



## „Umweltpädagogische Modellvorhaben zu Ressourcen- und Materialeffizienz – Workshop ‚Materialeffizienz und Recycling‘ und ‚Werkstoffentwicklung im Schülerlabor Materialwissenschaften an der TU Clausthal‘“

AZ 29187-41 Fördersumme: 18.135,00 €, Laufzeit: 07.06.2011 – 30.07.2014

Verfasser: Jochen Brinkmann und Dr.-Ing. Andreas Czymai

TU Clausthal, Kontaktstelle Schule – Universität

## Abschlussbericht

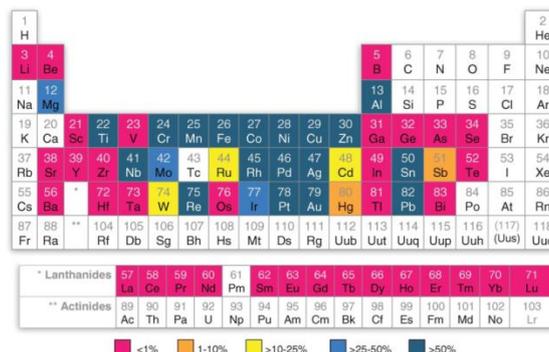


Abbildung 1 Recyclingraten für Metalle und Halbmetalle aus Konsumprodukten 2008

Quelle: B K Reck, and T E Graedel, Science 2012;337:690-695

Eine Reihe von Faktoren haben zu Veränderungen in Rohstoffauswahl und Verbrauch bei der Produktion neuer Produkte und Anlagen geführt: Steigende Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Produkten, erhöhte Energieeffizienz, neue Energieerzeugungs- und speichertechnologien. Zur Erreichung dieser Ziele spielen Materialien eine besondere Rolle, deren Vorkommen begrenzt und deren Gewinnung mit hohem Aufwand verbunden ist, insbesondere Sonder- und Edelmetalle. Die Recyclingraten aus Konsumprodukten sind heute oft noch sehr niedrig, hierfür Verfahren zu entwickeln, ist eine Zukunftsaufgabe.

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



<b>Az</b>	<b>29187</b>	<b>Referat</b>	<b>41</b>	<b>Fördersumme</b>	<b>18.135,00 €</b>
<b>Antragstitel</b>		<b>Umweltpädagogische Modellvorhaben zu Ressourcen- und Materialeffizienz-Workshop „Materialeffizienz und Recycling“ und Werkstoffentwicklung im Schülerlabor Materialwissenschaften an der TU Clausthal“</b>			
<b>Stichworte</b>		Bildung, Wirtschaftsstrategische Metalle, Recycling, Betriebsfestigkeit am Beispiel eines Fahrradprüfstandes			
<b>Laufzeit</b>	<b>Projektbeginn</b>	<b>Projektende</b>	<b>Projektphase(n)</b>		
<b>3 Jahre</b>	<b>07.06.2011</b>	<b>31.07.2014</b>	<b>6</b>		
<b>Zwischenberichte</b>		5			
<b>Bewilligungsempfänger</b>		Technische Universität Clausthal Kontaktstelle Schule - Universität		Tel 0 53 23/72 77 55	
		Adolph Roemer Straße 2a 38678 Clausthal-Zellerfeld		Fax 0 53 23/72 77 59	
				Projektleitung	
				Jochen Brinkmann M.A.	
				Bearbeiter	
				Brinkmann, Dr.-Ing. Czymai	
<b>Kooperationspartner</b>		Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik Dr.-Ing. Rainer Masendorf, Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit			
<b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b>					
Der Rohstoffhunger der Volkswirtschaften wächst; zugleich drohen wichtige Metalle knapp zu werden. Ein ‚wildes Recycling‘ in den Entwicklungsländern schädigt die Gesundheit von Millionen Menschen, belastet die Natur und vergeudet wertvolle (Sekundär)-Rohstoffe. Um junge Menschen auf dieses Zukunftsthema aufmerksam zu machen, sollte ein mobiles Bildungsangebot und ein Schülerlabor zur Werkstoffentwicklung entwickelt werden.					
<b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b>					
Es mussten Prozessschritte des Elektronikschrottrecyclings ausgewählt werden, die an Schulwissen anknüpfen konnten (Dichtentrennung, Magnetabscheider, Flotation, Laugung/Fällung feste und flüssige Ionentauscher). Zugleich sollte vermittelt werden, dass technische Prozesse nicht isoliert von ihrem gesellschaftlich politischen Umfeld betrachtet werden können. So wurden die Smartphones als thematischer Fokus ausgewählt: Stoffvielfalt, niedrige Recyclingraten und Konflikte beim Kleinstbergbau in der Demokratischen Republik Kongo konnten dargestellt werden.					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <a href="http://www.dbu.de">http://www.dbu.de</a>					

## **Ergebnisse und Diskussion**

Der Schulworkshop „Was steckt in deinem Handy? Ökologischer und ökonomischen Wert des Elektro(-)schrottrecyclings Bergbau und Gewaltökonomie am Beispiel des Kongo“ wurde während der – um ein Jahr verlängerten - Projektlaufzeit insgesamt 43 Mal an Gymnasien und Berufsbildenden Schulen in Niedersachsen, Hamburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Nordrhein-Westfalen, Hessen und Bayern durchgeführt. Auf diese Weise konnten rund 1.500 Schüler der Oberstufe erreicht werden.

Zwei Herausforderungen stellten sich:

- die Spannweite des Themas von der Kolonialgeschichte und aktuellen Politik der Demokratischen Republik Kongo, über geochemische Zertifizierungsverfahren bis zum Elektronikschrottreycling in seinen konkreten Verfahrensschritten (Mechanische Aufbereitung mit Experimenten, Pyrometallurgie in Theorie, Hydrometallurgie in Experimenten): Würden wir genug Schüler und Lehrer finden, die an der Thematik in dieser Komplexität interessiert sind? Lösung: Angebot der Skalierbarkeit der Tiefe des Workshops von minimal zwei bis sechs Schulstunden plus Bereitstellung von Unterrichtsmaterialien zur Vorbereitung (Filme, Internetquellen). Letzteres wurde im Rahmen von Projektwochen genutzt. Die ursprüngliche Konzeption auf drei Schulstunden erwies sich selten kompatibel mit dem Stundenplan. Die besten Veranstaltungen waren diejenigen, bei denen die Schulen aus verschiedenen Kursen Schüler ausgewählt hatten. Das Stereotyp ‚Naturwissenschaftler hätten kein Interesse an Politik und politisch Interessierte vice versa kein Interesse an Naturwissenschaft konnte widerlegt werden. Hilfreich erwies sich im Verlauf des Projekts die Schüler aktiv die Perspektiven der verschiedenen Akteure in dem Konflikt einnehmen zu lassen.
- Das Schülerlabor Werkstoffentwicklung ließ sich nicht etablieren. Deshalb wurde das Thema *Materialeffizienz* am Beispiel der Betriebsfestigkeit in den Schulworkshop integriert. Das erwies sich als großes Plus für den Workshop, weil so die Vielfalt technischer Lösungsansätze zur Ressourcenschonung erlebbar gestaltet werden konnte.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Bei einer Reihe von Schulbesuchen war die lokale Presse vertreten. Viele Schulen platzierten Berichte auf der Schulhomepage. Das Projekt wurde für die ‚Woche der Umwelt‘ 2012 ausgewählt, war mit einem Kurzvortrag auf der Tagung der Robert-Bosch-Stiftung ‚Keine Angst vor Wissenschaft‘ im gleichen Jahr in Karlsruhe präsent und wurde im Jahr 2013 auf der 19. DBU-Sommerakademie in St. Marienthal, Ostritz und als Agnes-Pockels-Vorlesung im ‚Haus der Wissenschaft‘ in Braunschweig vorgestellt. Die Zeitschrift ‚Chemie in der Schule‘ stellte die Angebote des ‚Flying Science Circus‘ insgesamt vor, mit einem besonderem Fokus auf dem DBU-Projekt.

## **Fazit**

Die Sensibilisierung für das Thema wurde erreicht. Es erstaunte, dass die Chemie- und Physiklehrer, manchmal nach einer vorsichtigen Anfangskepsis, sich der Erweiterung des Fachunterrichts um gesellschaftlich, politische Aspekte im Endergebnis positiv bejahend öffneten, während Politik- und Wirtschaftslehrer die Thematik nahezu nie in ihren Unterricht integrierten (Ausnahmen: Heisenberg-Gymnasium, Hamburg, Gymnasium in der Wüste, Osnabrück und Steinbart-Gymnasium, Duisburg). Gelernt werden musste, dass gänzlich schulfremde Inhalte unter den Bedingungen des G8 nicht in Schülerlaboren erarbeitet werden können. Die Integration des Themas Materialeffizienz in den Zielhorizont Rohstoffsicherung und Ressourcenschonung in den Schulworkshop tat dem Thema gut, weil eine Vielfalt von Lösungsstrategien sichtbar wurde. Für das Ziel ‚Kluge Köpfe für die Aufgaben von morgen‘ zu gewinnen, konnte ein Beitrag geleistet werden; die Anfängerzahlen in den korrespondierenden Studiengängen stiegen signifikant.



# TU Clausthal

.....	1
<b>Projektkennblatt</b> .....	2
Projektziele und -beschreibung .....	6
Recycling-, und Materialeffizienz-Workshops und in den Schulen .....	8
Experimenteller Teil I: Mechanische Aufbereitung .....	9
Politisch-historischer Einschub: Wo kommen die Rohstoffe für unsere Smartphones? .....	14
Experimenteller Teil II: Hydrometallurgie .....	18
Integration des Themas Materialeffizienz in den Schulworkshop .....	21
Pädagogische Beobachtungen .....	23
Sonderaktion: Recyclingtage in Kooperation mit Unternehmen .....	30
Resonanz von Lehrkräften und Jugendlichen in Beispielen .....	32
Presseberichte - ein Beispiel .....	33
Wahrnehmung des Projektes in der Öffentlichkeit .....	35
Einladung als Aussteller zur ‚Woche der Umwelt‘ 2012, Berlin .....	35
Einladung zur Tagung ‚Keine Angst vor Wissenschaft‘ in Karlsruhe 2012 .....	36
Ausgewählt als Agnes-Pockels-Vorlesung 2013 in Braunschweig .....	36
Entwicklung der Studienanfängerzahlen .....	37
Ausblick: Was ist für die Zeit nach der Projektlaufzeit geplant? .....	38
Zusammenfassung des Berichts .....	41
Literatur in Auswahl .....	41

Abbildung 1 Recyclingraten für Metalle und Halbmetalle aus Konsumprodukten 2008 .....	1
Abbildung 2 Trennung leitender von nicht leitenden Partikeln .....	10
Abbildung 3 Filmsequenz zum optimierten Wirbelstromabscheider. ....	11
Abbildung 4 Trennung magnetischer Metalle von nicht magnetischen Stoffen .....	12
Abbildung 5 Filmsequenz eines Überbandmagneten.....	12
Abbildung 6 Dichtentrennung im wässrigen Medium für Feinstpartikel. ....	13
Abbildung 7 Metallerzbergbau auf strategisch wichtige Metalle weltweit.....	14
Abbildung 8 Funktionsvielfalt und Zuverlässigkeit elektronischer Geräte erfordert Elementvielfalt.....	14
Abbildung 9 Rohstoffvorkommen in der Demokratischen Republik Kongo.....	15
Abbildung 10 Entwicklung des Bevölkerungswachstums, Pro-Kopf-Einkommens, der Kupferproduktion und des Exportes landwirtschaftlicher Güter in der DR Kongo.....	16
Abbildung 11 Solventextraktion im kontinuierlichen Betrieb .....	20
Abbildung 12 Zeitrafferaufnahme der Verdrängung des Cu <sup>2+</sup> Ions aus dem Anionentauscher. .....	20
Abbildung 13 Löslichkeit verschiedener Metallionen in wässriger Phase in Abhängigkeit vom pH Wert.....	21
Abbildung 14 Messstellen am Fahrrad .....	22
Abbildung 15 Messkette .....	23
Abbildung 16 Recycling als Beitrag zur Rohstoffsicherung im Kontext der Ressourcenschonung.....	26
Abbildung 17 Zick-Zack-Sichter zur Trennung von Schwer- und Leichtgut. ....	27
Abbildung 18 Siebe unterschiedlicher Maschenweite übereinander gestellt ergeben einen Siebturm.....	28
Abbildung 19 Zerkleinerte LCD-Panels nach der ersten Zerkleinerung (Rasenack, Goldmann). ....	29
Abbildung 20 Summenkurven nach der Zerkleinerung des Ausgangsmaterials in der Hammermühle (Rasenack, Goldmann). ....	29
Abbildung 21 Prozessschritte im Film Clip: Zerkleinerung in einer Schneidmühle und in einer Hammermühle – Festlegung eines Siebschnittes – Fällung und Laugung. ....	30
Abbildung 22 Flyer zur Agnes-Pockels-Vorlesung 2013 .....	36
Abbildung 23 Wie sind sie auf die TU Clausthal aufmerksam geworden? Erstsemesterbefragungen 2005/06 – 2013/14.....	37

Abbildung 24 Nutzung und Wichtigkeit verschiedener Informationsquellen im Zuge der Studienortwahl.....	38
Abbildung 25 Filmsequenz: Anreicherung durch selektive Hydrophobierung des Bleiglanzes und der Zinkblende in zwei Stufen.....	39

## **Projektziele und -beschreibung**

Die Themen Materialeffizienz und Recycling sollte für Schüler <sup>1</sup> der Oberstufenklassen an Gymnasien durch den roten Faden der vielfältigen Bedeutung der „strategischen Metalle“ für Produkte der Informations- und Kommunikationstechnologie, Umwelttechnologien sowie als Legierungsbestandteile metallischer Werkstoffe für besondere Einsatzzwecke in einem neuen Workshop in die Schulen getragen werden, dargestellt am Beispiel eines Produktes dessen Wert jedem sofort einleuchtend ist, dem Smartphone. Für die Herstellung von Mikrocondensatoren in Mobiltelefonen wird Tantal benötigt, welches aus dem Erz Columbit gewonnen wird. Seit den Kongokriegen (1996-1997, 1998 – 2003) wird der Kleinbergbau in den Ostprovinzen der Demokratischen Republik Kongo von Rebellenarmeen oder korrupten Offizieren aus der Regierungsarmee kontrolliert; es steht der Verdacht im Raum, dass die erpressten Schutzzölle zum Waffenkauf verwandt wurden. Die politischen Lösungsansätze der deutschen, europäischen und amerikanischen Politik sollten mit den Schülern in Pro und Contra diskutiert werden. Hier seien nur Stichworte genannt: Zertifizierung der Herkunft der Erze (BGR et al., USA: Dodd-Franck Act, Transparenzinitiativen der Bergbau-Industrie (EITI und Antikorruptionsmaßnahmen: Publish what you pay, Best Practice-Beispiele nachhaltigen Bergbaus in Entwicklungs- und Schwellenländern). <sup>2</sup>

Können eine effiziente Verwendung dieser Metalle in Produkten und ein möglichst hoher Recyclinganteil der technische Beitrag zur Konfliktentschärfung sein? Diese Frage steht im

---

<sup>1</sup> Für den leichteren, sprachlichen Fluss wird hier, im lernenden Unterschied zu den Zwischenberichten, auf die Doppelung ‚Schülerinnen und Schüler‘ oder ‚Lehrer und Lehrerinnen‘ ebenso verzichtet wie auf die Formulierung ‚SchülerInnen‘ oder ‚LehrerInnen‘, wo immer dies möglich war.

<sup>2</sup> <http://www.publishwhatyoupay.org/>, [https://eiti.org/files/EITI\\_Factsheet\\_EN\\_0.pdf](https://eiti.org/files/EITI_Factsheet_EN_0.pdf)

technisch-naturwissenschaftlichen Teil im Fokus des Workshops. Vortrag, Diskussion und praktische, von den Schülern durchgeführte Experimente wechseln sich ab.

Wie wichtig eine Sensibilisierung der Bevölkerung für den Wert der Rohstoffe ist, zeigen die folgenden Zahlen: Die Rücklaufquote von Handys liegt bei unter drei Prozent.<sup>3</sup> Aktuelle Untersuchungen an Hausmüll zeigen, dass pro t Hausmüll im Schnitt zwei Handys gefunden werden. Rechnet man die Zahlen dieser Untersuchungen auf die rund 20 Mio. t Hausmüll um, die als Restabfall pro Jahr in Deutschland anfallen, ergibt sich allein aus dieser Quelle ein Volumen von vierzig Millionen Stück.<sup>4</sup>

Dieser Workshop in den Schulen sollte, so die ursprüngliche Projektplanung, als Attraktor für einen vertiefenden Besuch im neuen Schülerlabor Materialwissenschaften an der TU Clausthal werben. In diesem wiederum sollte das Thema Materialeffizienz unter Bezugnahme auf die Bedeutung strategischer Metalle zur Erhöhung von Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit am Beispiel der Entwicklung von Hartmetallwerkstoffen für die Bohrkronen für die Tiefbohrtechnik und Geothermiebohrungen dargelegt und deren Eigenschaften in Versuchen untersucht werden.

Dieser Ansatz, den Workshop in den Schulen mit einem, späteren, Besuch im Schülerlabor zu verzahnen, erwies sich, trotz einer umfangreichen Werbekampagne und eines detaillierten Internetangebotes, unter den Bedingungen der Verdichtung des Schulstoffs im G8, als nicht tragfähig.<sup>5</sup> Insgesamt konnten nur drei Schulklassen zu Projekttagen gewonnen werden. Das Thema Materialeffizienz wird daher seit dem Frühjahr 2014 in dem Schulworkshop exemplarisch an einem Mountainbike vorgestellt, welches bei einer Fahrt über den Schulhof funkbasiert kontinuierlich Messdaten zur Beanspruchungsmessung aufzeichnet. Erste positive Erfahrungen wurden ausgewertet. Unser Ziel ist, dem Thema bei kommenden Schulbesuchen einen größeren zeitlichen Umfang im Workshop einräumen zu können. Hierfür konnte eine inhaltliche Brücke an das Kerncurriculum des Physikunterrichts in Niedersachsen an Gymnasien, Sekundarstufe im Bereich der Elektrizitätslehre (Widerstandsänderung einer elektrischen Leiterbahn bei Querschnittsänderung) genutzt

---

<sup>3</sup> The Afterlife of Cell phones; New York Times Magazine;  
[http://www.nytimes.com/2008/01/13/magazine/13Cellphone-t.html?\\_r=3](http://www.nytimes.com/2008/01/13/magazine/13Cellphone-t.html?_r=3)

<sup>4</sup> Prof. Dr. Stefan Gäth, „Stand der Forschung zum landfill mining“, Workshop Landfill Mining, 10.02.2012, Berlin

<sup>5</sup> <http://www.we.tu-clausthal.de/schuelerlabore/materialeffizienz/>

werden.<sup>6</sup> Die Einbettung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten in einen praktisch nützlichen, technischen Kontext fördert die Motivation der Schüler.<sup>7</sup>

Vier Lösungsstrategien zur Ressourcenschonung werden im Workshop benannt:

- Effizienzsteigerungen im Primärbergbau bei gleichzeitiger Erhöhung von Umwelt- und Sozialstandards, Stichwort Rohstoffpartnerschaften.<sup>8</sup>
- Substitution kritischer Rohstoffe
- Materialeffizienz
- Recycling<sup>9</sup>

Die Ansätze *Materialeffizienz* und *Recycling* werden im Workshop für die Schüler experimentell erlebbar gestaltet, die weiteren Optionen an Beispielen kurz erklärt.

## ***Recycling-, und Materialeffizienz-Workshops und in den Schulen***

### *Zahlen, Konzeption, Pädagogische Beobachtungen*

#### **Zahlen**

Der Schulworkshop „*Was steckt in deinem Handy? Ökologischer und ökonomischer Wert des Elektronikschrottrecyclings Bergbau und Gewaltökonomie am Beispiel des Kongo*“ wurde während der – um ein Jahr verlängerten - Projektlaufzeit insgesamt 43 Mal an Gymnasien und Berufsbildenden Schulen in Niedersachsen, Hamburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Nordrhein-Westfalen, Hessen und Bayern durchgeführt. Auf diese Weise konnten rund 1.500 Schüler der Oberstufe erreicht werden. Nach Ende der Projektlaufzeit wurde der Workshop weitere fünf Male durchgeführt und bis in den Juni 2015 liegen Buchungen vor.

---

<sup>6</sup> [http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc\\_physik\\_go\\_i\\_2009.pdf](http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc_physik_go_i_2009.pdf) ,

<sup>7</sup> <http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/piko/pikobriefe032010.pdf> Siehe Pikobrief5.

<sup>8</sup> Siehe: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Industrie/Rohstoffe-und-Ressourcen/rohstoffpolitik.html>

Und: <http://ec.europa.eu/environment/natres/index.htm>

<sup>9</sup> Die Megatrends einer wachsenden Weltbevölkerung bei gleichzeitigem Wohlstandsanstieg haben weltweit Anstrengungen vieler Staaten zur Ressourceneffizienz ausgelöst. Siehe: [http://www.ifa.tu-clausthal.de/fileadmin/Aufbereitung/Bilder/Forschung/abgeschlossene\\_Projekte/Studien/ENTIRE-Bericht.pdf](http://www.ifa.tu-clausthal.de/fileadmin/Aufbereitung/Bilder/Forschung/abgeschlossene_Projekte/Studien/ENTIRE-Bericht.pdf)

## **Konzeption**

Der Workshop weist in der Langfassung von sechs Schulstunden die folgende Gesamtstruktur auf:

### **Einleitung**

- Rohstoffe in ihrer Bedeutung für Zukunftstechnologien (Mobilität, Energieversorgung, Informations- und Kommunikationstechnik, Medizintechnik, Leichtbau, Energieeffizienz). Megatrends: Wachsende Weltbevölkerung, Verstädterung, Wohlstandswachstum weltweit, Rohstoffsicherung bei wachsender Konkurrenz, insbesondere mit China.
- Handexperimente zum Verständnis der Grundaussage: Besondere Metalle/Legierungen/Verbindungen weisen besondere Eigenschaften auf: Fluoreszenz von Europiumoxid, Cer- und Bariumaluminaten – Plasmabildschirme, Leuchtstofflampen, Dioden, fälschungssichere Eurogeldscheine.<sup>10</sup> Supermagnete (Neodym-Eisen-Bor) in der Bedeutung für getriebelose Offshore Windkraftanlagen,<sup>11</sup> Formgedächtnislegierungen (Medizintechnik, Stents).

### **Experimenteller Teil I: Mechanische Aufbereitung**

Leitfrage: *Welche Eigenschaften der Stoffe können als ‚Angelhaken‘ genutzt werden, um eine Anreicherung nach Stoffklassen zu erreichen?*

Für den Bereich der Mechanischen Aufbereitung werden vier Versuchsstationen aufgebaut.

- Klassieren mittels eines Siebturms
- Trommelmagnetabscheider
- Dichtentrennung mittels Windsichter
- Flotation am Beispiel des Papierrecyclings

Die Schüler wissen weder, wofür die Geräte dienen sollen, noch nach welchen Prinzipien sie arbeiten. Sie experimentieren und finden, beim eigenen lauten Nachdenken durch eine sokratische Frageführung unterstützt, die physikalischen und chemischen Prinzipien, auf

---

<sup>10</sup> Die Stoffe stehen aus einem abgeschlossenen Forschungsprojekt des Instituts für Aufbereitung, Geomechanik und Deponietechnik zum Recycling der Leuchtstoffe aus Leuchtstofflampen als freundliche Leihgabe zur Verfügung.

<sup>11</sup> Siehe Beitrag Hau, Erich (2014): Elektrisches System. In: Erich Hau (Hg.): Windkraftanlagen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 411–457.

denen die Verfahrensschritte beruhen, selbst heraus. Anschließend sollen sie die Stationen zu einer sinnvollen Verfahrenskette zusammensetzen.

Verfahren, die nicht experimentell vorgeführt, aber für das Verständnis unentbehrlicher Prozessschritte des Elektronikrecyclings wichtig sind, wurden bislang ausschließlich mit Folien erklärt. Seit Oktober 2014 können einige dieser Verfahren, dank der Unterstützung durch die Multimedia-Abteilung des Rechenzentrums, in kurzen Filmsequenzen vorgestellt werden.<sup>12</sup>

## Wirbelstromabscheider

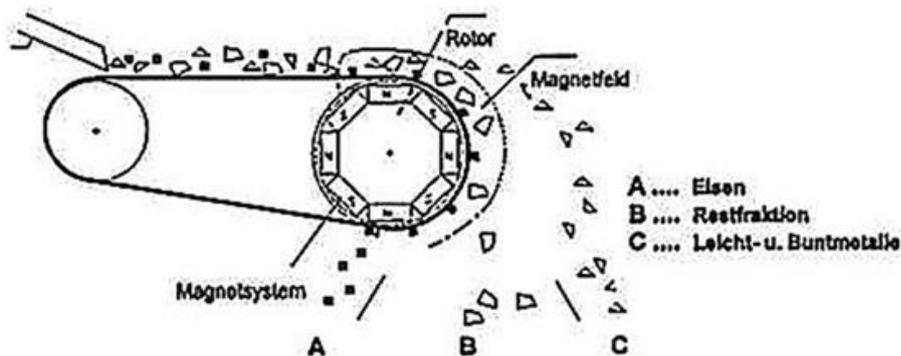


Abbildung 2 Trennung leitender von nicht leitenden Partikeln

Der prinzipielle Aufbau eines Wirbelstromabscheiders ist wie folgt: Über einem sehr schnell laufendem Magnetsystem abwechselnder Polung läuft ein Transportband, das leitende Nichteisenpartikel und nicht leitende Glas- und Kunststoffartikel befördert. Die rotierenden magnetischen Nord- und Südpole induzieren ein elektrisches Wirbelfeld in den Partikeln, welches mit einem magnetischen Wechselfeld verbunden ist. Dieses magnetische Wechselfeld der Teilchen ist dem induzierenden wechselnden Magnetfeld entgegen gerichtet. So werden die Partikel vom Transportband fortgeschleudert. Eine Anordnung des schnell laufenden Magnetsystems diagonal zum Transportband erhöht die Austragsrate der leitenden Partikel. Das Unternehmen Exner Trenntechnik GmbH hat auf diese Weise ein klassisches Verfahren der Aufbereitung optimiert. Am Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik wird der neue Wirbelstromabscheider nun auf den

<sup>12</sup> Die Filmsequenzen wurden aus einem, für das Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik produzierten Film ausgewählt und werden ab sofort in den Schulworkshop integriert. Alle Filmclips sind auch direkt auf dieser Website abrufbar: <http://video.tu-clausthal.de/film/498.html>

Feinkornbereich angewandt, für welchen zuvor keine verfahrenstechnische Lösung existierte.



Abbildung 3 Filmsequenz zum optimierten Wirbelstromabscheider.

Foto: TU Clausthal

# Magnetabscheider

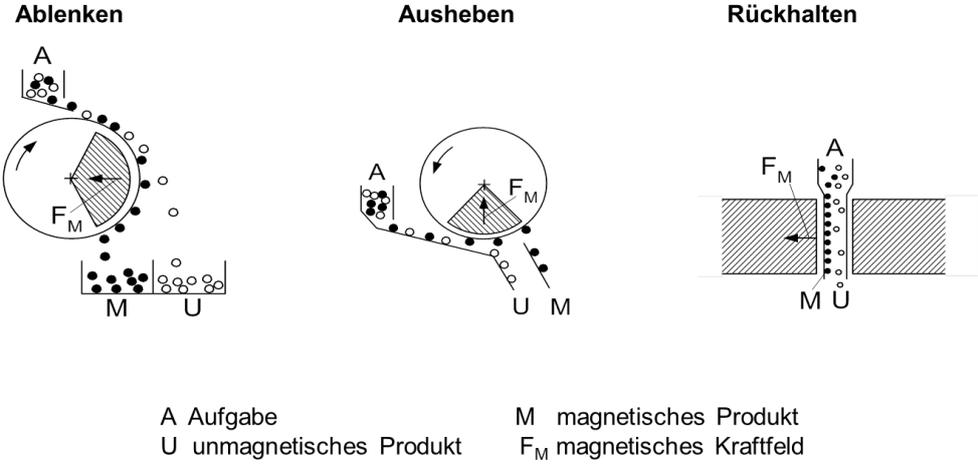


Abbildung 4 Trennung magnetischer Metalle von nicht magnetischen Stoffen



Abbildung 5 Filmsequenz eines Überbandmagneten

## Nasstrenntisch



Abbildung 6 Dichtentrennung im wässrigen Medium für Feinstpartikel.

Ein Nasstrenntisch hat eine gerillte Oberfläche und wird mit einer Schwingung beaufschlagt. „Unter der Wirkung von Strömungs- und Masseträgheitskräften wandern Körner unterschiedlicher Dichte auf der geneigten Platte zu unterschiedlichen Plattenenden.“<sup>13</sup>

Der im Filmausschnitt gezeigte Nasstrenntisch steht im Physikalischen Laboratorium des Instituts für Aufbereitung. Das für den gezeigten Versuch eingesetzte Material ist Neuschrott. Es handelte sich um den Feinstkorn Bereich zerkleinerter defekter Kupferleiterplatten. Experimentell können die Schüler bisher im Workshop die Dichtesortierung im Luftstrom ausprobieren (Zick-Zack-Sichter).

Zukünftig werden wir im Workshop die Funktionsweise des Nasstrenntisches mit klassischen Goldwaschpfannen ‚nachspielen‘. Wir versprechen uns davon, einen spielerischen Ehrgeiz zu wecken, wer schwenkt so vorsichtig, dass er das beste Trennergebnis erzielt? Es ist ein elementarer Zugang vom Verständnis von Strömungs- und Masseträgheitskräften, der für Oberstufenkurse sofort zu der Frage ‚aufgebohrt‘ werden kann: Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit das Verfahren funktioniert? – Stromklassierung, Gesetz von Stokes.

---

<sup>13</sup> Hans Martens, Recyclingtechnik, Heidelberg 2011, S. 27.

## Politisch-historischer Einschub: Wo kommen die Rohstoffe für unsere Smartphones?

Unter welchen Bedingungen werden sie gewonnen? Wie kann Rohstoffgewinnung zur Entwicklung von Wohlstand beitragen?

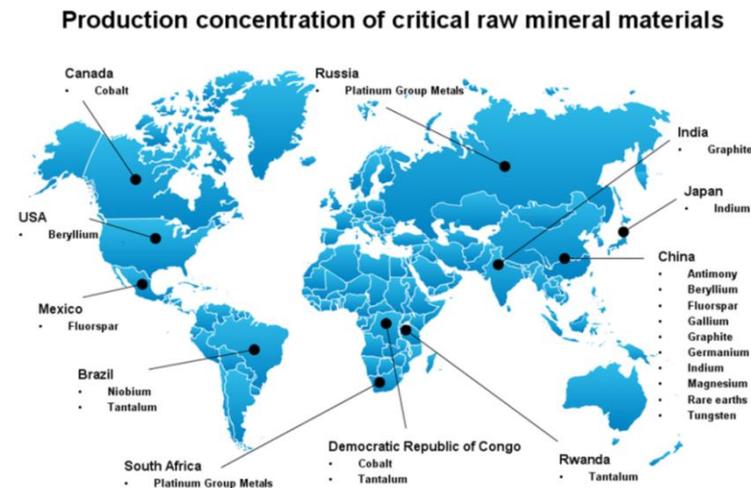


Abbildung 7 Metallerzbergbau auf strategisch wichtige Metalle weltweit.

Quelle: Europäische Kommission, Brüssel 17. Juni 2010

Rund 60 Elemente des Periodensystems werden heute für ein Smartphone benötigt. Wir wählten zur Beantwortung unserer Leitfrage das Element Tantal aus. In der Form von Tantaloxid weist es eine hohe Dielektrizitätskonstante auf und ist so für den Bau miniaturisierter Hochleistungselektrolytkondensatoren geeignet; zur Regelung von Spannungsspitzen ein unverzichtbares Bauelement in Laptops und Mobiltelefonen.

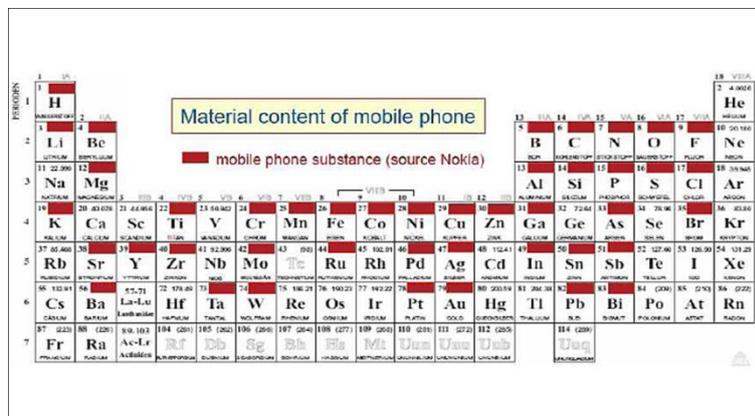


Abbildung 8 Funktionsvielfalt und Zuverlässigkeit elektronischer Geräte erfordert Elementvielfalt

Bergbau auf Tantal gibt es vorwiegend in Zentralafrika sowie in Brasilien. Australien besitzt ebenfalls große Tantalvorkommen. In Abhängigkeit des Preises für Columbit-Tantalit wird das australische Tantalerz aber nur unregelmäßig gefördert.<sup>14</sup> Als um das Jahr 2000 ein starker Aufschwung der Elektronikindustrie einsetzte, war das im industriellen Großbergbau gewonnene Columbit-Tantalit in langfristigen Lieferverträgen gebunden und die aktuell steigende Nachfrage konnte kurzfristig nicht durch eine vom Preissignal ausgesandte marktwirtschaftliche Angebotserweiterung befriedigt werden.<sup>15</sup> Das Knappheitssignal steigender Preise wurde spekulativ verstärkt. So stieg der Preis für frei verfügbares Tantal binnen Jahresfrist auf das Zehnfache an. In diese Lücke sprang im Kleinstbergbau gewonnenes Columbit aus der Demokratischen Republik Kongo.

Die Demokratische Republik Kongo (DRC) könnte aufgrund ihres Rohstoffreichtums an Kupfer-, Gold-, Uran-, Diamanten, Zinn-, Kobalt- und Columbit-Tantaliterzen eines der reichsten Länder der Erde sein und rangiert tatsächlich auf Platz 187.<sup>16</sup>

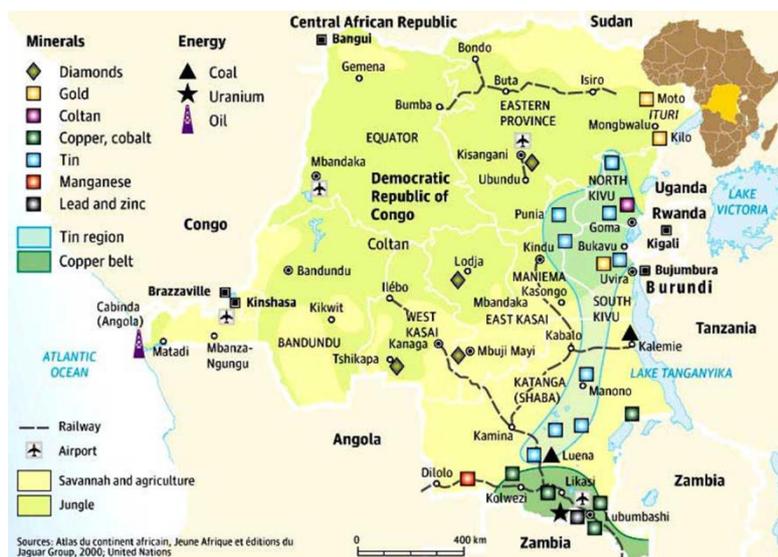


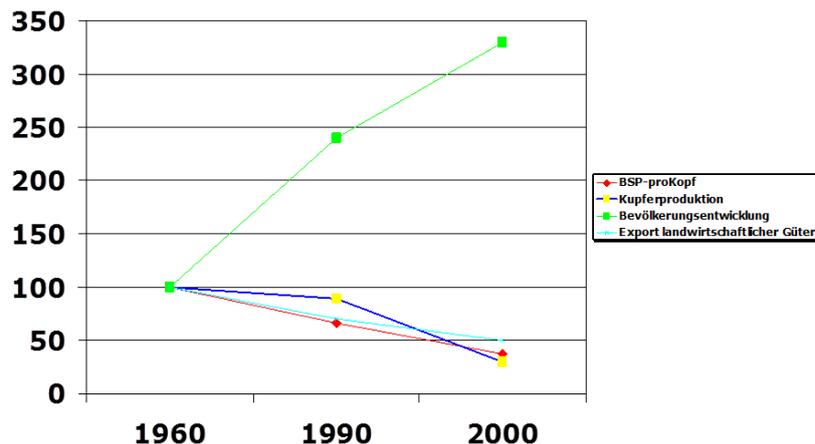
Abbildung 9 Rohstoffvorkommen in der Demokratischen Republik Kongo

<sup>14</sup> [http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Aktuelles/rohstoff\\_tantal.html](http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Aktuelles/rohstoff_tantal.html)

<sup>15</sup> Michael Nest, Coltan, Cambridge, 2011

<sup>16</sup>

[http://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/HDR/2011%20Global%20HDR/English/HDR\\_2011\\_EN\\_Complete.pdf](http://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/HDR/2011%20Global%20HDR/English/HDR_2011_EN_Complete.pdf) Seite 133



**Abbildung 10** Entwicklung des Bevölkerungswachstums, Pro-Kopf-Einkommens, der Kupferproduktion und des Exportes landwirtschaftlicher Güter in der DR Kongo.

Auf die Ausgangsverhältnisse des Bezugsjahres 1960 genormte eigene Darstellung. Quellen: IMF, 2004 Sources of Growth in the Democratic Republic of the Congo: A Cointegration Approach, Bernardin Akitoby And Matthias Cinyabuguma und zit. nach deutsche Wikipedia /Originalquelle: Fischer Almanach und CIA Fact Book.

Die Geschichte des (ökonomischen) Niederganges eines Landes zu schildern, das in der Zeit der Kolonialherrschaft (materiell) reicher als heute war, ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, weil sie in der Gefahr lebt, dass junge, unvorbereitete Menschen den fatal falschen Schluss ziehen könnten, an diesem Niedergang wären die Kongolesen doch selbst schuld. Sie wären doch frei gewesen. Deshalb war es aus unserer Sicht nötig die Vorgeschichte des heutigen Elends sichtbar zu machen; dies jederzeit in einer nicht manipulativen Weise. Denn nur so konnte die Darstellung überzeugend werden.

.... „der Kongo ... war 1900 eine vom Ausland dominierte bluttriefende Kautschukplantage und ist heute eine vom Ausland dominierte bluttriefende Edelmetall- und Diamantenmine.“<sup>17</sup>

Den Ursachen dieses Befundes wurde nachgegangen:<sup>18</sup>

- 1885- 1906: Versklavung und Vernichtung von bis zu 10 Millionen Menschen auf den belgischen Kautschukplantagen. Folge: „Die Ära der Morde und Verstümmelungen,

<sup>17</sup> Andreas Exenberger, Chiffren zur Globalisierung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (ca. 1850- 1914), Mimeo (gemeinsam mit Josef Nussbaumer), Jänner 2003 , S. 21

<sup>18</sup> Siehe: Wegweiser zur Geschichte Demokratische Republik Kongo, Militärgeschichtliches Forschungsamt Potsdam 3. überarbeitete Auflage, 2008

*ist, wie wir hoffen, vergangen, aber das Land ist in einen Zustand hündisch ergebener hoffnungsloser Sklaverei versunken.“<sup>19</sup>*

- 1960: Chaotischer Übergang in die Unabhängigkeit, Bürger- und Stellvertreterkrieg.
- Räuberische Mobutu-Herrschaft und erzwungene Demokratisierung nach Ende des Kalten Krieges
- Völkermord in Ruanda (1994) strahlt auf den Osten des Kongos aus und löst zwei Kriege aus.
- Intervention der UNO bis heute.

Das dominierende Erklärungsmodell der Ursachen der andauernden politischen Krise der DR Kongo nach 2001:<sup>20</sup>

- Kollaps des Staates (Machtvakuum)
- mehr als zwei Kriegsparteien,
- mehr als 50.000 Soldaten unter Waffen
- kein klarer Sieg einer Seite
- feindliche staatliche Nachbarn (Ruanda, Uganda)
- verfügbare natürliche Ressourcen – als Finanzierungsquelle neuer kriegerischer Auseinandersetzungen

Dies leitete über zu der Frage, was können Staaten tun, damit ihr Rohstoffreichtum nicht zum ‚Ressourcenfluch‘ wird?

- Verstetigung der staatlichen Budgetlage durch Rücklagenbildung in Fonds zu Zeiten hoher Rohstoffpreise. Beispiele: Norwegen, Chile, Botswana.
- Bekämpfung der Korruption durch transparente, gesetzeskonforme Vergabe von Förderkonzessionen,
- Transparenz der Mittelverwendung – Pressefreiheit,
- Finanzierung von Rebellenarmeen mittels illegaler Erzverkäufe durch Zertifizierungen verhindern

Mit der These des ‚Ressourcenfluchs‘ wird das irritierende Faktum beschrieben, dass in vielen der an Rohstoffen reichen Länder große Teile der Bevölkerung bitterarm sind und die Länder von gewalttätig ausgetragenen Konflikten erschüttert werden.

---

<sup>19</sup> [Sir Arthur Conan Doyle, Crime of the Congo, London 1909](#), eigene Übersetzung

<sup>20</sup> The Democratic Republic of Congo: Economic Dimensions of War and Peace, M. Nest, with F. Grignon and E. Kisangani (Boulder: Lynne Rienner, 2006), Beitrag Kisangani, S. 100

In den Wirtschaftswissenschaften ist diese in den 90er Jahren von vielen Wissenschaftlern vertretene These mittlerweile umstritten. Anscheinend diese These bestärkende Fakten könnten einer Fehlinterpretation geschuldet sein. Länder, deren Rohstoffausfuhr einen Großteil ihres Bruttoinlandsproduktes ausmacht, sind innovationsarme, einseitig ausgerichtete Staaten mit schwachen Institutionen. In ihnen stützen die Rohstoffeinnahmen eine Rentiermentalität der Eliten und können deshalb keine Wachstumsimpulse auslösen. In Ländern, in denen die Rohstoffeinnahmen investiert wurden, trugen sie dazu bei, die Lebensbedingungen insgesamt deutlich zu verbessern. Es ist daher, so die Gegenthese, Vorsicht geboten, einen Reichtum an Ressourcen zu verfluchen, hieße den Ausweg aus der Misere eines Landes nicht zu erkennen.<sup>21</sup>

Die politisch, technische Einhegung des illegalen Verkaufs von Rohstoffen im Rahmen des *Dodd-Frank Act* und der jüngst in der europäischen Debatte aufgetauchte alternative Vorstoß des Bundesverbandes der Deutschen Industrie, basierend auf einem Gutachten des Öko-Institutes beenden diesen Teil des Workshops.<sup>22</sup>

## ***Experimenteller Teil II: Hydrometallurgie***

Für den Bereich der Bereich der Hydrometallurgie werden ebenfalls vier Stationen als Demonstrationsexperimente aufgebaut.

## ***Ionenaustausch zur Gewinnung von Reinmetallen***

Aus den mit der mechanischen Aufbereitung erzeugten Metallkonzentraten müssen die Reinmetalle mit Hilfe von Schmelzvorgängen und hydrometallurgischen Verfahren gewonnen

---

<sup>21</sup> Siehe: Brunnschweiler, Christa N.; Bulte, Erwin H. The resource curse revisited and revised: A tale of paradoxes and red herrings. *Journal of Economics and Environmental Management*, 55, 3, 248–264 10.1016/j.jeem.2007.08.004. Die im Hintergrund stehenden Modellierungen schuladäquat aufzubereiten, wäre ein Extrathema für den Mathematik- und Politikunterricht gewesen. Die Kolonialgeschichte Afrikas taucht im Kerncurriculum Geschichte der niedersächsischen Gymnasien nicht auf: [http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc\\_geschichte\\_go\\_i\\_03-11.pdf](http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc_geschichte_go_i_03-11.pdf). Eine Einbindung in den Politikunterricht wäre prinzipiell möglich gewesen, wurde aber nur in Duisburg, Steinbart-Gymnasium, Hamburg, Heisenberg-Gymnasium und Osnabrück, Gymnasium in der Wüste realisiert. Siehe auch: [http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc\\_go\\_powi\\_07\\_nib.pdf](http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc_go_powi_07_nib.pdf) Die positiven Ausnahmen blieben leider seltene Sternstunden.

<sup>22</sup> [http://www.bdi.eu/163\\_PM-Vorschlaege-zum-Umgang-mit-Konfliktmineralien.htm](http://www.bdi.eu/163_PM-Vorschlaege-zum-Umgang-mit-Konfliktmineralien.htm)

werden. Dabei kann es sich um selektive Elektrolyse, Fällungsreaktionen und Laugung handeln, wenn es sich um einfache Trennprobleme handelt und die beteiligten Stoffe finanziell keinen herausragenden Wert besitzen. Für problematische Trennungen wie im Fall der Seltenen Erden, die sich wegen ihrer Elektronenkonfiguration chemisch sehr ähnlich sind, werden verfahrenstechnisch anspruchsvollere Prozesse eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Ionenaustauschreaktionen an festen und flüssigen Phasen.

### ***Fester Kationentauscher***

Um den Ablauf der Reaktion optisch veranschaulichen zu können wird die Trennung an einer Modelllösung aus Kupfer- und Kobaltsalzen durchgeführt, da  $\text{Cu}^{2+}$  - Ionen blaue und  $\text{Co}^{2+}$  - Ionen rote Lösungen ergeben. Das Gemisch ist dementsprechend violett. Der Ionenaustauscher befindet sich als Packung in einer Chromatographiesäule, durch die das Gemisch aus einem Tropftrichter langsam fließt, wobei das Kupfer selektiv gebunden wird und das Kobalt die Säule passiert. Durch Spülen mit einer starken Säure wird in einem zweiten Schritt das Kupfer rein in Lösung gebracht. Die beiden verschieden gefärbten Lösungen verdeutlichen das Trennergebnis.

### ***Flüssiger Anionentauscher***

Kupfer bildet mit starker Salzsäure den grün gefärbten Komplex  $(\text{CuCl}_4)^{2-}$  und kann mit Hilfe eines Anionentauschers aus der wässrigen Phase in eine organische Phase extrahiert werden (Solvent-Extraktion). Beide Komponenten befinden sich dazu in einem Schütteltrichter und werden innig vermengt, um den Phasenübergang zu ermöglichen. Nach dem Absetzen kann die wässrige Phase abgezogen und der Ionenaustauscher mit Wasser ausgeschüttelt werden, da der Komplex nur in stark saurer Umgebung stabil ist und bei höheren pH-Werten das  $\text{Cu}^{2+}$ -Ion (blau) vorliegt. Beispielhaft wird so gezeigt, wie sich Metalle, die bestimmte chemische Reaktion eingehen von solchen trennen lassen, die es nicht tun.

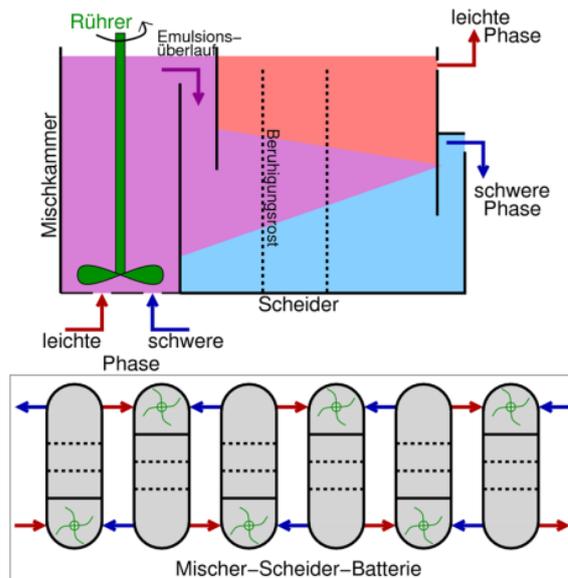


Abbildung 11 Solventextraktion im kontinuierlichen Betrieb

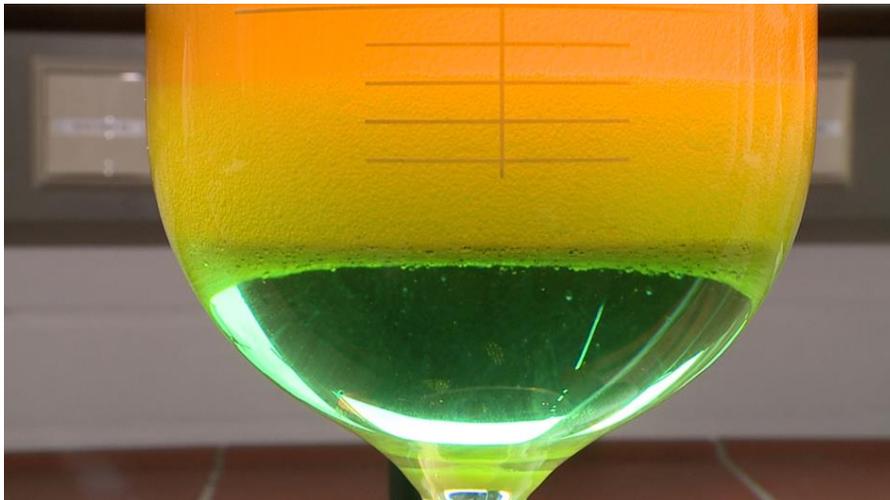


Abbildung 12 Zeitrafferaufnahme der Verdrängung des  $\text{Cu}^{2+}$  Ions aus dem Anionenaustauscher.

Bei höheren pH-Werten zerfällt der grün gefärbte Kupferchlorokomplex. Das blau gefärbte Kupferkation kann sich in dem Anionenaustauscher nicht halten und wird aus dem Anionenaustauscher verdrängt. Dieser Prozess benötigt Zeit (ca. 30 Minuten). In Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum konnte – nach Projektende - ein Zeitrafferclip erstellt werden.

### **Laugung und Fällung**

Nach allen Produktlebenszyklen und in industriellen Prozessen fallen feste oder flüssige Reststoffe an. Für deren Aufarbeitung stehen noch nicht ausreichend mechanische und chemische Verfahren zur Verfügung, um eine zweckmäßige Nutzung der Rohstoffe zu gewährleisten. Mechanische Verfahren sind geeignet selektiv aus den festen Stoffströmen Konzentrate von Wertstoffen zu erzeugen. Diese werden, wenn es sich um Metalle handelt, in pyrometallurgischen Verfahren und, sofern deren Wirtschaftlichkeit gegeben ist, in hydrometallurgischen Schritten zu reinen Stoffen weiter verarbeitet.

Die selektive Fällung und Laugung einzelner gelöster Metallionen in flüssigen Wertstoffströmen kann z. B. durch die Einstellung des pH- Wertes oder durch die Bildung von Komplexverbindungen erreicht werden. Wenn, wie im Fall der „Seltene Erden“ der Aufwand durch Fällung, Laugung und Kristallisation zu groß ist, bietet sich der Einsatz von Ionentauschern an.

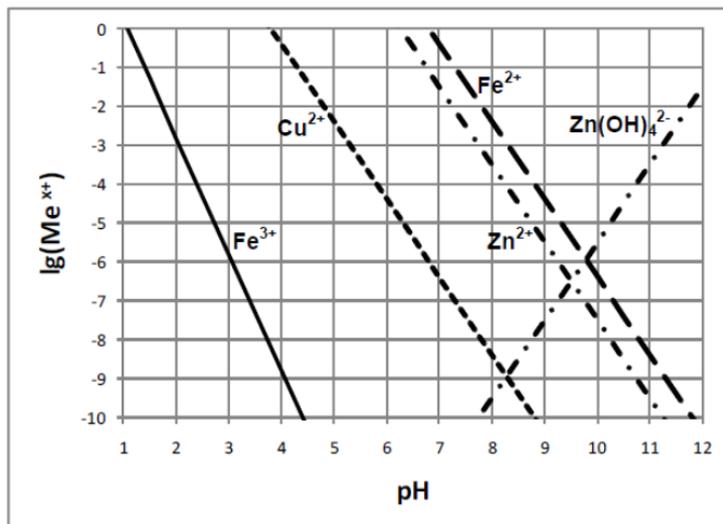


Abbildung 13 Löslichkeit verschiedener Metallionen in wässriger Phase in Abhängigkeit vom pH Wert

Quelle: Praktikumsanleitung des Instituts für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik „Verfahrenstechniken zur Kreislaufführung von Prozesswasser“.

Als Modell für eine Fällung wird im Workshop die Zugabe von Natronlauge zu einer Kupfersulfatlösung genutzt, aus der bei der langsamen Zugabe Kupferhydroxid ausfällt. Durch die Zugabe von Ammonium-Ionen lässt sich der Niederschlag als Kupfertetramin-Komplex wieder lösen und so wieder in die wässrige Phase überführen.

### **Integration des Themas Materialeffizienz in den Schulworkshop**

Das Schülerlabor Werkstoffentwicklung ließ sich trotz intensiver Bemühungen wie einer umfangreichen Internetpräsenz und einer Bewerbung in den Schulworkshops nicht etablieren.<sup>23</sup> Es fanden insgesamt nur drei Besuche statt. Die Schulen zeigten kein Interesse für dieses unterrichtsfremde Thema Exkursionszeit aufzuwenden. Schlussendlich wurde das Thema *Materialeffizienz* exemplarisch am Beispiel der Betriebsfestigkeit in den Schulworkshop integriert.

<sup>23</sup> <http://www.we.tu-clausthal.de/schuelerlabore/materialeffizienz/>

Das Fachgebiet der Betriebsfestigkeit verwirklicht *Materialeffizienz*: Ihr Ziel ist, nur so viel Material einzusetzen, wie zum ausfallsicheren Betrieb eines Bauteils während dessen Lebensdauer benötigt wird. Zur Dimensionierung von Bauteilen wird der Beanspruchbarkeit des Bauteils die Beanspruchung durch einwirkende Lasten gegenüber gestellt. Ziel des Ingenieurs ist, nur so viel Werkstoff wie erforderlich für das Bauteil einzusetzen, sodass die von außen einwirkenden Lasten ertragen werden.

Eine schwierige Aufgabe für den Ingenieur ist die Abschätzung der einwirkenden Lasten, da sie von vielen Einflussgrößen abhängen. Sicherer wird die Lastannahme, wenn die Lasten während der Nutzung des Bauteils gemessen werden. Es wurde ein Fahrrad für die Messung der Belastungen während der Nutzung mit Messtechnik ausgestattet und auf dem Schulhof als Demonstrator für die Messung von Beanspruchungen eines Bauteils eingesetzt. Die Beanspruchung eines Fahrrades ist den Schülern aus eigener Nutzung bekannt, die Messstellen an Lenker und Rahmen sind gut sichtbar.



**Abbildung 14 Messstellen am Fahrrad**

Ein Schüler erzeugt aktiv eigene Messdaten, indem er selbst mit dem Fahrrad über den Schulhof fährt, während seine Mitschüler die dynamischen Lastprofile am Rechner beobachten. Der Messaufbau besteht aus:

- Beanspruchungssensoren, die auf Lenker und Rahmen aufgeklebt werden (Dehnmessstreifen),
- einer mobilen Sendeeinheit für die Messsignale auf dem Fahrrad,
- einer stationären Empfangseinheit für die Messsignale,
- Messverstärkern zur Aufbereitung der Messdaten für den PC
- und einem Monitor oder Beamer zur Anzeige der Messdaten

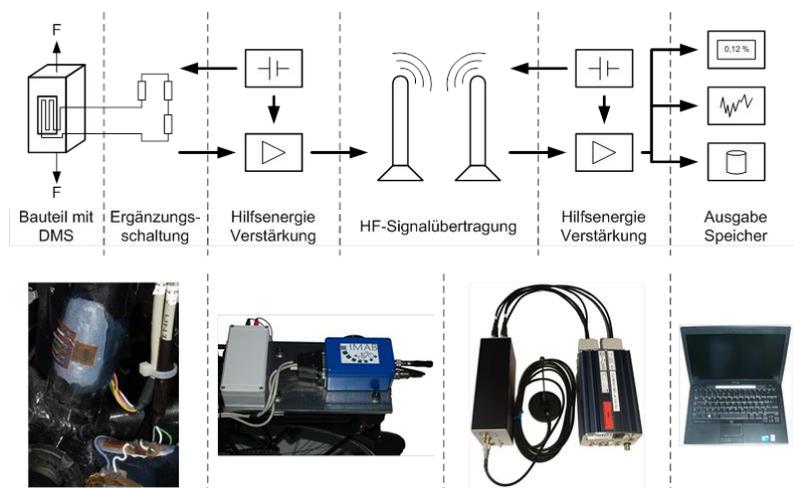


Abbildung 15 Messkette

## Pädagogische Beobachtungen

*Vielfalt technischer Wege zur Ressourceneffizienz darzustellen, vermeidet unerwünschte Folgen einer ‚Katastrophenpädagogik‘*

Das Thema des Workshops wies eine enorme Bandbreite auf, von der Kolonialgeschichte und aktuellen Politik der Demokratischen Republik Kongo, über geochemische Zertifizierungsverfahren bis zum Elektronikschrottreycling in seinen konkreten Verfahrensschritten (Mechanische Aufbereitung mit Experimenten, Pyrometallurgie in Theorie, Hydrometallurgie in Experimenten).

Eine entscheidende Frage zu Beginn des Projekts war daher, würden sich Schüler und Lehrer finden, die an dieser Komplexität interessiert sind? <sup>24</sup> Unsere Erfahrung: Nicht immer und nicht zu jeder Zeit.

An Projekttagen können Schulen sich einem Thema in großer Ausführlichkeit widmen. Hierfür stellen wir den Lehrern eine Kurzfassung unseres Foliensatzes vorab zur Verfügung, besprachen mit ihnen, welche Verfahren mit den Schülern im Schulunterricht in den

---

<sup>24</sup> Siehe auch: <http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/wanka-findet-studenten-zu-unpolitisch-a-999749.html>, <http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/studie-studenten-sind-unpolitisch-und-konsumorientiert-a-999294.html>, Wissenschaftliche Langfassung: [http://www.bmbf.de/pub/12\\_Studierendensurvey\\_Langfassung\\_bf.pdf](http://www.bmbf.de/pub/12_Studierendensurvey_Langfassung_bf.pdf)

Grundzügen vorbereitet werden könnten, nannten Internetquellen und liehen den Schulen einen Film zur Vorbereitung. Mit diesem Vorlauf konnten Veranstaltungen auf erhöhtem Niveau realisiert werden.<sup>25</sup>

Wurde der Workshop hingegen im Vorfeld einer naturwissenschaftlichen Unterrichtseinheit in die Schule geholt, in welcher anschließend einzelne Verfahren in Vereinfachung zum Unterrichtsgegenstand wurden, so war ein sechsständiger Schul-Workshop nicht möglich und schon die Abweichung vom Doppelstundenprofil konnte zu erheblichen Organisationsproblemen führen. Unter diesen Bedingungen mussten Vertiefungen der Thematik ‚chirurgisch‘ herausgeschnitten werden, ohne den roten Faden aufzugeben.

Als die besten Veranstaltungen erwiesen sich diejenigen, bei denen die Schulen aus verschiedenen Kursen Schüler auswählten.

Das Stereotyp ‚Naturwissenschaftler hätten kein Interesse an Politik und politisch Interessierte Vice versa kein Interesse an Naturwissenschaft konnte widerlegt werden. Bei in den Natur-, aber auch in den Gesellschaftswissenschaften leistungsstarken Schülern zeigte sich, dass sie die Komplexität als intellektuelle Herausforderung annahmen. Die Schüler wurden aufgefordert die Perspektiven verschiedener Akteure in dem Konflikt einzunehmen, so auch diejenige der Kriminellen, welche Kontrollen unterlaufen wollen, während UNO und NGO's die Lebensbedingungen der Zivilbevölkerung durch das Setzen förderlicher Regeln verbessern wollten.<sup>26</sup> Die Schüler sollten ein Gespür entwickeln, wie anspruchsvoll die Aufgabe ist nebenwirkungsarme, den Zielsetzungen dienliche Rahmenbedingungen zu erfinden. Das Thema entwickelte sich während der Projektlaufzeit dynamisch:

Der Dodd-Frank Act, mit dem in Amerika börsennotierte Unternehmen verpflichtet werden die Herkunft ihrer Rohstoffe nachzuweisen, offenbarte Nebenwirkungen. Die großen amerikanischen Elektronikkonzerne zogen sich aus dem Rohstoffankauf in der Demokratischen Republik Kongo ganz heraus, mit der Folge, dass die Arbeitslosigkeit im Osten des Kongo stieg und der Schmuggel über die Landesgrenzen nach Ruanda zunahm. Im Endergebnis kaufte die Volksrepublik China die Erze zu niedrigeren Preisen auf, ein zusätzlicher Schaden für die Arbeiter. Diese Entwicklung provozierte einen alternativen Ansatz der deutschen Industrie, welcher fachseitig durch ein Gutachten des Öko-Institutes

---

<sup>25</sup> <http://future.arte.tv/de/sind-seltene-erden-ersetzbar>,  
<http://www.filmeineWelt.ch/deutsch/files/52050.pdf>, <http://heisenberg-gymnasium-hamburg.de/die-schule/schulleben/2014/projekt-flying-science-circus/>

<sup>26</sup> United Nations Organisation (UNO) , Non Governmental Organisations (NGO)

gestützt wurde; eine verlässliche Quelle, steht das Öko-Institut nicht im Ruf Industrieinteressen gegenüber willfährig zu sein.<sup>27</sup> In diesem, wie auch im Fall des, von der Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR) entwickelten *Analytical Fingerprint* (AFP) stellte sich während der Projektlaufzeit immer wieder die Aufgabe Unterrichtsmaterialien zu aktualisieren. Die Schüler lernten, dass es auch für schwerwiegende Probleme tragfähige Lösungsansätze entwickelt werden können und Technik, wie im Falle des AFP der BGR helfen kann, Korruption und illegalen Waffenkauf zu unterbinden.<sup>28</sup>

Die Unterrichtsstunden, in denen sich auf Seiten der Schüler politisch-historisches und technisch-naturwissenschaftliches Interesse mit Empathie verband, gehörten zu den Sternstunden des Projektes. Allerdings kann nicht verhehlt werden, ein im Allgemeinen eher niedriges Interesse an politisch-historischen Fragen, wie jüngst für die nur wenige Jahre älteren Studenten diagnostiziert, trafen wir in den Schulen oft an. Wir erreichten die Schüler am ehesten, wenn sie sich darauf einließen, die Motive und Handlungsoptionen verschiedener Akteure im Kongo-Konflikt einzunehmen und dann aus der Vogelperspektive als ‚Sozialingenieure‘ sich auf die Suche nach geeigneten politischen Randbedingungen für eine reale Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen im Kongo zu begeben; insbesondere, wenn sie die Diskussionsführung als grundsätzlich offen erlebten und Thesen zur Ursachenerklärung der Konflikte sofort mit ihnen widersprechenden Fakten konfrontiert wurden.<sup>29</sup> Der ‚Betriebsunfall‘ des Projektes, dass sich das Schülerlabor Materialeffizienz

---

<sup>27</sup> <http://www.oeko.de/oekodoc/1809/2013-483-en.pdf>,  
<http://www.presseportal.de/pm/6570/2679745/bdi-guter-eu-ansatz-zum-umgang-mit-sogenannten-konfliktmineralien>

<sup>28</sup> [http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Min\\_rohstoffe/CTC/Home/CTC\\_node\\_en.html](http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Min_rohstoffe/CTC/Home/CTC_node_en.html)

<sup>29</sup> Vgl. 12. Studierendensurvey, Berlin 2014, S. 421: „*Angesichts des umfänglichen Rückgangs beim politischen Interesse der Studierenden stellt sich die Frage nach den Gründen. Wodurch ist es bedingt, dass an den Universitäten noch vor zwölf Jahren sich fast die Hälfte als stark interessiert einschätzte, 2013 aber nur noch ein gutes Drittel? (...) Eine Erklärung führt die zunehmende Komplexität von Politik an, deren Undurchschaubarkeit und Unübersichtlichkeit mehr Desinteresse hervorrufen. Andere verweisen auf einen allgemeinen Trend zur politischen Passivität und Apathie, die sich auch bei den Studierenden ausbreite. Schließlich sehen manche auch eine Ursache in den neuen, strikteren Studienverhältnissen, wodurch die Studierenden mehr eingespannt seien und ihnen weniger Zeit für andere Interessen bleibe, auch für das politische Geschehen. Offenbar greifen alle drei Bedingungen ineinander und führen dadurch zum vermehrten Desinteresse, sich mit politischen Fragen auseinander zu setzen.*“

nicht realisieren ließ, erwies sich als unerwarteter Glücksgriff - die Vielfalt technischer Lösungsansätze zur Ressourcenschonung wurde erlebbar.

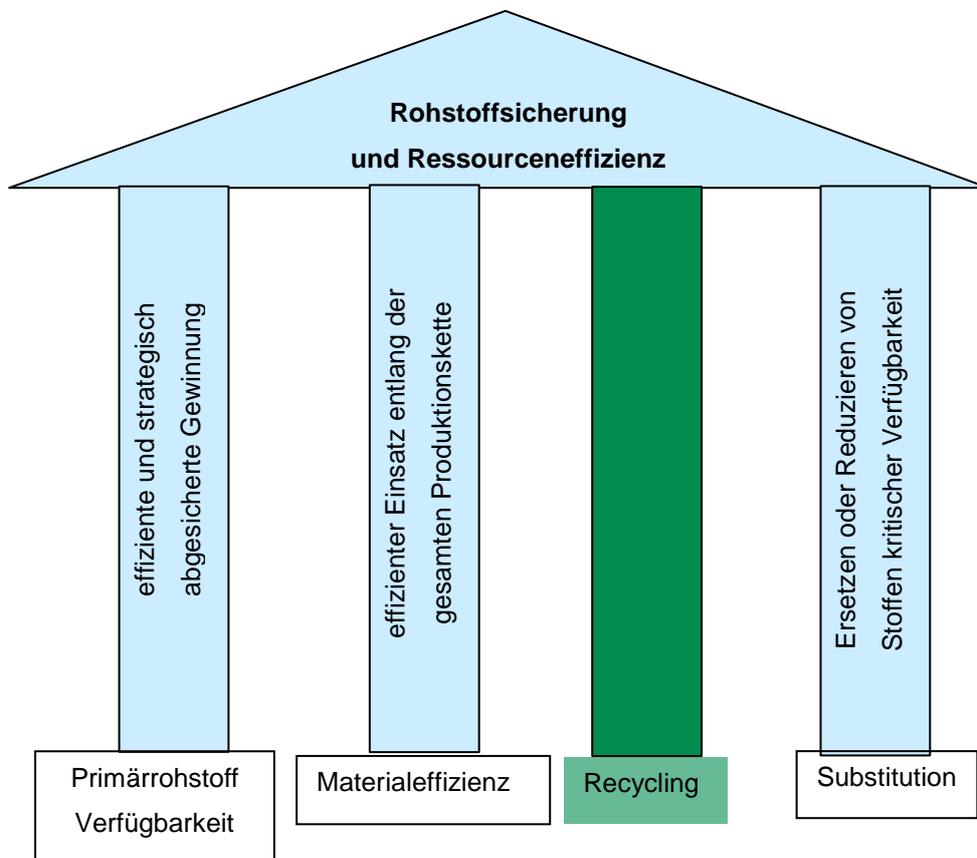


Abbildung 16 Recycling als Beitrag zur Rohstoffsicherung im Kontext der Ressourcenschonung.

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann, Einführungsvorlesung Recycling II im Sommersemester 2014

### Schulwissen in Technikverständnis umsetzen

Bei den physikalischen Experimentierstationen war die Funktionsweise der Geräte scheinbar ‚simpl‘. Der ingenieurmäßige ‚Clou‘ steckt oft im Detail. Zwei Beispiele:

Beim Windsichter trifft ein Gemisch spezifisch leichterer und schwerer Partikel in einem abwärts gerichteten Kanal auf eine, der Schwerkraft entgegen gerichteten, über den Luftwiderstand der angeströmten Fläche der Partikel hebende Luftkraft.

Je nachdem, ob:

$$m \times g \leq \text{oder} \geq \text{als } \frac{1}{2} c_w \times \rho \times v^2 \times A$$

fällt oder steigt ein Partikel im Rohr.

Wir wollen die Schüler auf ingenieurtechnische Details aufmerksam machen, die oft für den technischen Erfolg der angewandten physikalischen Methodik entscheidend ist und fragen

daher die Schüler: Warum verläuft das Rohr aber im Zick-Zack? Antwort: Agglomerierte Partikel unterschiedlicher Dichte trennen sich durch die Stöße an den Wänden, erfahren einen ablenkenden Impuls und beschreiben eine Wirbelwalze – der Weg zur Trennung von Partikel unterschiedlicher Dichte wird länger. So wird das Trennergebnis verbessert.

Seit Oktober 2014 steht uns eine kurze Filmsequenz zur Verfügung, welche die im Zick-Zack-Kanal auftretenden Wirbelwalzen, die im realen Betrieb mit bloßem Auge kaum zu erkennen sind, in Zeitlupe zeigt; sofern agglomerierte Teilchen von unterschiedlicher Dichte sind, können sie erst durch die Lösung voneinander eine Trennung erfahren. Die Wegverlängerung der fallenden Partikel in der Wirbelwalze trägt gleichfalls zu dem verbesserten Trennergebnis bei.



Abbildung 17 Zick-Zack-Sichter zur Trennung von Schwer- und Leichtgut.

### **Klassieren als notwendige Voraussetzung zur Dichtentrennung**

Das Klassieren mit dem Siebturm empfanden die Schüler als ‚stinklangweilig‘, wurden sie aber gefragt, wofür dieser Schritt denn sinnvoll sein könnte in einem Recyclingprozess, erkannten sie nicht anfangs nicht die innere Verbindung zur Dichtentrennung – nur eine einheitliche Kornklasse erlaubt eine Trennung entlang von Dichteunterschieden. Diese Verständnishürde trat auf, obwohl sie zuvor die Dichte als mögliches Trennkriterium genannt hatten.

Oft schütteten sie zu viel auf ein Sieb, so dass kleine Körner durch unter ihnen liegende größere nicht durch die Maschen in die Siebklasse der nächsten feineren Körnung fallen konnten. Das Siebgut auf den Siebböden sollte in Becher gefüllt und die entstandene Siebklasse beschrieben werden. Sie brauchten oft eine Zeitlang, um zu verstehen, dass weniger mehr gewesen wäre.



Abbildung 18 Siebe unterschiedlicher Maschenweite übereinander gestellt ergeben einen Siebturm.

Quelle: Wikipedia

Ein ‚Aha-Erlebnis‘ stellte sich ein, als eine unerwartete Anwendung der Korngrößenklassierung aus einem Clausthaler Forschungsvorhaben zum Recycling von Flachbildschirmen vorgestellt wurde. Indium-Zinnoxid wird in Flachbildschirmen für leitende Kontakte verwendet, weil es die Eigenschaft hat, sehr dünn aufgetragen, durchsichtig zu sein. Für die Wiedergewinnung des Indiums werden die Flachbildschirme in Streifen zerschnitten und in einer Hammermühle zerkleinert. „ *Das sich auf der Oberfläche des Glases befindende Indium ist nach der Zerkleinerung hauptsächlich im Feinkorn wieder zu finden* “ und kann anschließend über mehrere Laugungs- und Fällungsschritte angereichert werden.<sup>30</sup> Normalerweise wird die Siebung eingesetzt als Voraussetzung für eine funktionierende Dichtentrennung; in diesem Fall führte sie zu einer spezifischen Stoffanreicherung aufgrund der Bruchereigenschaften. Kunststoff wurde in größeren Streifen zerrissen, Glas mit der aufgetragenen dünnen Indium-Zinnoxid Schicht zerbrach spröde.

---

<sup>30</sup> Siehe Karl : Thome-Kozmiensky Daniel Goldmann Recycling und Rohstoffe Band 7, 2014 darin: Kai Rasenack, Daniel Goldmann Indium-Recycling aus LCD-Bildschirmen, Seite 210



Abbildung 19 Zerkleinerte LCD-Panels nach der ersten Zerkleinerung (Rasenack, Goldmann).

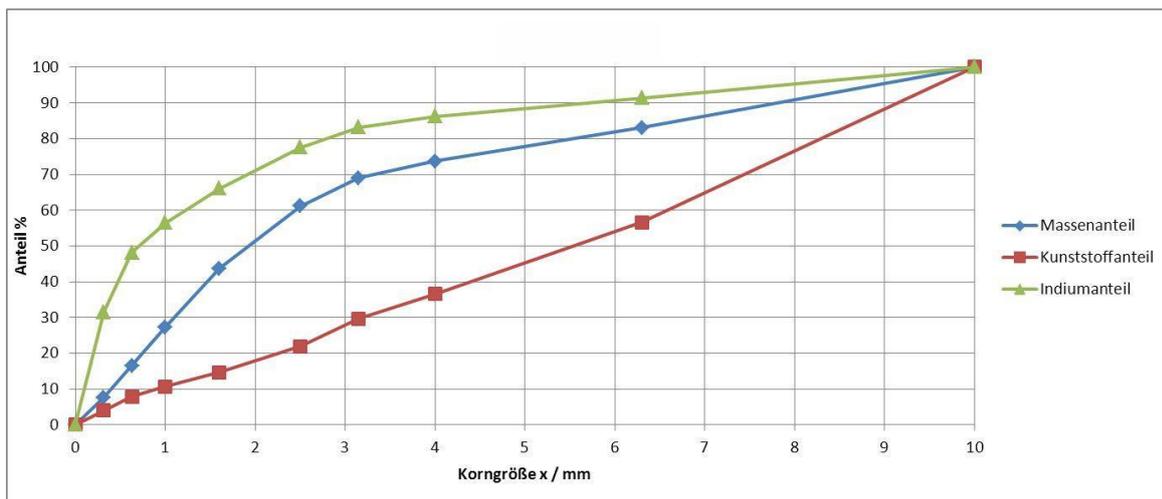


Abbildung 20 Summenkurven nach der Zerkleinerung des Ausgangsmaterials in der Hammerrmühle (Rasenack, Goldmann).

Summenkurven nach der Zerkleinerung des Ausgangsmaterials in der Hammerrmühle zeigten, mit einem Siebschnitt bei 2 mm konnte eine Anreicherung von siebzig Prozent des Indiumgehaltes in fünfzig Prozent der Ausgangsmasse erreicht werden. Erneute Schlagbeanspruchung des Siebüberlaufes verbesserte das Ergebnis. Anschließend folgten Laugungs- und Fällungsschritte.



Abbildung 21 Prozessschritte im Film Clip: Zerkleinerung in einer Schneidmühle und in einer Hammermühle – Festlegung eines Siebschnittes – Fällung und Laugung.

### **Lenz'sche Regel in der Praxis – Wirbelstromabscheider**

Ein Bonmot sagt: „*Naturgesetze kann man nicht verstehen, man kann sich nur an sie gewöhnen.*“

Kursteilnehmer aus Physikleistungskursen konnten die Lenz'sche Regel auf Nachfrage sprachlich abstrakt wiedergeben. Ist das schon ein Verständnis, was man mit ihr „machen“ kann? In unserem Workshop konnten sie die Lenz'sche Regel *s e h e n*: Das erzeugende und das induzierte Magnetfeld stoßen einander ab. Dieser Effekt bewirkt in den leitenden Partikeln und *n u r* in ihnen einen zusätzlichen Impulseintrag, magnetisierbare haften am Band, nicht-leitende fallen am Bandende herunter. Der Film Clip <http://video.tu-clausthal.de/film/498.html#k=4> zeigt die technisch optimierte Form. Das Magnetsystem schneidet die Transportrichtung diagonal. So entsteht eine bessere Trennung. Lerneffekt: Technik ist kreatives Spielen mit Naturgesetzen, und viel Erfahrung.

### **Sonderaktion: Recyclingtage in Kooperation mit Unternehmen**

In den Jahren 2013 und 2014 hatten wir Chemiekurse des Gymnasiums Ernestinum aus Rinteln, der Robert-Koch-Schule aus Clausthal-Zellerfeld und des Goslarer Ratsgymnasiums für zwei Projektstage zu Gast. Die Schüler lernten chemische und physikalische Trennverfahren des Recyclings an der Universität im Labor und anschließend in der industriellen Praxis, bei den Unternehmen Recyclex und Norcinzo in Goslar kennen.



**17. Juni 2014, Goslar:** Gemeinsam mit Dipl.-Ing. Guido Sellin (FH), Betriebsingenieur Electrocycling, vor den Müllbergen unserer Zivilisation. Herr Sellin berichtete mit Schwung und Begeisterung aus seiner Arbeit und zeigte zahlreiche technische Neuerungen auf dem Betriebsgelände. Foto: TU Clausthal.



**18. Juni 2013, Clausthal-Zellerfeld:** Experimentierten im Labor des Instituts für Aufbereitung (von links): Mona Langanke, Sanjeevan Shanmugalingam und Celine Vollbrecht von der Robert-Koch-Schule in Clausthal-Zellerfeld. Foto: TU Clausthal



17. Juni 2014, Clausthal-Zellerfeld: Dr.-Ing. Jörg Kähler, Institut für Aufbereitung, Geomechanik und Deponietechnik bespricht mit dem Schülerinnen und Schülern einen Versuchsaufbau. Foto: TU Clausthal.

## ***Resonanz von Lehrkräften und Jugendlichen in Beispielen***

Per eMail vom Di 21.10.2014 18:01  
Lieber Herr Brinkmann,

Ich würde mich sehr über die ausführliche Version freuen, allerdings mehr aus eigenem Interesse als schulischem Interesse. Ich denke Recycling wird in unserer Zukunft eine sehr große Rolle spielen. Ich habe mich mit einem Klassenkameraden schon mehrmals über das Thema Edelmetallrecycling unterhalten und ihr Vortrag, den ich übrigens sehr gut fand (ich liebe Vorträge mit reichlich Anschauungsmaterial), hat mir geholfen einen umfassenden Einblick zu bekommen.

Leider konnte ich nicht alles mitschreiben ;)

Freundliche Grüße,

M. P.

Per eMail vom 24.03.2014, 20:51

Guten Abend Herr Brinkmann,  
die Schüler waren sehr begeistert von Ihrem Workshop. Es waren viele Experimente, die eben mit der "wahren" Wissenschaft und der Praxis zu tun haben.

(...)Am Mittwoch sind 24 Schüler bei den Schülerinformationstagen. Vielleicht sehen wir uns ja. Wo kann ich Sie auf dem Campus finden?

Viele Grüße!

L.W.

Per eMail vom Fr 26.09.2014 10:02  
Sehr geehrter Herr Dr. Brinkmann,  
vielen Dank für die Workshops, die Schüler waren sehr angetan!  
(...)  
Herzliche Grüße aus (...) ein schönes Wochenende!

Mit freundlichen Grüßen,

Dr. A. R.  
(stellvertretende Schulleiterin)

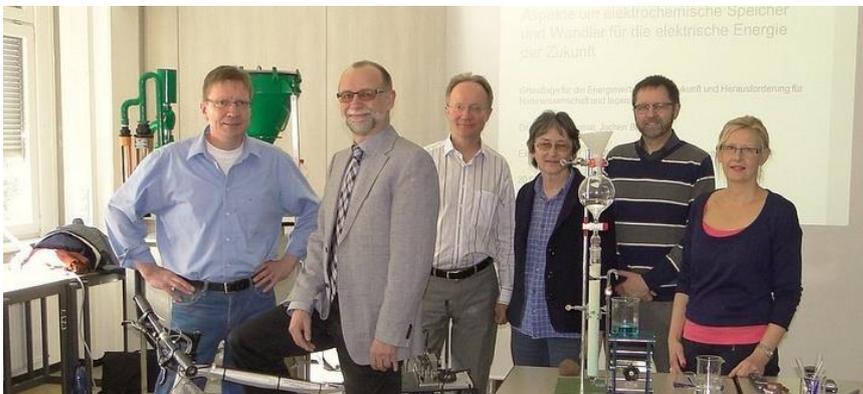
.....  
Per email vom Do 21.08.2014 08:46  
Sehr geehrter Herr Brinkmann,

nochmals vielen Dank für Ihre Unterstützung und Durchführung der Workshops in (...)! Das Echo seitens der Schule ist sehr, sehr gut!! Herr G. hat großes Interesse, diese Veranstaltung fortzuführen!

Mit freundlichen Gruessen - Best regards - Distinti Saluti,

Dr. F. O. H.  
Geschaeftsfuehrer / Managing Director

### *Presseberichte - ein Beispiel*



Dr. Andreas Czymai (TU Clausthal), Schulleiter Dr. Rudolf Drexler (auf dem High-Tech-Mess-Fahrrad), Jochen Brinkmann (TU Clausthal), Jutta Rothmeier (Arbeitsagentur Fulda), Bernhard Ilsemann (Fachberater LSA), Anke Bischof (Abteilungsleiterin ESS) Foto: Thimo Maase

22.03.14 - FULDA

Flying Science Circus wieder in Domstadt

"Elektro-Recycling" - "Energiespeicher"

Im Rahmen des mit der Eduard-Stieler-Schule geschlossenen Kooperationsvertrages waren dieses Jahr wieder Wissenschaftler der Technischen Universität Clausthal in Fulda zu Gast. Wegen der großen Resonanz auch bei den traditionellen Fuldaer Gymnasien verweilten die Herren Brinkmann und Dr. Czymai dieses Mal von Dienstag bis Freitag in der Domstadt um insgesamt neun Aufführungen zu den hochaktuellen Themen „Elektro-Recycling“ und „Energiespeicher“ zu geben.

Die Funktionsweise von elektrochemischen Energiespeichern konnte nun in Form verschiedener Modellbatteriesysteme mit völlig neuen Bausätzen erarbeitet werden. Im Workshop zum Elektro-Recycling ging es um die Wiedergewinnung von Sondermetallen, auch „Gewürzmetalle“ genannt. Einen weiteren Weg zur Ressourcen-Schonung zeigten die Clausthaler mit einem Fahrrad, an welchem mit High-Tech-Messausrüstung dynamische Lasten funkbasiert ausgelesen werden können, um so dem Konstrukteur eine beanspruchungsgerechte Auslegung seiner Konstruktion zu ermöglichen.

In diesem Jahr konnten an den kombinierten Lehrer- und Schülerfortbildungen aus dem Ingenieur- und Naturwissenschaftlichen Bereich insgesamt über 250 Schüler sowie fast 20 Lehrer teilnehmen. Dabei waren nicht nur Schüler aus dem Hause, sondern auch Gymnasiastinnen der Marienschule im Rahmen ihres MINT-Tages, Oberstufenschüler der Winfriedschule sowie der benachbarten Freiherr-vom-Stein-Schule und der Ferdinand-Braun-Schule mit ihren jeweiligen Lehrern. Ebenfalls anwesend war die Beraterin für akademische Berufe der Arbeitsagentur Fulda, Jutta Rothmeier.

Die Wurzeln der gemeinsamen Zusammenarbeit gehen bereits bis zum Tag der Offenen Tür des Jahres 2004 zurück, als Professor Georg Schwedt zwei „Experimentalvorträge der besonderen Art“ an der Eduard-Stieler-Schule gehalten hatte. Der ehemalige Professor der TU Clausthal entwickelte das Mitmachlabor „SuperLab“. Im vergangenen Jahr existierte die offizielle Kooperation dann immerhin bereits 5 Jahre. Als ganz besondere Überraschung konnten die Clausthaler Wissenschaftler nun die Nachricht übermitteln, dass jede Kooperationsschule der Universität für die jeweils an Wochenenden statt findenden Schülerseminare eine geeignete Person vorschlagen kann, die dann gewissermaßen als „kleines Stipendium“ den Teilnahmebeitrag erlassen bekommt. Diese Workshops werden zu den Themen Maschinenbau, Mechatronik, Informatik, Wirtschaftsinformatik, Chemie etc. angeboten. Die Abteilungsleiterin des Beruflichen Gymnasiums und Bernhard Ilseman als Organisator bedankten sich abschließend bei den angereisten Dozenten für die lebendigen Workshops auch im Namen der Schüler mit regionalen Geschenken.+++

Quelle: <http://osthessen-news.de/n1245902/fulda-elektro-recycling-energiespeicher.html>

# Wahrnehmung des Projektes in der Öffentlichkeit

## Einladung als Aussteller zur ,Woche der Umwelt‘ 2012, Berlin



The screenshot shows a web browser window displaying the website 'www.woche-der-umwelt.de'. The page features a header with the text 'Woche der Umwelt' and logos for 'Der Bundespräsident' and 'DBU Deutsche Bundesförderung Umwelt'. A search bar is visible on the left. The main content area is titled 'WDU-Aussteller 2012' and contains an announcement for a workshop. The workshop title is 'Workshop "Materialeffizienz und Recycling" und "Werkstoffentwicklung im Schülerlabor"'. The announcement text describes the workshop's focus on material efficiency and recycling, mentioning strategic metals and the role of mining. A photograph shows two students working in a laboratory. Below the text, there is a section for the exhibitor's contact information.

**Workshop "Materialeffizienz und Recycling" und "Werkstoffentwicklung im Schülerlabor"**  
Standnummer: 65 | Zelt: 32 bis 98

Die Themen Materialeffizienz und Recycling werden in einem neuen Workshop für Schülerinnen und Schüler in die Oberstufenklassen an Gymnasien getragen. Als roter Faden dient die vielfältige Bedeutung „strategischer Metalle“ für Produkte der Informations- und Kommunikationstechnologie, Umwelttechnologien sowie als Legierungsbestandteile metallischer Werkstoffe für besondere Einsatzzwecke. Dargestellt wird die gesamte Thematik anhand eines Handys. Mittels des für Minikondensatoren in Mobiltelefonen wichtigen Tantalerzes wird die konfliktträchtige Rolle des Bergbaus in Entwicklungsländern am Beispiel des Kongokrieges dargestellt und politische Lösungsansätze mit den Schülern diskutiert. Eine effiziente Verwendung dieser Metalle in Produkten und ein möglichst hoher Recyclinganteil sind der technische Beitrag zur Konfliktschärfung. Dieser Workshop wirbt als Attraktor für einen Besuch im neuen Schülerlabor Materialwissenschaften. In diesem wird das Thema Materialeffizienz unter Bezugnahme auf die Bedeutung der strategischen Metalle zur Erhöhung von Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit in Versuchen untersucht.

**Aussteller**

<b>Organisation:</b>	Technische Universität Clausthal
<b>Straße:</b>	Adolph-Roemer-Straße 2a
<b>Postleitzahl:</b>	38678
<b>Ort:</b>	Clausthal-Zellerfeld
<b>Internet:</b>	<a href="http://www.wt.tu-clausthal.de">http://www.wt.tu-clausthal.de</a>

Workshop und Schülerlabor leben von der richtigen Mischung aus Input per Vortrag, Diskussion und eigener Aktivität in Versuchen.  
Foto: Hørselju  
[Bild 1/2 - Für mehr aufs Bild klicken](#)

## Einladung zur Tagung ‚Keine Angst vor Wissenschaft‘ in Karlsruhe 2012

Als Themenexpertinnen beteiligen sich an der Diskussion: Claudia Nussbaumer (Schülerinnen forschen, Universität Konstanz), Dr. Janine Fohlmeister (Wolke 7, Schülerinnen-Club Physik und Astronomie, Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg) und Ramona Rasic (Ada-Lovelace-Projekt - Mentoring Netzwerk für Mädchen und junge Frauen in MINT in Rheinland-Pfalz, Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz).

**Praxis präsentiert 1: Technik mal anders**

Moderation: Miriam Freudenberger (Robert Bosch Stiftung)

**GirlsLab für Schülerinnen ab Klasse 5**  
 Wie funktioniert eine Alarmanlage? Wie baut man eine Rollerbahn? Können Mädchen überhaupt Löten oder Sägen? Das GirlsLab ist eine naturwissenschaftlich-technisch orientierte Arbeitsgemeinschaft am Ernst-Abbe-Gymnasium in Jena. Da erleben die Mädchen, dass sie das alles können. Und sie haben eine Menge Spaß dabei! Diese Freude am Experimentieren und Verstehen wird ihnen von Lehramtsstudierenden vermittelt. Die einmal wöchentlich stattfindende Veranstaltung wird von der Arbeitsgruppe Didaktik der Physikalisch-Astronomischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena gemeinsam mit der Gleichstellungsbeauftragten geleitet. Dabei wird nicht nur den Mädchen eine Plattform geboten, sich an technischen Aufgaben auszuprobieren und naturwissenschaftliche Zusammenhänge kennenzulernen, sondern auch die Studierenden von der Möglichkeit profitieren, sich in ihrem zukünftigen Berufsfeld zu bewähren.

Referentin: Dr. Elke Wendler, Matthias Ring (Friedrich-Schiller-Universität Jena, Physikalisch-Astronomische Fakultät)

**Wie funktioniert dein Handy?**  
 Ohne strategische Metalle, wie zum Beispiel Indium, Hafnium, Gallium, Wismut, Tantal oder Tellur, wären viele Produkte der Informations-, Kommunikations- und Umwelttechnologie heute nicht denkbar. Am Beispiel des für Minikondensatoren in Mobiltelefonen wichtigen Tantalerzes wird in Workshops für Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe die konfliktträchtige Rolle des Bergbaus in Entwicklungsländern am Beispiel des Kongokrieges thematisiert und politische Lösungsansätze mit den Schülern diskutiert. Vor allem eine effiziente Verwendung dieser Metalle in Produkten und ein möglichst hoher Recyclinganteil wären der technische Beitrag zur Konfliktschärfung, den die Schülerinnen und Schüler durch chemische und physikalische Trennmethode auch praktisch kennenlernen und in ihren Verfahrensgrenzen analysieren. Der Vortrag stellt das Konzept vor und berichtet über die Erfahrungen.

Referenten: Dr.-Ing. Andreas Czymai und Jochen Brinkmann (TU Clausthal)

## Ausgewählt als Agnes-Pockels-Vorlesung 2013 in Braunschweig

Agnes-Pockels-Vorlesung 2013

**Ein Nadelöhr der Zukunftstechnologien – die Versorgung mit seltenen Metallen**

Technologien der regenerativen Energieerzeugung, von denen wir eine Dämpfung der schädlichen Folgen unserer Lebensweise erwarten, ebenso aber auch die Megatrends Elektromobilität, Informations- und Kommunikationstechnologien wie auch die Medizintechnik verlangen nach Stahlveredlern, Elementen der Platingruppe und Elementen aus der Gruppe der Seltenen Erden. Ihr Anteil am BIP beträgt 0,5 %, aber sie erst ermöglichen die herausragenden Eigenschaften vieler unserer High Tech-Produkte. Sie gelten daher als wirtschaftsstrategische Metalle. Deren Wiedergewinnung aus unseren Abfällen wird ökologisch und ökonomisch vorteilhaft sein und in Zukunft einen Beitrag zur Rohstoffsicherung unserer Wirtschaft leisten können. In einem praktischen Workshop, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), trägt die TU Clausthal das Thema Recycling von Elektronikschrott am Beispiel des Handys in die Schulen.

Fotos: Hörnigau

Mit Experimental-Vorträgen und praktischen Workshops an Schulen in Norddeutschland informiert die TU Clausthal über ihre Studienangebote.

**Jochen Brinkmann**

- Studium der Philosophie und Geschichte
- Journalistische Tätigkeit
- Pressereferent der TU Clausthal
- seit 2004 Leiter der Kontaktstelle Schule – Universität der Technischen Universität Clausthal

[www.wt.u-tu-clausthal.de](http://www.wt.u-tu-clausthal.de)

Jochen Brinkmann berichtet über das Projekt, in dem Schülerinnen in vielen Experimenten physikalische und chemische Trennverfahren des Elektroschrottrecyclings kennenlernen: disziplinübergreifend – an die Curricula des Chemie- und Physikunterrichtes anknüpfend und den politisch-wirtschaftlichen Kontext technischer Entwicklungen mit beleuchtend.

**Welchen Beitrag kann Elektronikschrott-Recycling zu einer nachhaltigen Ökonomie leisten?**

Im Anschluss an den Vortrag besteht bei einem Glas Wein oder Wasser die Möglichkeit, sich einige der Experimente aus dem Projekt anzuschauen sowie sich im Gespräch auszutauschen.

Das Agnes-Pockels-Labor informiert Sie über seine neuesten Angebote.

Abbildung 22 Flyer zur Agnes-Pockels-Vorlesung 2013

## Entwicklung der Studienanfängerzahlen

Jedes Jahr zum Wintersemester führt die TU Clausthal eine Erstsemesterbefragung durch, mit der die Öffentlichkeitsarbeit evaluiert wird. Die Fragebögen werden von den Studiendekanen während der Begrüßungsveranstaltungen ausgeteilt und nach deren Ende eingesammelt und zur automatisierten Auswertung an das Rechenzentrum der Universität weitergeleitet. Die Rücklaufquote ist hoch, etwa ein Drittel der Studienanfänger. Eine Frage lautet: Wie sind sie auf die TU Clausthal aufmerksam geworden? Die Auswertung im zeitlichen Längsschnitt offenbart einen Anstieg der Bedeutung der Schulveranstaltungen in den letzten Jahren. Nun ist das DBU-Projekt, erfreulicherweise, nicht das einzige Thema im Flying Science Circus, aber eine förderliche Wirkung darf sicher unterstellt werden. Die Anfängerzahlen im Chemieingenieurwesen und Maschinenbau stiegen; diesen Studiengängen ist der Workshop Recycling und Materialeffizienz im Studienportfolio zuzuordnen.

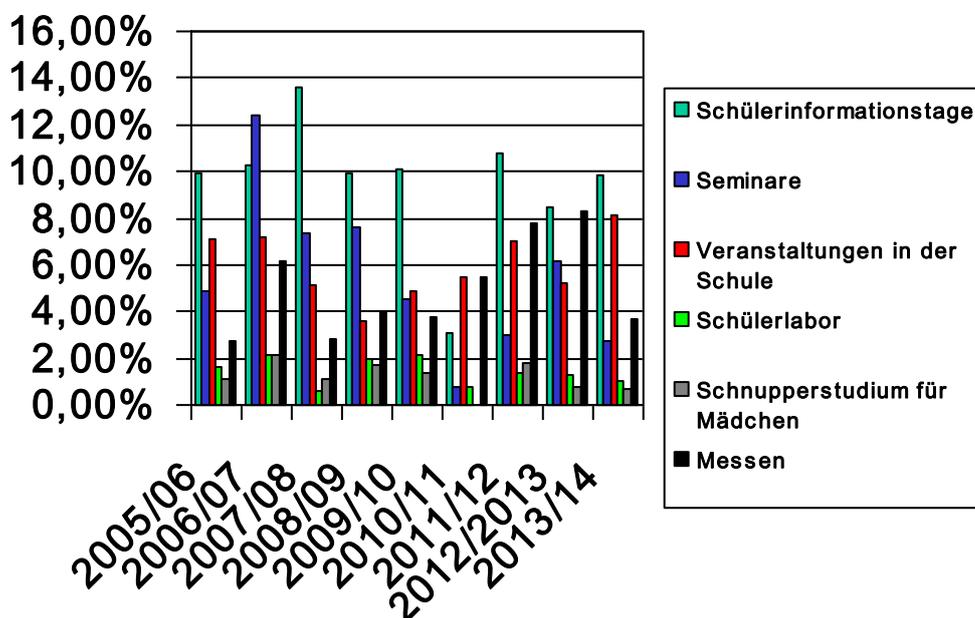
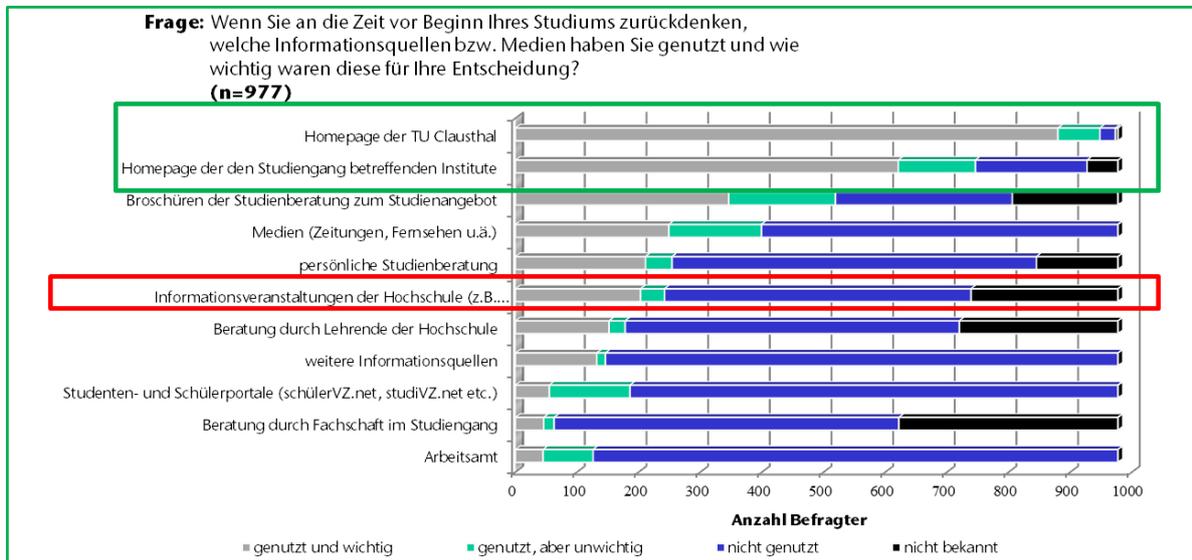


Abbildung 23 Wie sind sie auf die TU Clausthal aufmerksam geworden? Erstsemesterbefragungen 2005/06 – 2013/14

Die Bedeutung von Informationsveranstaltungen der Universität für die Studienortwahl der Studierenden wird ebenfalls sichtbar in der am Institut für Wirtschaftswissenschaft an der bei Professor Dr. Winfried Steiner angefertigten Masterarbeit von Sarah Wruck (2012). 20 % der Clausthaler Studierenden gaben an, dass Informationsveranstaltungen der Universität sehr wichtig waren für ihre Entscheidung.



**Abbildung 24 Nutzung und Wichtigkeit verschiedener Informationsquellen im Zuge der Studienortwahl**

Quelle: Masterarbeit Sarah Wruck: Analyse der Determinanten der Standortwahl und der Studienbedingungen  
Eine empirische Analyse am Beispiel der TU Clausthal, Institut für Wirtschaftswissenschaft, Abteilung für Betriebswirtschaftslehre und Marketing, Prof. Dr. Winfried Steiner, Sarah Wruck, M.Sc. Studienrichtung: Technische Betriebswirtschaftslehre, Fachrichtung: Energiemanagement

### **Ausblick: Was ist für die Zeit nach der Projektlaufzeit geplant?**

Das Recycling wertvoller Metalle aus den „Stoffcocktails“ diverser Schrotte, sei es Elektronikschrott, sei es Schrott aus der Automobilverwertung oder sogar, möglicherweise in zwanzig Jahren, aus einer wertmetallhaltigen Schicht einer alten Hausmülldeponie, sucht jeweils nach besonderen Eigenschaften der Stoffe, die sie von anderen Stoffgruppen unterscheiden. Auf dass sie ‚an diesen Angelhaken‘ aus dem Teich der Müllhinterlassenschaften ‚herausgefischt‘ werden können.

Den ‚Werkzeugkasten‘ für diese Verfahren stellt (oft) die Aufbereitungskunde des Bergbaus dar; dank ihrer Verfahren können, zum Beispiel, 25 Gramm Gold aus einer Tonne (Lagerstätten-)Gestein gewonnen werden.

Einer dieser ‚Angelhaken‘ ist die für die Aufbereitung von Kupfer- oder Blei-Zinkerzen und in der Kohlaufbereitung eingesetzte Flotation. Im Rahmen des Workshops wird von den Schülern die Flotation am Beispiel der Druckfarbentfernung aus alten Werbeprospekten

durchgeführt. Das Verfahren beruht auf der unterschiedlichen Benetzbarkeit der Oberflächen verschiedener Stoffe. Die in der Tinte enthaltenen, feinen, hydrophobierten und damit wasserabweisenden Farbpigmente werden an, durch ein Tensid erzeugte, nach außen hydrophobe Luftblasen adsorbiert und steigen mit dem durch die Verwirbelung der Suspension entstehenden Schaum an die Oberfläche, während die hydrophilen Papierfasern in der Suspension verbleiben.

Mit diesem Versuch kann die Gewinnung einer Stoffgruppe aus einem Abfall demonstriert werden. Im modernen Recycling aus Feinfraktionen von Elektronikschrott (Glas, Kunststoff, verschiedene Metalle) ist eine Flotation, bei der in einem Schritt alle interessanten Metalle in einem Schaum an die Oberfläche befördert werden, nicht geeignet. Am Clausthaler Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik wird daher in aktuellen Forschungsvorhaben erprobt, ob aus solchen komplexen Gemischen nacheinander die wertvollen, interessierenden Metalle herausflotiert werden können. Um den Schülern diese Zukunftsperspektive in ihrer prinzipiellen Funktionsweise vor Augen zu führen, steht seit Oktober 2014 ein Filmclip zur Verfügung, der die Flotation eines Blei-Zinkerzes zeigt.



**Abbildung 25 Filmsequenz: Anreicherung durch selektive Hydrophobierung des Bleiglanzes und der Zinkblende in zwei Stufen.**

Blei- Zinkerze kommen in der Natur oft vergesellschaftet vor und es besteht daher die Notwendigkeit die Komponenten getrennt anzureichern. Dazu werden die Erze zunächst bis auf eine Korngröße von unter 200  $\mu\text{m}$  nass auf gemahlen und anschließend flotiert. Da die Erzpartikel wegen ihrer chemischen Zusammensetzung unterschiedliche Oberflächenpotentiale gegenüber einer wässrigen Umgebung und oberflächenaktiven Stoffen besitzen, können abgestimmte Tenside im Zusammenspiel mit Salzen, die die Adsorptionsfähigkeit der Detergenzien an den Oberflächen beeinflussen, im ersten Schritt

das Bleierz zur Flotation bringen und das Zinkerz in der Trübe halten. Die Tenside lagern sich dabei wegen der hydrophilen Eigenschaften der Partikeloberflächen mit der hydrophilen Molekülgruppe am Korn an und machen es der hydrophoben Außenhaut der Gasblasen kompatibel.

Nach dem Abschluss der ersten Reaktion wird durch die Änderung des pH-Wertes, durch Zugabe eines weiteren Tensids und durch die Aktivierung der Zinkerz-Oberfläche mittels sorptionssteigernder Metallionen das Zinkerz flotiert. Das taube Gestein verbleibt in der Suspension.

Wir wollen in den nächsten zwei Monaten prüfen, ob wir diesen Versuch in unseren Workshop integrieren können. Das würde den positiven ‚Thrill‘ des Workshops - *Was wird in Zukunft möglich sein?*- deutlich erhöhen, kurz, es wäre ein pädagogischer Qualitätssprung. Denn die Flotation ist gewissermaßen ein Aufbereitungsverfahren aus dem Bergbau, das im modernen Recycling auf seine Anwendung noch wartet. Dieses Experiment, das auch zeitlich umfänglicher ist, circa 30-45 Minuten, würde den Horizont der Schüler noch einmal deutlich erweitern und mit wesentlich anspruchsvollerer Chemie verbunden sein, die nur dann integriert werden kann, wenn es gelingt sie schülergerecht darzustellen.

Dafür müssen aber zwei entscheidende Fragen vorab geklärt sein:

- Bekannt ist, dass die auf 200 Mikrometer heruntergemahlene Erzkörner nach einer Zeit ihre Oberflächenaktivität verlieren und sich mit einer ‚Wasserhaut‘ überziehen. Eine Aufmahlung aber erst in der Schule selbst ist zeitlich aufwendig und inhaltlich unspektakulär. Sie wäre zudem mit dem Transport eines weiteren großen Gerätes verbunden. Wir wollen daher ausprobieren, ob eine Aufmahlung einen Tag zuvor ausreicht, um zu einem überzeugenden Trennergebnis zu kommen. Zuerst soll das graue Bleierz, sodann das gelbe Zinkerz aufsteigen. Damit hätten wir die prinzipielle Funktionsweise eines sehr selektiven Angelhakens eindrucksvoll demonstriert.
- Das Reagenzien Regime der Blei-Zinkerz Flotation ist aufwendig. Wir werden prüfen: Können die chemischen Hintergründe für die Schule angemessen vereinfacht dargestellt werden? Welche Anknüpfungspunkte zum Schulstoff lassen sich finden? Die Schüler sollen den Versuch mit einer Anleitung in einer Gruppe selbst durchführen und analysieren.

Sofern alle angeschnittenen Fragen positiv beantwortet werden können, soll der Versuch ab Januar 2015 in den Workshop integriert werden. Allerdings nur dann, wenn ein ganzer Projekttag zur Verfügung steht. An solchen Projektwochen haben wir uns während der

Projektlaufzeit des Öfteren beteiligt und daher ist diese Variante eine realistische und für die Zielsetzungen der Schule und Universität sinnvolle.

## ***Zusammenfassung des Berichts***

Mit Hilfe der Deutschen Bundesstiftung Umwelt konnte ein vielschichtiger und experimentell reicher Workshop zu den Themen Elektronikschrottreycling und Materialeffizienz entwickelt, erprobt und fortlaufend verbessert werden. Er wurde während der Projektlaufzeit über 40 Mal an Schulen in Niedersachsen, Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Hessen und in Bayern durchgeführt. Es wurden rund 1500 Schüler erreicht.

Er richtete sich in den Gymnasien an naturwissenschaftliche Profilkurse der Fächer Chemie und an den berufsbildenden Schulen an die Bereiche Metalltechnik und Umwelttechnik. Nur in seltenen Fällen gelang eine vorherige Einbindung des Politik-, Wirtschafts- und Geschichtsunterrichts, wie sie für die Kolonialgeschichte des Kongo wünschenswert gewesen wäre. Dort, wo es gelang, waren es pädagogische Sternstunden.

Die Zielsetzung, Chemie und Physik' im Kontext technischer Bezüge darzustellen und den Schülern sinnvolle berufliche Perspektiven aufzuzeigen wurde erreicht, wie die Steigerung der Erstsemesterzahlen der korrespondierenden Studiengänge an der TU Clausthal belegt. Der Workshop wurde ursprünglich auf drei Schulstunden konzipiert. Um sich optimal an die Bedürfnisse der Schulen anzupassen, wurde auch eine zweistündige Fassung entwickelt, wie umgekehrt aufgrund der thematischen und experimentellen Vielfalt mühelos ein ganzer Projekttag angeboten werden kann. Die Universität wird den Workshop fortführen.

## ***Literatur in Auswahl***

### **Recycling:**

- Hans Martens, Recyclingtechnik Fachbuch für Lehre und Praxis, Heidelberg, 2011
- Recycling und Rohstoffe / Karl J. Thomé-Kozmiensky, Karl J. ; Daniel Goldmann, Bd. 4 + 5 + 7 Neuruppin, 2011, 2012, 2014
- Christian Hagelüken, Complex Life Cycles of Precious and Special Metals, in: Linkages of Sustainability, Edited by Thomas E. Graedel and Ester van der Voet, MIT Press November 2009
- Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung, Stuttgart 2009, 2. Auflage
- What Do We Know About Metal Recycling Rates? Graedel, T. E.; Allwood, Julian; Birat, Jean-Pierre; Buchert, Matthias; Hagelüken, Christian, Journal of Industrial Ecology, 15, 2011, 3, p. 355–366, DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00342.x

- Deutschland Rohstoffsituation 2010, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, DERA, Hannover 2011
- Challenges in Metal Recycling, Reck, B. K.; Graedel, T. E. , Science, 337,2012, 6095, 690-695, DOI: 10.1126/science.1217501
- Recycling kritischer Rohstoffe aus Elektronikaltgeräten, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen, LANUV-Fachbericht 38, Recklinghausen 2012

#### **Kongo:**

- The African Stakes Of The Congo War, Edited by John F. Clark, New York, 2002
- Kongo Wegweiser zur Geschichte, Militärgeschichtliches Forschungsamt, Paderborn 2008,
- Séverine Autessere, The Trouble with the Congo, Local Violence and the Failure of International Peacebuilding, New York, 2010
- Michael Nest, Coltan, Cambridge, 2011
- Rohstoffkonflikte nachhaltig vermeiden. Fallstudie und Szenarien zu Kupfer und Kobalt in der Demokratischen Republik Kongo, Westerkamp, Meike, Moira Feil und Dennis Tänzler 2011
- Stormy-Annika Mildner (Hg.), Konfliktrisiko Rohstoffe?, Herausforderungen und Chancen im Umgang mit knappen Ressourcen, SWP-Studie, Berlin, Februar 2011
- Öko-Institut Conflict minerals – An evaluation of the Dodd-Frank Act and other resource-related measures, Freiburg 2014