlich werden die Schadstoffe Cadmium und Arsen untersucht und hinsichtlich ihres Schadenspotenzials bewertet.

Im Rahmen des Projekts entsteht ein Haldenkataster mit den zwanzig größten Bergbauhalden Sachsens. Das Verzeichnis soll Auskunft geben über deren geografische Lage und Eigentumsverhältnisse, die Herkunft des Haldenmaterials sowie den Aufbau, Wertstoffgehalt und das Potential der Aufschüttungen. Auch Informationen über mögliche Abbau-, Aufbereitungs- und Gewinnungstechnologien sowie deren Kosten werden bereitgestellt. Wenn es um den Transfer der entwickelten Verfahren in die Wirtschaft geht, können diese Daten als Entscheidungsgrundlage dienen.

Verbundkoordinator

Philipp Büttner
Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf
E-Mail | p.buettner@hzdr.de
Internet | www.r3-innovation.de/smsb

Trennung als Chance

Grenzflächen

Aufschluss von Verbundbaustoffen durch mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen

Ob Neubau, Sanierung oder Abriss von Gebäuden – immer entstehen Baustellenabfälle oder Bauschutt. Dabei handelt es sich überwiegend um Verbundbaustoffe aus mehreren Komponenten, die durch mineralische Kleber zusammengehalten werden. Die Verwertung dieses Baumaterials erfolgt bisher überwiegend als Downcycling. Viele Rohstoffe gehen damit für die Baustoffproduktion verloren.

Ziel des Forschungsvorhabens Grenzflächen ist es, Verbundbaustoffe zu verändern, damit sie besser recycelt werden können und sich auf diese Weise der Produktions- und Verwertungskreislauf nachhaltiger gestalten lässt. Die Idee besteht darin, die Binder bzw. Kleber durch Zusätze so zu modifizieren, dass sie Mikrowellen absorbieren können. Die Mikrowellen sollen beim Rückbau oder der anschließenden Aufbereitung Verbundstoffe an den Grenzflächen gezielt trennen. Mit anderen Worten: Die Bindung wird gelöst. Daraufhin lassen sich die Komponenten durch eine spezielle Behandlung vor Ort oder in entsprechenden Anlagen leichter voneinander lösen.

In dem Projekt entwickeln die Wissenschaftler Rezepturen für Kleber, Mörtel, Putze und Betone. Die Zugabe von mikrowellensensiblen Stoffen darf den Primärverbund allerdings nicht beeinträchtigen. Auch müssen die Zusätze kostengünstig und umweltverträglich sein.

Neben dem Einsatz auf dem Recyclingsektor könnte das Verfahren auch bei der Sanierung von Bauwerken genutzt werden.

Die Forscher wollen mit ihrer Projektidee die Verwertungsquote des Bauschutts aus dem Hochbau und den Baustellenabfällen um jeweils 15 Prozent anheben und die Materialien wieder als Sekundärrohstoffe nutzbar machen. Selbst wenn nur die Trennung von mineralischen und organischen Bestandteilen gelingt, wäre das ein Erfolg. Die mineralischen Stoffe können wieder in die Baustoffproduktion zurückgeführt, die organischen Anteile als Sekundärbrennstoff genutzt werden.



Exemplarische Verbundbaustoffe und Zusätze
Quelle | © F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde

VERSCHIEDENE BAUSTOFFE

ZIELWERTSTOFFE

Verbundkoordinator

Prof. Dr.-Ing. Horst-Michael Ludwig
Bauhaus-Universität Weimar
E-Mail | info@r3-grenzflaechen.de
Internet | www.r3-innovation.de/grenzflaechen

Zurück in den Stoffstrom

PRRIG

Techno-Ökonomische Potentiale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand

Der Bausektor verwendet große Mengen an Materialien, darunter auch wertvolle Metalle. Wie und in welchem Umfang Rohstoffe in den Gebäudebeständen verbaut sind und ob die eingesetzten Rohstoffe nach der Nutzung des Gebäudes recycelt werden, ist kaum bekannt. Ein großer Teil der Ressourcen, die in den Gebäudebeständen lagern, verbleibt in der Abbruchmasse – ungenutzt und damit dem Ressourcenkreislauf entzogen. Strategien zum aktiven Management des Materialbestands stehen bislang nicht zur Verfügung.

Das Vorhaben PRRIG will die Rohstoffpotenziale von Industrie- und Gewerbegebäuden untersuchen und klassifizieren. Dazu wird exemplarisch der Gebäudebestand im Gebiet Rhein-Main näher betrachtet und mittels umfangreicher Vor-Ort-Aufnahmen von Industrie- und Gewerbegebäuden und -arealen analysiert. Gleichzeitig werden Rohstoffkennwerte für Gebäude und Bauteile auf Basis von Literaturangaben sowie den Praxisuntersuchungen ermittelt.

Geplant ist eine Gebäudetypologie für Gewerbegebäude und ein GIS-basiertes Gebäudekataster. Hieraus abgeleitet soll ein Rohstoffkataster für die Region erstellt werden. Weiterhin gehört ein Materialflussmodell und damit die Prognose zukünftiger Stoffströme sowie der Rohstoffpotenziale zu den Forschungsaufgaben.



Gebäude aus dem Industrie- und Gewerbebereich bergen eine Vielzahl von rückgewinnbaren Rohstoffen, z. B. in Leitungen und Trägern.

Quelle | © C. Wiesenmaier, Universität Darmstadt

Daneben wollen die Projektpartner methodische Grundlagen entwickeln, die dazu beitragen, einerseits den Materialwert einer Immobilie zu beziffern und andererseits zu entscheiden, was bei Leerstand von Industrie- und Gewerbegebäuden zu tun ist: Umnutzung, partieller Rückbau oder Abbruch, um dann dabei Metalle aus dem (Teil-)Abbruch zurückzugewinnen. Die Methoden werden in Fallstudien angewendet und überprüft. Sie bilden die Basis für einen Katalog an Planungsinstrumenten und Handlungsempfehlungen für Akteure des Immobiliensektors.

13 Al 26,98	29 Cu 63,55	30 Zn 65,39	82 Pb 207,2	Fe UND STAHL
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Prof. Dr. Liselotte Schebek
TU Darmstadt – Institut IWAR
E-Mail | l.schebek@iwar.tu-darmstadt.de
Internet | www.r3-innovation.de/prrig

Wertstoffinventur per Mobilgerät

ResourceApp

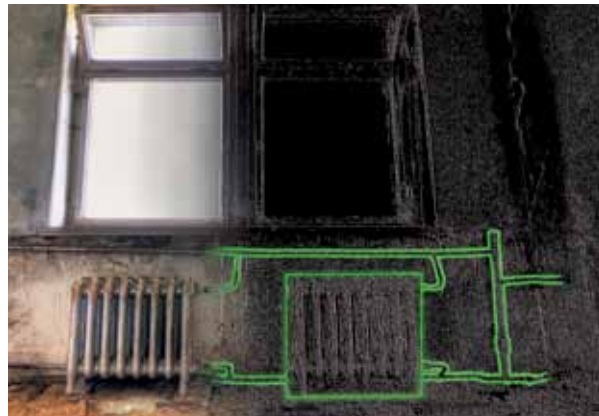
Entwicklung eines mobilen Systems zur Erfassung und Erschließung von Ressourcen beim Rückbau von Gebäuden

Mehr als die Hälfte des jährlichen Abfallaufkommens in Deutschland stammt aus Bau- und Abbruchabfällen. Die hochwertige Verwertung der darin enthaltenen Rohstoffe im Sinne einer Kreislaufführung steht dennoch am Anfang. Rückbau- und Abbruchprojekte erfolgen meist unter großem Zeit- und Kostendruck. Die verbauten Materialien werden im Rahmen der Abbruchvorbereitung aus vorhandenen Unterlagen und bei einer Begehung geschätzt. Belastbare und vergleichbare Daten zum Ressourcenpotenzial eines Gebäudes werden dabei nicht ermittelt.

Die dem Vorhaben ResourceApp zugrundeliegende Vision ist eine Kombination aus Hard- und Software, mit der der Anwender bei einer Begehung mit möglichst wenigen Zusatzinformationen eine belastbare Aussage über den Rohstoffgehalt und potenziell zu erwartende Schadstoffe in einem Gebäude treffen kann. Eine modellgestützte Rückbauplanung soll dazu beitragen, die Wertstoffe effizienter zu erschließen und gezielt in den Stoffkreislauf zurückzuführen. Im Rahmen des Projektes wird eine Software entwickelt, die geometrische Strukturen und Bauteile wie Wände, Decken, Fenster, Türen, Steckdosen oder Heizkörper erkennt. Durch die Verknüpfung mit Datenbanken und Normen schließt sie auf verdeckte Bauteile wie Leitungen und errechnet die Rohstoffmassen des Gebäudes.

Die Projektpartner erstellen zunächst eine stoffbezogene Gebäudetypologie und bereiten relevante Bauinformationen auf. Parallel erfolgen Test und Auswahl möglicher Hardwarekomponenten sowie die Softwareentwicklung. Die Gebäudegeometrien sollen mit Hilfe bildbasierter Erkennung und 3-D-Rekonstruktion erfasst werden. Der nächste Schritt sieht vor, Bauinformationen und Gebäudegeometrien zu kombinieren und mit einer Rückbauplanung zu verknüpfen.

Begleitet wird die Entwicklung durch Praxisverifikationen beim Rückbau von Wohngebäuden. Auch die Möglichkeiten zur Übertragung des ResourceApp-Ansatzes auf andere Produkte und Branchen wie Infrastrukturen oder Verkehrsmittel werden geprüft.



Wertstoffermittlung in Abrissgebäuden
Quelle | © Fraunhofer ICT

13 Al 26,98	26 Fe 55,84	29 Cu 63,55	30 Zn 65,39
METALLLEGIERUNGEN		HOLZ	MINERALISCHE ROHSTOFFE
KUNSTSTOFFE			
ZIELMETALLE			

Verbundkoordinator

Christian Stier
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
E-Mail | Christian.Stier@ict.fraunhofer.de
Internet | www.r3-innovation.de/ressourceapp

Die Ziele im Blick

Bewertung von Ressourceneffizienz und Transfer der Ergebnisse in die Praxis



Die Forschungsergebnisse von r^3 sollen in praktisch anwendbare Recycling- und Herstellungsverfahren münden und zu verbesserten Technologieprodukten führen. Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, die Resultate im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz zu bewerten sowie die Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit in Relation zu energie- und umweltpolitischen Anforderungen zu setzen.

Zwei übergreifende Verbundprojekte sind mit diesen Aufgaben befasst. Ihr Ziel ist es, objektive Entscheidungskriterien zu entwickeln, Recyclingtechnologien und Verfahrenswege zu bewerten sowie den Transfer in die Wirtschaft vorzubereiten. Darüber hinaus werden die Verbundvorhaben bei ihren Forschungen begleitet, miteinander vernetzt und auch praktisch unterstützt.

Unter dem Begriff Ressourceneffizienz versteht man heute zumeist das Verhältnis von Wertschöpfung zu Rohstoffverbrauch, Verschmutzung natürlicher Ressourcen und Flächeninanspruchnahme. Bei der Bewertung spielt es eine wesentliche Rolle, welche Indikatoren herangezogen werden. Um Ressourceneffizienz künftig leichter messen und beurteilen zu können, wird dafür ein spezieller Leitfaden entwickelt – eine einfache, praktikable Entscheidungshilfe für Anwender, an der sich vor allem kleine und mittlere Unternehmen orientieren können.

Abschließend werden die Resultate der r^3 -Verbundprojekte auf ihr Nachhaltigkeitspotenzial geprüft. Die übergreifende Bewertung stellt fest, wie effizient die in r^3 entwickelten Maßnahmen letztendlich sind und welchen Beitrag die Forschungsergebnisse für das nachhaltige Wirtschaften mit Rohstoffen zukünftig leisten können.

Nachhaltigkeit im Vergleich

ESSENZ

Integrierte Methode zur ganzheitlichen Berechnung von Ressourceneffizienz

Der Begriff Ressourceneffizienz bezeichnet eine der häufig genannten Strategien für eine nachhaltige Entwicklung. Allerdings ist bisher nicht eindeutig definiert, was Ressourceneffizienz konkret bedeutet oder wie diese am besten gemessen wird. Beides hängt sowohl von der Bestimmung des Ressourcenbegriffes als auch von den gewählten Indikatoren ab. Nur mit einer konsistenten Methode können Produkte und Verfahren bezüglich Ressourceneffizienz verglichen oder Optimierungspotentiale quantifiziert werden.

Ziel des Projektes ESSENZ ist es, eine Methodik zu entwickeln, mit deren Hilfe sich Ressourceneffizienz berechnen lässt. Sie soll branchenübergreifend wirksam und sowohl wissenschaftlich konsistent als auch praktisch umsetzbar sein.

In einem ersten Schritt wollen die Verbundpartner die bestehenden Ansätze zur Messung von Ressourceneffizienz systematisieren und anschließend mit Hilfe verschiedener Metakriterien analysieren. Neben der geologischen Verfügbarkeit von Reserven

werden auch sozioökonomische und ökologische Faktoren berücksichtigt. Dazu zählen Länderkonzentrationen und Handelshemmnisse ebenso wie Verlust von Biodiversität oder Wasserverbrauch. Zur Messung dieser Aspekte sollen geeignete Indikatoren ausgewählt und zu einem Indikatorenset verdichtet werden.

Die Identifizierung ressourceneffizienter Verfahren und Produkte trägt zu einer nachhaltigen Entwicklung bei. Mit den Berechnungsmethoden können zudem potenzielle Umweltauswirkungen bestimmt und verringert werden, um Ökosysteme zu schützen. Durch die Einbeziehung sozioökonomischer Aspekte lässt sich auch die Versorgungssicherheit grob einschätzen.

Es ist geplant, die entwickelte Methodik an mehreren Fallstudien bei Projektpartnern zu testen, um die verwendeten Indikatoren zu überprüfen und evtl. anzupassen. Abschließend soll die Methode in einem Workshop öffentlich vorgestellt und mit verschiedenen Interessengruppen diskutiert werden.



Die Entwicklung von Ressourceneffizienzindikatoren steht im Fokus des Projektes.
Quelle | © SEE Sustainable Engineering – TU Berlin



Verbundkoordinator

Prof. Matthias Finkbeiner
TU Berlin
Fachgebiet Sustainable Engineering
E-Mail | matthias.finkbeiner@tu-berlin.de
Internet | www.r3-innovation.de/essenzenz

Forschung und Praxis verbinden

INTRA r³+

Vernetzung der r³-Projekte und Transfer der Ergebnisse

Die Forschungsprojekte in der Fördermaßnahme r³ haben das Ziel, praxisorientierte Lösungsansätze für Wirtschaft und Industrie zu entwickeln. Sie sollen möglichst zügig anzuwenden sein. Ein besonderer Fokus bei der Umsetzung von r³ liegt auf der Vernetzung der Partner. Weitere zentrale Aspekte sind Kommunikation und Transfer der Forschungsergebnisse.

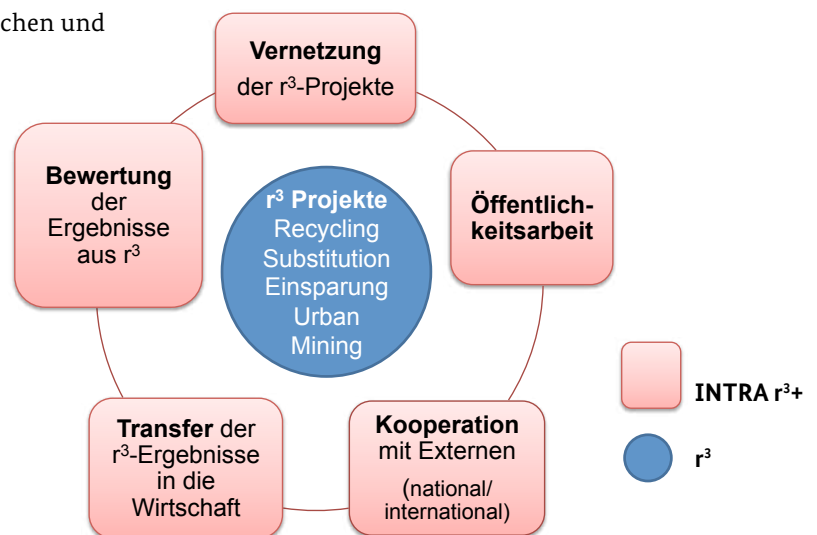
Das begleitende Integrations- und Transferprojekt INTRA r³+ am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie übernimmt gemeinsam mit weiteren Partnern die interne Vernetzung der r³-Verbundprojekte. Zusätzlich unterstützt INTRA r³+ die Projekte mit einem Gerätepool bei der Bearbeitung analytischer Fragestellungen. Zu den Aufgaben des Begleitprojekts zählen außerdem die zentrale Öffentlichkeitsarbeit sowie die Verbesserung von Kooperationen auf nationaler und internationaler Ebene.

Die Betreuung der Verbundprojekte erfolgt im direkten Austausch mit den jeweiligen Koordinatoren. Auch werden Cluster zu fachlichen und

methodischen Themen gebildet und Veranstaltungen mit begleitenden Workshops zur Nachwuchsförderung organisiert. Nach Abschluss der r³-Forschungsvorhaben untersucht das INTRA r³+ Team die entwickelten Maßnahmen auf ihren Beitrag zur Nachhaltigkeit. Bei der Bewertung stehen Aussagen zur Wirtschaftlichkeit und zur Erhöhung der Versorgungssicherheit im Vordergrund. Ökologische Aspekte sowie die Investitions- und Kostenabschätzung spielen ebenfalls eine Rolle.

Abschließend sollen gemeinsam mit den Verbundkoordinatoren Roadmaps erarbeitet werden, um den Transfer von neuen Technologien und Produkten in die Wirtschaft vorzubereiten. Ferner ist geplant, Handlungsempfehlungen für das BMBF zu formulieren, in denen es um zukünftige Herausforderungen bei der Versorgung mit seltenen strategischen Metallen und Mineralien geht.

Aufgaben des Integrations- und Transferprojektes INTRA r³+
Quelle | © Helmholtz Institut Freiberg
für Ressourcentechnologie / Dürkoop



STRATEGISCHE METALLE UND MINERALIEN

ZIELMETALLE

Verbundkoordinator

Dr. Anke Dürkoop
Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf
E-Mail | a.duerkoop@hzdr.de
Internet | www.r3-innovation.de/intrar3

Der strategische Sachverständigenkreis des Förderschwerpunkts „r³ – Strategische Metalle und Mineralien“

Für die Begleitung des Förderschwerpunkts „r³“ hat das BMBF einen strategischen Sachverständigenkreis (SVK) eingerichtet. Der SVK berät und unterstützt das BMBF und den Projektträger sowie das Integrations- und Transferprojekt des Förderschwerpunktes „INTRA r³+“ in Fragen der strategischen Ausrichtung und Weiterentwicklung des Förderschwerpunktes sowie bei der Bewertung der Wirksamkeit der geförderten Projekte im Hinblick auf deren Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Versorgungssicherheit mit wirtschaftsstrategischen Rohstoffen. Der SVK trägt darüber hinaus zur Verbreitung der Ergebnisse der geförderten Vorhaben in der Fachwelt bei. Dem Strategischen Sachverständigenkreis gehören folgende Mitglieder an:

- **Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich**
Vorsitzender des r³-Strategischen Sachverständigenkreises,
Geschäftsführer CUTEC Institut |
Technische Universität Clausthal
- **DirProf. Dr. Michael Angrick**
Leiter Fachbereich III „Nachhaltige Produktion und Produkte, Kreislaufwirtschaft“ |
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- **Prof. Dr.-Ing. Helmut Antrekowitsch**
Universitätsprofessor für Nichteisenmetallurgie |
Montanuniversität, Leoben, Österreich
- **Rainer Buchholz**
Referent für Kreislaufwirtschaft, Abfall, Nachhaltigkeit, Produktpolitik, Initiative Zink, Ressourceneffizienz |
Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVM), Berlin
- **Dr. habil. Thomas Probst**
Hauptreferent für den bvse-Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V., Bonn
- **Prof. Dr.-Ing. Helmut Rechberger**
Professor für Ressourcenmanagement |
Technische Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Wien, Österreich
- **Prof. Dr.-Ing. Stefan Petrus Salhofer**
Außerordentlicher Universitätsprofessor,
Universität für Bodenkultur Wien |
Institut für Abfallwirtschaft, Wien, Österreich
- **Dr. Volker Steinbach**
Abteilungsleiter „Energierohstoffe, Mineralische Rohstoffe“ |
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Eckdaten zu den Verbundprojekten der Fördermaßnahme r³

ATR

Aufschluss, Trennung und Rückgewinnung von ressourcenrelevanten Metallen aus Rückständen thermischer Prozesse mit innovativen Verfahren

Koordination

- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Berlin

Projektpartner

- ATZ Entwicklungszentrum
- Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR)
- Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
- Ludwig-Maximilians-Universität München
- SpiCon GmbH
- Stadtreinigung Hamburg
- TARTECH eco industries AG
- Universität Duisburg-Essen

Verbund-Website

- www.atr.bam.de
-

Bo2W

Best of two Worlds - Globale Kreislaufführung strategischer Metalle

Koordination

- Öko-Institut Darmstadt

Projektpartner

- Johnson Controls Recycling GmbH
- Umicore Ag & Co. KG
- Vacuumschmelze GmbH & Co. KG

Verbund-Website

- www.resourcefever.org/project/items/global_circular_economy_of_strategic_metals.html
-

CaF₂

Rückgewinnung von Calciumfluorid als Sekundärrohstoff für Fluorpolymere

Koordination

- Universität Bayreuth

Projektpartner

- Dyneon GmbH Burgkirchen
- Fluorchemie Stulln
- InVerTec Institut für innovative Verfahrenstechnik e. V.

Verbund-Website

- www.invertec-ev.de/projekte/umwelt-ressourcen-schonung/rueckgewinnung-von-calziumfluorid
-

EcoTan

CO₂-Gerbung – Ressourceneffiziente Nutzung von Chromgerbstoffen durch weitgehende Substitution im Gerbprozess

Koordination

- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT)

Projektpartner

- Josef Heinen GmbH & Co. KG
- LANXESS Deutschland GmbH
- Phytowelt Greentechnologies GmbH
- Ruhr-Universität Bochum
- Vattenfall Europe New Energy GmbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/ecotan
-

ESSENZ**Integrierte Methode zur ganzheitlichen Berechnung/
Messung von Ressourceneffizienz****Koordination**

- Technische Universität Berlin

Projektpartner

- Daimler AG
- Deutsches Kupfer-Institut e.V.
- Evonik Industries AG
- Siemens Aktiengesellschaft
- Thyssen Krupp Steel Europe
- Wissenschaftlicher Gerätebau Dr. Ing. Herbert Knauer GmbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/essenz
-

Grenzflächen**Aufschluss von Verbundbaustoffen durch
mikrowelleninduziertes Grenzflächenversagen****Koordination**

- Bauhaus-Universität Weimar

Projektpartner

- AMG Mining AG
- Baunit GmbH
- Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)
- IAB-Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gemeinnützige GmbH
- Muegge GmbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/grenzflaechen
-

InAccess**Entwicklung eines ressourceneffizienten und
wirtschaftlichen Recyclingprozesses für LCD-
Bildschirmgeräte****Koordination**

- Electrorecycling GmbH Goslar

Projektpartner

- Ene EcologyNet Europe GmbH
- TECHNISCHE UNIVERSITÄT Clausthal
- Umicore AG & Co. KG

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/inaccess
-

Innodruck**Einsparung von Refraktärmetallen und deren
Legierungen durch Entwicklung einer innovativen
Siebdrucktechnologie zur Direktherstellung von
komplexen Bauteilen****Koordination**

- H.C. Starck Hermsdorf GmbH

Projektpartner

- Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM)
- Siemens AG

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/innodruck
-

INTRA r³+**Integration und Transfer der Ergebnisse der
r³ Fördermaßnahme****Koordination**

- Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf

Projektpartner

- Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover
- Fraunhofer Institut Institut für Chemische Technologie (ICT)

- Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
- Technische Universität Bergakademie Freiberg
- Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Ganzheitliche Bilanzierung

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/intrar3
-

Kraftwerksasche

Chemisch-biotechnologische Gewinnung von Wertstoffen aus Braunkohlenkraftwerksasche

Koordination

- G.E.O.S. GmbH

Projektpartner

- Bauhaus-Universität Weimar
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- SolarWorld Solicium GmbH
- Technische Universität Bergakademie Freiberg
- Universität Duisburg-Essen
- Vattenfall Europe Mining Aktiengesellschaft

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/kraftwerksasche
-

NickelRück

Ressourcenschonende neuartige Rückgewinnung von Nickel aus Prozesswässern der Phosphatierung

Koordination

- VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH

Projektpartner

- Adam Opel AG
- FuMA-Tech Gesellschaft für funktionelle Membranen und Anlagentechnologie mbH
- IAM Industrieanlagenmontage GmbH
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/nickelrueck
-

PhotoRec

Rückgewinnung von seltenen strategischen Metallen aus EOL Dünnschicht-PV-Modulen

Koordination

- ACCUREC-Recycling Gesellschaft mbH

Projektpartner

- Fricke und Mallah Microwave Technology GmbH
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/Photorec
-

PhytoGerm

Germaniumgewinnung aus Biomasse

Koordination

- Technische Universität Bergakademie Freiberg

Projektpartner

- BAUER Umwelt GmbH
- MT-Energie GmbH

Verbund-Website

- https://tu-freiberg.de/fakult2/bio/ag_bio/phytogerm/index.html
-

PitchER

Magnetloser Pitch-Antrieb in Windenergieanlagen durch den Einsatz elektrischer Transversalfluss-Reluktanzmaschinen

Koordination

- Universität Bremen

Projektpartner

- Krebs & Aulich GmbH
- MACCON Elektroniksystementwicklung und Beratungs GmbH
- MOOG Unna GmbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/pitcher
-

PRRIG

Techno-ökonomische Potenziale der Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem Industrie- und Gewerbegebäude-Bestand

Koordination

- Technische Universität Darmstadt

Projektpartner

- Adam Opel AG
- Re2area GmbH

Verbund-Website

- www.prrig.tu-darmstadt.de
-

r³ Bece

Separate Rückgewinnung von elementarem Zinn und Kupfer aus verbrauchten Zinn-Stripperlösungen der Leiterplattenindustrie

Koordination

- BECE Leiterplatten-Chemie GmbH

Projektpartner

- Harmuth Entsorgung GmbH
- Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/r3bece
-

ResourceApp

Entwicklung eines mobilen Systems zur Erfassung und Erschließung von Ressourceneffizienzpotenzialen beim Rückbau von Infrastruktur und Produkten

Koordination

- Fraunhofer ICT

Projektpartner

- COSAWA Sanierung GmbH
- Fraunhofer IGD
- gpb-Arke
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Werner Otto GmbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/resourceapp
-

REStrateGIS

Konzeption und Entwicklung eines Ressourcenkatasters für Berge- und Hüttenhalden durch Einsatz von Geoinformationstechnologien und Strategieentwicklung zur Wiedergewinnung von Wertstoffen

Koordination

- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT)

Projektpartner

- EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
- FEhS - Institut für Baustoff-Forschung e. V.
- Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Verbund-Website

- www.ressourcenkataster.de
-

ROBEHA

Nutzung des Rohstoffpotenzials von Bergbau- und Hüttenhalden unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes

Koordination

- Prof. Burmeier Ing. GmbH Gehrden

Projektpartner

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover
- Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC)
- Dorfner Analysenzentrum und Anlagenplanungsgesellschaft mbH
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Technische Universität Clausthal

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/robeha
-

Rotschlamm

Verfahrensentwicklung zur Gewinnung von Sonder-Aluminiumhydroxiden, Gallium (und anderer kritischer Technologiemetalle), Roheisen und mineralischen Baustoffen aus Rotschlamm

Koordination

- REMONDIS Production GmbH

Projektpartner

- DK Recycling und Roheisen GmbH
- Holcim (Deutschland) AG
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/rotschlamm
-

SMSB

Gewinnung strategischer Metalle und anderer Mineralien aus sächsischen Bergbauhalden

Koordination

- Technische Universität Bergakademie Freiberg

Projektpartner

- AKW Apparate + Verfahren GmbH
- G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH
- SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH

Verbund-Website

- www.hzdr.de/db/Cms?pNid=3052
-

SubITO

Entwicklung eines Schichttransferverfahrens für die Substitution von Zinn-dotiertem Indiumoxid (ITO) durch Fluor-dotiertes Zinndioxid (FTO) in leitfähigen, transparenten Polymerfolien

Koordination

- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS)

Projektpartner

- Folienwerk Wolfen GmbH
- KROENERT GmbH & Co KG
- Technische Universität Dresden
- UBW Universal-Beschichtung GmbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/subito
-

SubMag

Entwicklung eines alternativen Entschwefelungs-verfahrens in der Gießereiindustrie zur nachhaltigen Substitution von Magnesium

Koordination

- Universität Duisburg-Essen

Projektpartner

- Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG
- OCC Gesellschaft für physikalische Messtechnik und kybernetische Systeme mbH
- Fels-Werke GmbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/submag
-

TönsLM

Entwicklung innovativer Verfahren zur Rückgewinnung ausgewählter Ressourcen aus Siedlungsabfall- und Schlackedepotien

Koordination

- Tönsmeier Dienstleistung GmbH & Co KG

Projektpartner

- Abfallentsorgungsbetrieb des Kreises Minden-Lübbecke
- ifeu -Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
- Technische Universität Clausthal

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/toenslm
-

UPgrade

Integrierte Ansätze zur Rückgewinnung von Spurenmetallen und zur Verbesserung der Wertschöpfung aus Elektro- und Elektronikaltgeräten

Koordination

- Technische Universität Berlin

Projektpartner

- Altenburger Maschinen Jäckering GmbH
- Fachhochschule Münster
- Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) Freising
- Institut für Abfall, Abwasser, Site und Facility Management e.V.
- Jöst GmbH & Co KG
- Loser Chemie GmbH Langenweißbach
- REMONDIS Electrorecycling GmbH
- Werkstatt Frankfurt e.V.

Verbund-Website

- www.upgrade.tu-berlin.de
-

UrbanNickel

Rückgewinnung und Wiederverwertung von Nickel aus deponierten Neutralisationsschlämmen der Edelstahlindustrie

Koordination

- Siegfried Jacob Metallwerke GmbH & Co. KG

Projektpartner

- BGH Edelstahl Freital GmbH
- VDEh-Betriebsforschungsinstitut Gesellschaft mbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/urbannickel
-

VeMRec

Verlustminimiertes Metallrecycling aus Müllverbrennungsaschen durch sensorgestützte Sortierung

Koordination

- MAV Mineralstoff - Aufbereitung und - Verwertung GmbH

Projektpartner

- HYDRO Aluminium Grevenbroich
- pbo Ingenieurgesellschaft GmbH
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- Steinert Elektromagnetbau GmbH
- Umicore Ag & Co Kg Hanau

Verbund-Website

- www.vemrec.rwth-aachen.de
-

ZwiPhos

Entwicklung eines Zwischenlagerungskonzepts für Klärschlammonoverbrennungsaschen für Deutschland mit dem Ziel einer späteren Phosphorrückgewinnung

Koordination

- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Projektpartner

- Emschergenossenschaft Essen
- Innovatherm Gesellschaft zur innovativen Nutzung von Brennstoffen mbH

Verbund-Website

- www.r3-innovation.de/zwiphos
-

Literatur

Achzet, B., Reller, A., Zepf, V., University of Augsburg, Rennie, C., BP, Ashfield, M., Simmons, J., ON Communications (2011): "Materials critical to the energy industry – An introduction"

Bundesregierung (2010a): „Ideen. Innovation. Wachstum“, Hightech-Strategie 2020 für die Bundesrepublik Deutschland, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Bundesregierung (2010b): „Rohstoffstrategie der Bundesregierung – Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen“, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW)

European Commission (2010): Critical raw materials for the EU - Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. European Commission (EC)

European Commission (2011): Moss, R.L., Tzimas, E., Kara, H., Willis, P., Kooroshy, J.; "Critical Metals in Strategic Energy Technologies – Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies"

Faulstich, M. (2010): „r3-Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien“, Informationspapier zum Forschungs- und Entwicklungsbedarf der gleichnamigen BMBF-Fördermaßnahme, TU München.

Fraunhofer ISI (2009): Angerer, G., Erdmann, L., Marscheider-Weidemann, F., Scharpet, M., et al.: „Rohstoffe für Zukunftstechnologien – Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage“, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 401 Seiten.

KfW (2011): Erdmann, L., Behrendt, S.: „Kritische Rohstoffe für Deutschland „Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte“, Abschlussbericht im Auftrag der KfW Bankengruppe
KOM (2008): „Die Rohstoffinitiative – Sicherung der

Versorgung Europas mit den für Wachstum und Beschäftigung notwendigen Gütern“ Europäische Kommission KOM (288) 699, Brüssel.

UNEP (2009): Buchert, M., Schüler, D., Bleher, D., „Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential“

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Ressourcen und Nachhaltigkeit
53170 Bonn

Bestellungen

schriftlich an
Publikationsversand der Bundesregierung
Postfach 48 10 09
18132 Rostock
E-Mail: publikation@bundesregierung.de
Internet: <http://www.bmbf.de>
oder per
Tel.: 030 18 272 272 1
Fax: 030 18 10 272 272 1
(14 Cent/Min. aus dem deutschen Festnetz,
Mobilfunk max. 42 Cent/Min.)

Stand

September 2013

Druck

BMBF

Gestaltung

www.buero-quer.de
Dresden

Bildnachweis

buchachon/Fotolia: Titel
Presse- und Informationsamt der Bundesregierung,
Steffen Kugler: Seite 5
Ramona Heim, Stephanie Bandmann, Aleksey Bakaleev, Ingo
Bartussek, Alexander Erdbeer, JiSIGN, LE image, Alexander
Raths/Fotolia.com: Seiten 12, 20, 26, 41

Text

Inge Gerdes
Dresden

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

