

Young Science – Projekt
Rohstoffe und ihre Endlichkeit
THE FUTURE WE WANT



Ergänzende BesucherInnen- / LehrerInneninformation
zur Ausstellung im Naturhistorischen Museum



Young Science - Schulprojekt

Rohstoffe und ihre Endlichkeit

The Future We Want

**Ergänzende BesucherInnen- / LehrerInneninformation
zur Ausstellung im Naturhistorischen Museum**

Projektzeitraum: September 2013 - Mai 2014

Goethe-Gymnasium
BG und BRG Wien XIV,
Astgasse 3
1140 Wien

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (ehemaliges BMWF) im Rahmen der Young Science - Initiative „Gemeinsam für Nachhaltige Entwicklung - The Future We Want“ initiiert und gefördert.



Young Science Zentrum für die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Schule

Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses zählt zu den zentralen Anliegen des **Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (BMWFW)**. Aus diesem Grund initiierte das Ministerium 2011 Young Science als Servicestelle für all jene Inhalte, die zur Vernetzung von Schule und Wissenschaft beitragen. Unter dem Motto „Forschung verbindet“ vereint die beim Österreichischen Austauschdienst angesiedelte Plattform wichtige Informationen und Angebote der voruniversitären Nachwuchsförderung. Young Science zielt unter Einbindung zahlreicher engagierter österreichischer Forschungs- und Bildungseinrichtungen darauf ab, Kooperationen zwischen Wissenschaft und Schulen zu verbessern, Erfahrungsaustausch und Synergien zu ermöglichen und ein Netzwerk von Forschungs- und BildungspartnerInnen aufzubauen.

Zentrale Drehscheibe des Zentrums ist die **Internetplattform <http://www.youngscience.at>**. Mit nur einem Klick können sich ForscherInnen, Schulen und Studieninteressierte zu allen Initiativen, Programmen und Aktionen des BMWFW im Bereich Nachwuchsförderung informieren. Um die Zusammenarbeit von Schulen und Wissenschaft nachhaltig zu stärken und über Projekte und Programme – wie etwa die Kinder- und Junioruniversitäten, Sparkling Science, MINI MED Junior, die Nachhaltigkeitsinitiative „Rio+21“ oder die Themenplattform für vorwissenschaftliche Arbeiten – zu informieren, organisiert Young Science auch regelmäßig Netzwerkveranstaltungen.

Nähere Informationen: www.youngscience.at

Naturhistorisches Museum Wien

Das Naturhistorische Museum Wien wurde im Jahr 1889 eröffnet und ist mit etwa 30 Millionen Sammlungsobjekten und mehr als 750.000 BesucherInnen im Jahr eines der bedeutendsten naturwissenschaftlichen Museen der Welt.

In den wissenschaftlichen Sammlungen, Labors und Werkstätten des NHM betreiben etwa 60 WissenschaftlerInnen aktuelle Grundlagenforschung und arbeiten an hochaktuellen, wissenschaftlich interessanten Forschungsobjekten in den verschiedensten Gebieten der Erd-, Bio- und Humanwissenschaften. Damit ist das Museum wichtiges Kompetenzzentrum für öffentliche Fragen und eine der größten außeruniversitären Forschungsinstitutionen Österreichs.

Die dritte Säule der Museumsgrundlagen – neben Sammeln und Forschen – ist die Vermittlung. Seit Jahrzehnten bemüht sich das Museum, in Vermittlungsprogrammen Verständnis für Zusammenhänge zu fördern, verschiedene Lesarten von Objekten zu eröffnen, Erkenntnisprozesse offen zu legen sowie differenziertes Denken und Respekt für Lebewesen zu wecken. In vielen Projekten entstanden gemeinsam mit SchülerInnen, LehrerInnen und verschiedenen Förderinstituten spannende Ausstellungen und Projekte.

Nähere Informationen: www.nhm-wien.ac.at



Young Science - Schulprojekt

Rohstoffe und ihre Endlichkeit

The Future We Want



**Das Projekt-Team des Goethe-Gymnasiums
vor dem Naturhistorischen Museum in Wien**

SchülerInnen der 7.b, 7.d und 8.a,
LehrerInnenteam

BG und BRG Wien XIV
Astgasse 3, 1140 Wien
www.astgasse.net



Inhaltsverzeichnis:

Young Science / NHM Wien	4
Projektteam Goethe-Gymnasium (Bild)	5
Dir. Mag. Dr. Hubert Kopeszki (Vorwort)	8
OSTR. Mag. Dr. Elisabeth Kulnigg (Einleitung)	9
Projektteam Goethe-Gymnasium (Namen)	11
Kontaktierte WissenschaftlerInnen	12
NHM-Objekte	14
1 Boden	15
1.1 Überblick	15
1.2 Grundlagen	15
1.3 Forschungstätigkeit in Österreich	18
1.4 Fazit	18
1.5 InterviewpartnerIn	18
1.6 Lernobjekte	18
1.7 Quellen	19
2 Dünger (Phosphor)	20
2.1 Überblick	20
2.2 Grundlagen	20
2.3 Forschungstätigkeit in Österreich	22
2.4 Fazit	22
2.5 InterviewpartnerIn	22
2.6 Lernobjekte	22
2.7 Quellen	23
3 Erdgas	24
3.1 Überblick	24
3.2 Grundlagen	24
3.3 Forschungstätigkeit in Österreich	26
3.4 Fazit	27
3.5 InterviewpartnerIn	27
3.6 Lernobjekte	27
3.7 Quellen	27
4 Erdöl	28
4.1 Überblick	28
4.2 Grundlagen	28
4.3 Forschungstätigkeit in Österreich	33
4.4 Fazit	33
4.5 InterviewpartnerIn	34
4.6 Lernobjekte	34
4.7 Quellen	34
5 Kohle	35
5.1 Überblick	35
5.2 Grundlagen	35
5.3 Forschungstätigkeit in Österreich	37
5.4 Fazit	38
5.5 InterviewpartnerIn	38
5.6 Lernobjekte	38
5.7 Quellen	38
6 Niob, Tantal	40
6.1 Überblick	40
6.2 Grundlagen	40
6.3 Forschungstätigkeit in Österreich	42
6.4 Fazit	42
6.5 InterviewpartnerIn	42
6.6 Lernobjekte	42
6.7 Quellen	43
7 Seltene Erden	44
7.1 Überblick	44
7.2 Grundlagen	44
7.3 Forschungstätigkeit in Österreich	47
7.4 Fazit	47
7.5 InterviewpartnerIn	47
7.6 Lernobjekte	48
7.7 Quellen	48
8 Zinn	50
8.1 Überblick	50
8.2 Grundlagen	50
8.3 Forschungstätigkeit in Österreich	53
8.4 Fazit	53
8.5 InterviewpartnerIn	53
8.6 Lernobjekte	54
8.7 Quellen	54



ROHSTOFFE UND IHRE ENDLICHKEIT - THE FUTURE WE WANT

SCHÜLERINNEN DES GOETHE-GYMNASIUMS GESTALTEN EINE AUSSTELLUNG IM NATURHISTORISCHEN MUSEUM WIEN

9	Gallium, Germanium, Indium	55	10	Lithium	59
9.1	Überblick	55	10.1	Überblick	59
9.2	Grundlagen	55	10.2	Grundlagen	59
9.3	Forschungstätigkeit in Österreich	57	10.3	Forschungstätigkeit in Österreich	61
9.4	Fazit	57	10.4	Fazit	61
9.5	InterviewpartnerIn	58	10.5	InterviewpartnerIn	61
9.6	Lernobjekte	58	10.6	Lernobjekte	62
9.7	Quellen	58	10.7	Quellen	62
11	Wolfram	63	12	Gold	68
11.1	Überblick	63	12.1	Überblick	68
11.2	Grundlagen	63	12.2	Grundlagen	68
11.3	Forschungstätigkeit in Österreich	66	12.3	Forschungstätigkeit in Österreich	70
11.4	Fazit	66	12.4	Fazit	70
11.5	InterviewpartnerIn	66	12.5	InterviewpartnerIn	71
11.6	Lernobjekte	66	12.6	Lernobjekte	71
11.7	Quellen	67	12.7	Quellen	72
13	Platingruppenmetalle	73	14	Asteroidenbergbau	78
13.1	Überblick	73	14.1	Überblick	78
13.2	Grundlagen	73	14.2	Grundlagen	78
13.3	Forschungstätigkeit in Österreich	76	14.3	Forschungstätigkeit in Österreich	80
13.4	Fazit	76	14.4	Fazit	80
13.5	InterviewpartnerIn	77	14.5	InterviewpartnerIn	80
13.6	Lernobjekte	77	14.6	Lernobjekte	81
13.7	Quellen	77	14.7	Quellen	81
15.	Stadtbergbau	82			
15.1	Überblick	82			
15.2	Grundlagen	82			
15.3	Forschungstätigkeit in Österreich	84			
15.4	Fazit	84			
15.5	InterviewpartnerIn	84			
15.6	Lernobjekte	84			
15.7	Quellen	85			



Vorwort

„Gold im Handy“ - eine nicht genutzte Ressource, „3 kg Blei im Röhrenbildschirm“ - eine tickende Umweltzeitbombe - diese und ähnliche Schlagzeilen und deren ökologische und ökonomische Bedeutung waren entscheidende Gründe für das Goethe-Gymnasium, an dem im Titel genannten Young Science-Projekt teilzunehmen.



Dabei ist für mich als Schulleiter die seriöse, effiziente und nachhaltige Umsetzung im Schulbetrieb entscheidend. Das erfordert ein hohes Maß an Professionalität und Kooperationsfähigkeit sowohl bei SchülerInnen und ProfessorInnen als auch bei allen teilnehmenden außerschulischen Kooperationspartnern.

Hier im Vorwort ist sicher nicht der Platz und auch nicht der Rahmen, auf alle wissenschaftlichen Details und alle beteiligten Projektpartner ausführlich einzugehen, dennoch versuche ich, hier die wesentlichen Elemente anzusprechen.

Voraussetzung für das Gelingen und den Erfolg eines solchen Projektes ist eine ganze Reihe von Schlüsselfaktoren:

- überdurchschnittlich lernwillige und interessierte SchülerInnen
- ein projektorientierter Unterricht an der Schule – nicht nur in den direkt beteiligten Unterrichtsgegenständen
- eine flexible und kreative Schul-Administration im Hinblick auf Termine und Arbeitseinteilung der Klassen (Schularbeiten, Lehrausgänge, Sprachwochen, ...)
- kooperative Projektpartner - wie eben das NHM
- kooperationswillige und helfende Forscher in den angesprochen Forschungseinrichtungen
- ein adäquates – außerschulisches – Budget
- schulischer Freiraum (Zeit, Lerninhalte, ...) seitens der Schulleitung für Klassen und LehrerInnen
- und nicht zuletzt ein äußerst engagiertes Team, getragen von fachkundigen und motivierten LehrerInnen, geleitet von einer routinierten und innovativen Teamleitung.

An dieser Stelle mein allerherzlichster Dank an die Projektleiterin Frau OStR. Dr. Elisabeth Kulnigg, ohne deren unermüdliche Führung dieses Projekt undenkbar gewesen wäre!

Der Wert solcher Projekte für eine Schule und besonders für die beteiligten SchülerInnen kann gar nicht hoch genug angesetzt werden. Das Hinausgehen aus dem Bereich „Schule“ in andere Lebens- und Erfahrungswelten, der erste und intensive Kontakt zu naturwissenschaftlichen Forschungseinrichtungen und das Kennenlernen von aktuellen Forschungsarbeiten weckt nicht nur das Interesse bei allen Beteiligten, sondern liefert auch einen unschätzbaren Erfahrungswert für spätere berufliche Weichenstellungen bei den Jugendlichen.

Es erfüllt mich mit Stolz, als Direktor einer Schule vorzustehen, die aufgrund unermüdlicher jahrelanger Bemühungen solide Rahmenbedingungen für die erfolgreiche Umsetzung solcher außergewöhnlichen Projekte geschaffen hat.

Diese Broschüre ist somit ein Beweis der besonderen Leistungsfähigkeit der SchülerInnen und des LehrerInnenteams des Goethe-Gymnasiums!

Mag. Dr. Hubert Kopeszki
Direktor Goethe-Gymnasium



Einleitung

Im Zeitraum **September 2013 bis Mai 2014** wurde am Goethe-Gymnasium das **Projekt „Rohstoffe und ihre Endlichkeit - The Future We Want“** durchgeführt. Es widmete sich der drohenden Rohstoff- bzw. Ressourcenverknappung und diesbezüglicher Forschung in Österreich.



Das Projekt wurde vom **Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft** (ehemaliges BMWF) im Rahmen der **Initiative „Gemeinsam für nachhaltige Entwicklung – The Future We Want“** initiiert und gefördert und von **Young Science**, dem beim Österreichischen Austauschdienst angesiedelten Zentrum für die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Schule, koordiniert.

Durch das Projekt sollten Jugendliche nähere **Einblicke in aktuelle Forschungen** erhalten und österreichische ForscherInnen sowie Forschungseinrichtungen kennenlernen. Weiters wurde auch das Ziel verfolgt, junge Menschen zu motivieren, sich aktiver mit Themen der nachhaltigen Entwicklung auseinanderzusetzen.

Gemäß der Grundidee schlugen SchülerInnen des Goethe-Gymnasiums in Wien anhand exemplarisch ausgewählter Exponate des Naturhistorischen Museums eine **Brücke von den Ausstellungsobjekten hin zu aktuellen Forschungen**. Unterstützung erhielten sie dabei von WissenschaftlerInnen des **Naturhistorischen Museums**, der **Allianz nachhaltiger Universitäten in Österreich** und der **Geologischen Bundesanstalt**.

Das Goethe-Gymnasium hat aufgrund seiner zahlreichen Projekte große Erfahrung damit, seinen SchülerInnen zu ermöglichen, über den „Schulhofrand“ zu blicken. Als Beispiel sei hier die Beteiligung am **Projekt „Rio 92+“** (2012) zu nennen, das sogar in einem schulinternen Umwelt-Minikongress über Klimaforschung gipfelte.

„Rohstoffmangel schürt internationale Konflikte“, „Harter Wettlauf um Rohstoffe“, „Gehen uns bald die Ressourcen aus?“ Schlagzeilen wie diese weckten das Interesse der ProjektteilnehmerInnen an der **brisanten Thematik „Rohstoffe und ihre Endlichkeit“**.

In der Folge beschäftigten sich **SchülerInnen der 7. B, 7. D und 8. A Klassen** des Gymnasiums in den Fächern **Chemie, Biologie** sowie **Wirtschaftskunde** mit der Thematik. Im Laufe des Projektes bearbeiteten die Jugendlichen unter Mitarbeit der ProjektlehrerInnen und in Absprache mit WissenschaftlerInnen dabei folgende Subthemen:

- Boden, Dünger (Phosphor)
- Energierohstoffe (Erdgas, Erdöl, Kohle)
- Spezial- und Sondermetalle (Niob / Tantal, Seltene Erden, Zinn, Gallium / Germanium / Indium, Lithium, Wolfram, Gold, Platingruppenmetalle)
- Bergbau der Zukunft (Asteroidenbergbau, Stadtbergbau)

Die SchülerInnen führten eigene **Recherchen** durch, erstellten ein **Portfolio** und machten **Interviews mit namhaften WissenschaftlerInnen/ExpertInnen** zur jeweiligen Thematik und dem aktuellen Forschungsstand.

Schulintern präsentierten die SchülerInnen mit den besten Beiträgen ihre neu gewonnenen Erkenntnisse auf einem **Symposium** mit **Univ.Prof. Dr. Christian Köberl**, dem Generaldirektor des Naturhistorischen Museums, Wien als Hauptredner.

In Summe waren an diesem Projekt **63 SchülerInnen aktiv** beteiligt und ca. 200 SchülerInnen nahmen am Symposium teil.



Für das breite Publikum produzierten die SchülerInnen sowohl die **Inhalte der Ausstellungsbroschüre** als auch alle **Fahrentexte** der Ausstellung sowie die vorliegenden Texte, die **weiterführende Informationen** zu den jeweiligen Rohstoff-Themenkomplexen für MuseumsbesucherInnen, aber auch für LehrerInnen umfassen. Darüber hinaus gestalteten die SchülerInnen unterstützende **Lernobjekte**.

Texte und Lernobjekte sind via QR-Code bzw. die **Webseiten des Naturhistorischen Museums und Goethe-Gymnasiums** zugänglich.

Erwähnt werden muss, dass die meisten SchülerInnen vor diesem Projekt noch keine Erfahrungen mit (vor)wissenschaftlichem Arbeiten hatten und sich viele dieser Herausforderung - zur Freude des LehrerInnenteams - mit Elan und großem Engagement stellten und das parallel zum herkömmlichen Unterricht! Vielen Dank an alle für die sicherlich bereichernden Beiträge!

Bestens betreut wurden die SchülerInnen von **Dir. Mag. Dr. Hubert Kopeszki** (Biologie), **OSTR. Mag. Sylvia Gerl** (Wirtschaftskunde), **Mag. Dipl. Ing. Jürgen Kern** (Chemie) und **Mag. Martin Gössinger** (Design/Öffentlichkeitsarbeit). Unterstützend wirkten **Mag. Michaela Streuselberger** (Informatik), **OSTR. Mag. Josef Idinger** (Administration), **OSTR. Mag. Elisabeth Waldmann** (Lektorat) sowie die **Englisch-Fachgruppe**. Besten Dank!

Im Namen der SchülerInnen vielen herzlichen Dank auch an die fördernden und koordinierenden Institutionen, das **Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft** (BMWF, ehemaliges BMWF), vertreten durch Frau **Dr. Marie Céline Loibl**, sowie **Young Science**, dem beim **Österreichischen Austauschdienst** (OeAD) angesiedelten Zentrum für die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Schule, vertreten durch Frau **Mag. Petra Siegele**, die es ermöglicht haben, dass die SchülerInnen am vorliegenden Projekt mitarbeiten konnten.

Vielen Dank aber auch an **alle WissenschaftlerInnen**, die ihre kostbare Zeit unserem Anliegen und unseren SchülerInnen gewidmet haben, allen voran den Herren **Univ.Prof. Dr. Markus Fiebig** vom Institut für Angewandte Geologie der Hochschule für Bodenkultur (BOKU) in Wien, **Dir. Dr. Peter Seifert** und **Dr. Alfred Schedl** von der Geologischen Bundesanstalt, Wien.

Last but not least, ein herzliches Dankeschön den **MitarbeiterInnen des Naturhistorischen Museums in Wien**, insbesondere dem Hausherrn **GDir. Univ.Prof. Dr. Christian Köberl** sowie **Frau Mag. Gertrude Zulka-Schaller** und ihren KollegInnen.

Wir freuen uns, die Ergebnisse der Zusammenarbeit auf den folgenden Seiten sowie in der Ausstellung des Naturhistorischen Museums und mittels der Lehr- und Lernmaterialien nun vorstellen zu können.

Für das Projektteam:

OSTR. Mag. Dr. Elisabeth Kulnigg
Projektleiterin



Projektteam Goethe-Gymnasium:

SchülerInnen der 7.b:

Carolina Baumann
Benedikt Bischof
Katharina Gleißner
Seifeldin Hamed
Otto Handl
Maximilian Holzer
Katarina Ivankovic
Katharina Janzek
Hannes Korb
Anna Krzyzak
Alexander Kurt
Victoria Labuz
Lisa Meister
Christian Müller
Matej Piskacek
Philip Riedel
Konstantin Riermeier
Lukas Schaller
Alexander Schneider
Gregor Schweng
Leon Smolnig
Sarah Warhanek
Christian Wieser
Christoph Wimmer

SchülerInnen der 7.d:

Luana Ambord
Magdalena Csarman
Benedikt Hurch
Timon Kalchmayr
Katrin Kappel
Veronika Kenyeres
Juliana Kugi
Antonia Maetz
Dino Maglic
Elias Maier
Marius Netinger
Laura Obmann
Nikolaus Prager
Nicole Schachinger
Sten Scharf
Maximilian Schauersberger
Karl Schwarz
Philipp Seitz
Florian Steiner
Dominic Suppan
Stefanie Vock
Yasmin Wagner

SchülerInnen der 8.a:

Sarah Brand
Sarah Ferstl
Sonja Grininger
Simon Hasenauer
Astrid Hüpfel
Oliver Jakovljevic
Bernadette Jenisch
Irene Koblitz
Philip Lanzerits
Elisabeth Mandl
Roland Rehfeld
Stephanie Scharrach
Barbara Schwarz
Lisa Stöllinger
Christine Trubel
Katharina Zehetner

LehrerInnen:

Mag. DI. Jürgen Kern
(Chemie)

OSTR. Mag. Sylvia Gerl
(Wirtschaftskunde)
Mag. Michaela Streuselberger
Informatik
OSTR. Mag. Elisabeth Waldmann
(Lektorat)
Mag. Martin Gössinger
(Öffentlichkeitsarbeit)
OSTR. Mag. Dr. Elisabeth Kulnigg
(Projektleiterin)

Dir. Mag. Dr. Kopeszki
(Biologie)



Das Team des Goethe-Gymnasiums bedankt sich herzlich bei den folgenden WissenschaftlerInnen:

- **Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Jürgen Antrekowitsch,**
Nichteisenmetallurgie, Montanuniversität Leoben
- **Dipl.-Ing. Lukas Egle,**
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien
- **Univ.Prof. Dr. Markus Fiebig,**
Institut für Angewandte Geologie, Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien
- **Univ.Prof. Mag. Dr. Richard Göd,**
Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie, Department für Lithosphären-
forschung, Universität Wien
- **Dr. Vera M. F. Hammer,**
Naturhistorisches Museum Wien
- **Priv.-Doz. Mag. Dr. Mathias Harzhauser,**
Naturhistorisches Museum Wien
- **Mag. Dr. Robert Holnsteiner,**
Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft
- **Abt.Dir. Dr. Anton Kern,**
Naturhistorisches Museum Wien
- **Priv.-Doz. Dr. Uwe Kolitsch,**
Naturhistorisches Museum Wien
- **GDir. Univ.Prof. Dr. Christian Köberl,**
Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie Universität Wien sowie Natur-
historisches Museum Wien
- **Mag. DI. Dr. Jakob Lederer,**
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien
- **Univ.-Prof. Mag. Dr. Frank Melcher,**
Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre, Montanuniversität Leoben
- **Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Rechberger,**
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien
- **Univ.-Prof. Dr. Johann G. Raith,**
Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie, Montanuniversität Leoben
- **Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard Sachsenhofer,**
Lehrstuhl für Erdölgeologie, Montanuniversität Leoben



ROHSTOFFE UND IHRE ENDLICHKEIT - THE FUTURE WE WANT

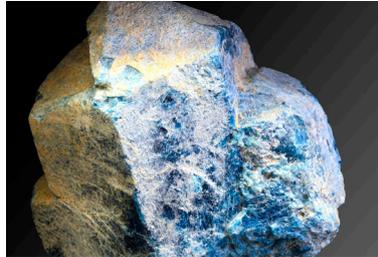
SCHÜLERINNEN DES GOETHE-GYMNASIUMS GESTALTEN EINE AUSSTELLUNG IM NATURHISTORISCHEN MUSEUM WIEN

- **Dr. Albert Schedl,**
Abteilung Rohstoffgeologie, Geologische Bundesanstalt
- **Dr. Peter Seifert**
Geologische Bundesanstalt
- **Univ.-Prof. DI. Dr. Wilfried Winiwarter,**
Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung, Karl-Franzens-Universität Graz
- **Univ.Prof. Dr. Zechmeister-Boltenstern,**
Institut für Bodenforschung (IBF), Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien

Rohstoffe und ihre Endlichkeit - The Future We Want Ausgewählte Objekte des Naturhistorischen Museums Wien



Pseudosporochus verticillatus



Apatit



Flabellipecten leythajanus



Ernstbrunnia toriseri



Lepidodendron



Tantalit: „Stibiotantalit“



Monazit



Zinnstein



Sphalerit



Spodumen



Wolframit



Gold



Platin



Eisenmeteorit



Autowrack

Fotos Schausammlung: Kurt Kracher (NHM), falls nicht anders angegeben: Bildarchiv NHM



1. Boden - nur Dreck?

Objekt: *Pseudosporochnus verticillatus*

Texterstellung: Maximilian Holzer, Timon Kalchmayr, Christina Trubel, LehrerInnenteam

1.1 Überblick

Oft sind wir uns gar nicht bewusst, wie wichtig der Boden ist und wie leicht er verloren geht. Täglich werden in Österreich 22 Hektar Boden – und damit eine Fläche von etwa 31 Fußballfeldern – versiegelt¹, das heißt zubetoniert. Laut Dr. Weinberger, Generaldirektor der österreichischen Hagelversicherung, werden bis 2060 etwa 400.000 Hektar Ackerfläche (ca. die zehnfache Fläche Wiens)² auf diese Weise verloren gehen. Boden ist nicht gleich Boden. Seine Qualität wird durch viele Faktoren beeinträchtigt. Dazu gehören Erosion, Versauerung, Verunreinigung, falsche Bewirtschaftung, Klimawandel und Bodenverdichtung.

Boden ist ein hochkomplexes, dynamisches Ökosystem, das viele essentielle Funktionen übernimmt. Wir benötigen Boden als Untergrund für unser Infrastrukturnetz und unsere Gebäude, somit als Grundlage für das gesamte menschliche Handeln und alle unsere Tätigkeiten. Zur wirtschaftlichen Nutzung zählt auch seine Verwendung als Produktionsgut in Landwirtschaft und Gartenbau. Noch grundlegender und bedeutsamer ist der Boden jedoch als Wasserspeicher und Lebensraum für unzählige Lebewesen. Ein Gramm fruchtbarer Boden enthält mehr lebende Organismen als es Menschen auf der Erde gibt.

Nach Frau Univ. Prof. Dr. Zechmeister-Boltenstern, Expertin am Institut für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur in Wien (BOKU), sind Böden auch von großer Bedeutung für den Klimaschutz³.

1.2 Grundlagen

Boden - chemisch gesehen:

Böden liefern als **Wasserspeicher** und **Nährstoffträger** wichtige stoffliche **Grundlagen für das Pflanzenwachstum**. Sie liefern beispielsweise Ammonium-, Nitrat-, Phosphat-, sowie Calcium-, Kaliumionen und viele mehr.

Eine besonders **wichtige Funktion** erfüllen Böden aber auch durch **Bindung von Kohlenstoff** und **Stickstoff**. Die beiden Elemente werden durch Bodenorganismen im **Kreislauf** gehalten:

Indem Bodenorganismen atmen, bilden sie Kohlenstoffdioxid (CO₂) und setzen dabei etwa zehn Mal so viel des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid frei wie der Straßenverkehr. Das CO₂ wird jedoch von Pflanzen aufgenommen. Abgestorbene Pflanzenreste wiederum werden von Bodenorganismen in Humus umgewandelt.

Durch Eingriffe in die Natur zerstören Menschen jedoch Humus, was dazu führt, dass CO₂ verstärkt in die Atmosphäre freigesetzt wird.

¹ Vgl.: Ö1 Morgenjournal: „Immer mehr Ackerland geht verloren.“, 5.12.2013 (07:08 Uhr)

² Aus unserem Gespräch mit Univ. Prof. Dr. Sophie Zechmeister-Boltenstern; 06.12.2013

³ ebenda



Stickstoff wird von bestimmten Bakterien aus der Luft aufgenommen, in organische Verbindungen umgewandelt und wieder in die Atmosphäre abgegeben. Durch den Einsatz künstlicher Düngemittel greift der Mensch aber auch in diesen Kreislauf massiv ein. Als problematisch gilt dabei nicht zuletzt die Bildung von Lachgas, einem starken Treibhausgas, aus diesen Düngern.

Die **Bodenqualität** kann durch Belastung mit Schadstoffen oder durch Übersäuerung beeinträchtigt werden.

- **Schadstoffbelastungen** erfolgen beispielsweise durch die Schwermetalle Cadmium, Arsen und Blei sowie diverse Pestizide aus der Landwirtschaft.
- Zu einer **Übersäuerung** kommt es etwa dann, wenn Säuren wie beispielsweise Schwefel- oder Salpetersäure, in den Boden gelangen.
 - ↳ **Schwefelsäure** entsteht in der Atmosphäre aus Schwefeldioxid (SO_2), das vor allem bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe gebildet wird.
 - ↳ **Salpetersäure** entsteht ebenfalls in der Atmosphäre aus bei Verbrennungsprozessen freigesetzten Stickoxiden. Salpetersäure wird im Boden von bestimmten Bakterien zu Nitraten umgewandelt. Nitrate werden sehr leicht aus dem Boden ausgewaschen und entziehen dabei dem Boden wichtige Nährstoffe, z.B. die basischen Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium. Die Folgen sind Mangelerscheinungen bei Pflanzen und durch den Austausch dieser Ionen durch Protonen (H^+) eine Versäuerung des Bodens.⁴

In Österreich war Versäuerung vor allem in den **80er-Jahren ein großes Problem**. Um das damit im Zusammenhang stehende Waldsterben einzudämmen, wurden seit dem verschiedene **Maßnahmen zur Luftreinhaltung** getroffen. Dadurch ist es gelungen, die Freisetzung von Schwefeldioxid und Stickstoffverbindungen in die Atmosphäre und die Entstehung von saurem Regen zu verringern.

Ein weiterer Verursacher von Übersäuerung ist aber auch das bei intensiver Viehzucht entstehende **Ammoniakgas (NH_3)**. Es wird in die Atmosphäre freigesetzt und durch den Regen wieder ausgewaschen. Das Gas ist - chemisch gesehen - eigentlich eine Base, bildet im gelösten Zustand jedoch sauer wirkende Salze, die beim Eintrag in den Boden zu Übersäuerung führen können.

Heute stellt die Bodenversäuerung in Österreich, im Vergleich zu früher, kein so ein großes Problem mehr dar, denn durch zahlreiche Maßnahmen konnten die Ursachen dafür reduziert werden.⁵ Als Beispiele dafür können etwa der **Einsatz von Autokatalysatoren** bzw. der Einbau von **Abgasreinigungsanlagen** in kalorischen Kraftwerken genannt werden.

Boden IST Leben:

Böden, im Laufe von Jahrhunderten bzw. Jahrtausenden unter dem Einfluss von Umweltfaktoren entstanden, beinhalten **physikalische, chemische und biologische Systeme** und sowohl Umwandlungsprodukte mineralischer Substanzen (anorganisch, aus Verwitterung des Ausgangsgesteins) als auch organischer Substanzen (Humus, aus toten Pflanzen- und Tierteilen). Böden bilden die **Existenzgrundlage für Pflanzen, Tiere und Menschen**. Sie beherbergen unzählige Lebewesen und übernehmen Aufgaben, die grundlegend für die Entstehung/Erhaltung allen Lebens sind.

⁴ Aus unserem Gespräch mit Univ. Prof. Dr. Sophie Zechmeister-Boltenstern; 06.12.2013

⁵ ebenda



Bei Böden handelt es sich um **dynamische, lebendige Systeme** und nicht – wie oft angenommen – um tote Materie. Ein Gramm Erde eines fruchtbaren Ackerbodens enthält Milliarden von Pilzen, Algen und Bakterien. **Eine Hand voll Gartenerde beinhaltet mehr lebendige Organismen als es Menschen auf der Erde gibt.**⁶

Boden ermöglicht, schafft und erhält Leben – Boden IST Leben. Das verdeutlicht, weshalb **Bodenschutz** und ein **sorgfältiger, verantwortungsbewusster Umgang** mit ihm unerlässlich sind. Trotzdem tritt der Mensch den Boden sprichwörtlich mit Füßen und zerstört wertvolles Leben in großem Ausmaß – meist ohne sich über die konkreten Folgen seines Handelns bewusst zu sein. Durch Eingreifen in das natürliche Geschehen bringt er das empfindliche System aus dem Gleichgewicht. Die **Gesundheit des Bodens** wird gefährdet – oftmals können die empfindlichen, im Boden angesiedelten Lebewesen und Organismen unter den veränderten, schlechten Bedingungen nicht mehr fortbestehen und ihre - auch für den Menschen - lebensgrundlegenden Funktionen ausüben. Bodenorganismen sorgen für die Durchmischung, Lüftung und Lockerung des Bodens sowie für den Ab-/Umbau der abgestorbenen organischen Substanz, die schließlich humifiziert und mineralisiert wird. Bei der Zersetzung und Zerkleinerung abgestorbener Pflanzenreste oder Tiere und dem Aufbau stabiler und fruchtbarer Humusverbindungen werden Nährsalze und Mineralien freigesetzt, die Pflanzen, aber auch einige Tiere für ihr Wachstum und ihre Entwicklung benötigen.⁷

Der rücksichtslose Umgang mit dem wichtigen **Ökosystem Boden** wirkt sich umso drastischer aus, da es zahlreiche wichtige Aufgaben, unter anderem für den Klimaschutz (z.B. Speicherung von CO₂) übernimmt. Durch seine Zerstörung entwickelt sich ein Teufelskreis, weil das Fortschreiten des Klimawandels weitere, den Boden schädigende Folgen mit sich zieht.

Die gute Nachricht: Jeder Einzelne kann einen ersten Schritt in Richtung einer Veränderung setzen, so kann jeder beispielsweise durch Recycling von Abfällen, Kompostierung, den Konsum biologisch angebauter, lokaler Lebensmittel und die Reduktion des Fleischkonsums zum Bodenschutz beitragen.

Boden wirtschaftlich betrachtet:

Um **einen Menschen** zu ernähren, braucht es **etwa 3000 Quadratmeter Ackerland**. In **Österreich** stehen aber **nur 1600 Quadratmeter Boden pro Kopf** zur Verfügung, das bedeutet, Österreich ist stark von Lebensmittelimporten abhängig.⁸

Die für die Wirtschaft vermutlich bedeutendste Frage lautet jedoch: **Welchen Wert hat Boden?** Diese Frage ist leider nicht leicht zu beantworten.

Der Wert von Boden hängt von sehr vielen verschiedenen Faktoren ab. Will man den Wert von Boden beurteilen, muss man sich zuerst die Frage stellen, wofür man ihn verwenden will. Boden, der landwirtschaftlich genutzt wird, muss fruchtbar, das heißt nährstoff- und humusreich sein. Außerdem muss der Boden gut durchlüftet und darf nicht zu stark verdichtet sein. Benötigt man Boden allerdings für Industriegebiete, so ist es nicht wichtig, ob er fruchtbar ist, sondern es kommt eher auf eine gute Verkehrsanbindung an.

Man kann daher **keinen einheitlichen Wert für Boden** festlegen. Allein in **Österreich** gibt es **etwa 200 verschiedene Arten von Böden**, und jede Art hat ihren eigenen Wert.

⁶ Hennig, E: Geheimnisse der fruchtbaren Böden. Die Humuswirtschaft als Bewahrerin unserer natürlichen Lebensgrundlage. – Xanten: OLV, 2002, S.12

⁷ Bedeutung der Bodenorganismen, in: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/06/06.htm> (dl.: 15.12.2013, 22:00 Uhr)

⁸ Aus unserem Gespräch mit Univ. Prof. Dr. Sophie Zechmeister-Boltenstern; 06.12.2013



Allerdings muss noch erwähnt werden, dass Boden nicht nur einen wirtschaftlichen Wert hat, sondern auch einen **ökologischen Wert**, den man auch nicht unterschätzen darf. Oft sind Böden, die keinen sehr hohen wirtschaftlichen Wert besitzen, da sie nährstoffarm und sauer sind (z.B. Moorböden), dennoch für den **Artenschutz** von enormer Bedeutung. Bestimmte Pflanzenarten wachsen eben nur auf bestimmten Böden, deshalb ist es wichtig, auch Böden, die wertlos erscheinen, zu schützen.

1.3 Forschungstätigkeit in Österreich

In Österreich beschäftigen sich unter anderen aktuell das **Institut für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur Wien** (Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Dr.h.c.mult. Martin Gerzabek, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Walter Wenzel, Univ.Prof. Dr.phil. Sophie Zechmeister-Boltenstern etc.) und das **Umweltbundesamt** mit dem Rohstoff Boden.

1.4 Fazit

- Boden ermöglicht, schafft und erhält Leben – Boden IST Leben. **Bodenschutz** und ein **sorgfältiger, verantwortungsbewusster Umgang** mit Böden sind unerlässlich!
- Die Qualität von Böden wird durch viele **Einflussfaktoren** beeinträchtigt wie z.B. Erosion, Versauerung, Verunreinigung, falsche Bewirtschaftung, Klimawandel und Bodenverdichtung.
- Rücksichtsloser Umgang mit dem wichtigen **Ökosystem Boden** wirkt sich drastisch aus, da es zahlreiche wichtige Aufgaben, unter anderem für den Klimaschutz (z.B. Speicherung von CO₂) übernimmt.
- Jeder Einzelne kann erste Schritte in Richtung einer Veränderung setzen.

1.4 Interviewpartnerin

Univ.Prof. Dr.phil. Sophie Zechmeister-Boltenstern
Bodenexpertin



Univ.Prof. Dr. Sophie Zechmeister-Boltenstern ist seit 2011 Universitätsprofessorin für Bodenkunde/Bodenmikrobiologie und Leiterin des Instituts für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU). Vor 2011 leitete sie die Abteilung für Bodenbiologie am Institut für Waldökologie und Boden am Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) in Wien.

Fachkenntnisse hat sie auf den Gebieten Biodiversität und Funktion von Bodenorganismen und ihren Wechselbeziehungen, Biologie des Stickstoffkreislaufes, Klimawandel und Treibhausgase, Umsetzung von Gasen in Böden.

1.5 Lernobjekte

- Richtig oder falsch / Lösung
- Online-Kreuzworträtsel / Lösung



1.6 Quellen

- Unser Interview mit Univ.Prof. Dr. Sophie Zechmeister-Boltenstern, 06.12.2013
- Ö1 Morgenjournal 05.12.2013 (07:08): Immer mehr Ackerland geht verloren
- Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung. Globale Umweltveränderungen. Jahresgutachten 1994 - Economica Verlag, Bonn, S. 41
- Hennig, E: Geheimnisse der fruchtbaren Böden. Die Humuswirtschaft als Bewahrerin unserer natürlichen Lebensgrundlage – Xanten: OLV, 2002, S.12

Webseite:

- Bodenleben. Bedeutung der Bodenorganismen, in: <http://hypersoil.uni-muenster.de/o/06/06.htm> (dl.: 15.12.2013, 22:00 Uhr)



2. Phosphor – Dünger aus Urin?

Objekt: Apatit (Jacobina, M. G., Brasilien)

Texterstellung: Luana Ambord, Veronika Kenyeres, Sarah Warhanek, Sonja Grininger, LehrerInnenteam

2.1 Überblick

Experten warnen, Phosphor könnte möglicherweise aus geopolitischen Gründen knapp werden. 90 % der vor allem in China, den USA, Marokko und Russland abgebauten Phosphate werden als Dünger verwendet, ohne den die Ernteerträge zurückgehen würden und binnen kürzester Zeit Millionen von Menschen verhungern müssten. Phosphor kann durch kein anderes Element ersetzt werden.

1669 suchte Hennig Brand den Stein der Weisen und entdeckte dabei zufällig das Element Phosphor. Reiner Phosphor kommt als weißer, roter, schwarzer und violetter Phosphor vor. In Verbindung mit Sauerstoff entstehen Phosphate, die als lebenswichtige Nährstoffe am Aufbau der DNA, Knochen, Zähne und Zellwände beteiligt sind und bei der Energieübertragung in den Körperzellen eine wesentliche Rolle spielen. Aber auch in der Lebensmitteltechnologie werden Phosphate verwendet, beispielweise für die Herstellung von Wurst, Käse, Speiseeis und Softdrinks (z.B. Cola).

Wissenschaftler wie z. B. DI Lukas Egle vom Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement der Technischen Universität Wien, beschäftigen sich mit dem Recycling von Phosphor. Untersucht werden Methoden zur Rückgewinnung aus dem Klärschlamm von Abwässern oder aus Schlachtabfällen. Eine in der Schweiz untersuchte Methode ist die „Urin-Separierung“. Dabei werden in Toiletten Urin und Kot getrennt, damit der Phosphor aus dem Urin extrahiert werden kann.

2.2 Grundlagen

Die chemische Seite von Phosphor:

Das Element Phosphor kommt als Element in **unterschiedlichen Modifikationen** vor:

- **Weißer Phosphor** bildet tetraederförmige Moleküle, die aus vier Phosphor-Atomen bestehen, ist sehr giftig und entzündet sich an der Luft spontan.
- **Roter Phosphor** hat eine amorphe, hochpolymere Struktur, ist ungiftig, explodiert jedoch in Gemischen mit starken Oxidationsmitteln schon beim Zerreiben. Man verwendet diese Form daher in Feuerwerkskörpern und Zündhölzern.
- Weiters gibt es **schwarzen** bzw. **violetten Phosphor**.

Phosphor kommt **in der Natur nicht elementar** vor. In Verbindung mit anderen Elementen tritt er hauptsächlich als Derivat der Phosphorsäure, in Form von **Phosphaten** auf. In diesen Verbindungen ist er in jeder lebenden Zelle vorhanden und erfüllt dort eine **Reihe wichtiger Funktionen** bzw. ist am **Aufbau zahlreicher lebensnotwendiger Stoffe** beteiligt, z.B. DNA, Knochen, Zähne, Muskel-, Nerven- und Hirnsubstanz sowie den für die Energieübertragung wichtigen ATP-Molekülen etc.

Phosphor ist daher ein **sehr wichtiger Nährstoff**, der in der Landwirtschaft den Pflanzen als Dünger zur Verfügung gestellt werden muss. Als **Düngemittel** kommen dabei **verschiedene Calcium-** bzw.



Ammoniumphosphate zum Einsatz (z.B. Calciumdihydrogenphosphat: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$), die durch **chemische Aufschlussverfahren** aus mineralischen Phosphaten gewonnen werden.

Ein natürlicher Phosphordünger ist **Guano**, das aus den Exkrementen von Seevögeln entsteht.

Überdüngung bewirkt, dass Phosphate in Gewässer gelangen und diese aus dem ökologischen Gleichgewicht geraten. Aus diesem Grund soll z.B. auch auf den Einsatz von Phosphaten als Enthärter in Waschmitteln verzichtet werden.

In der **Lebensmitteltechnologie** finden Phosphate u.a. als Konservierungsmittel, Säuerungsmittel und Emulgatoren Verwendung und sind demzufolge auch in Wurstwaren, bestimmten Käsesorten und Speiseeis enthalten. Als Phosphorsäure kommt Phosphor in manchen Getränken (z.B. Cola) vor.

Da Phosphor ein wesentlicher Bestandteil aller lebenden Organismen ist, kommen als Rohstoffquellen für eine mögliche Rückgewinnung prinzipiell **alle tierischen und menschlichen Ausscheidungsprodukte** und **Tierkörper** in Frage. Phosphor könnte daher etwa aus Schlachtabfällen oder dem in Kläranlagen anfallenden Klärschlamm gewonnen werden. Auch das Sammeln von Urin wäre eine Möglichkeit, diesen Rohstoff zu recyceln.

... biologisch betrachtet:

Phosphor besitzt eine **große Umweltrelevanz**, denn er ist ein zentraler Baustoff allen Lebens, ohne den Menschen, Tiere und Pflanzen nicht existieren können. Weltweit erbringt die Landwirtschaft nur durch den intensiven Einsatz von Phosphat-Düngern die notwendigen Ernteerträge für die 7 Milliarden Menschen, die inzwischen auf der Erde leben. Ohne **permanente Phosphat-Düngung** würden die Erträge auf den Feldern rapide zurückgehen und innerhalb kürzester Zeit würden Abermillionen Menschen verhungern.

Internationale Experten warnen, dass die **Phosphor-Reserven der Welt zu Ende gehen**. Allerdings gibt es anders als beim Energielieferanten Öl, **für Phosphor keine Alternative**. Deshalb erproben Wissenschaftler und Ingenieure Verfahren, mit denen Phosphor recycelt werden kann. Eine dieser Methoden ist die sogenannte **Urin-Separierung**. Ein Erwachsener scheidet pro Tag 1,7 g Phosphor aus, 60% davon durch den Urin. Ein Problem dieser Lösungsversuche stellt die Unterfinanzierung dar. Aber schon unser tägliches **Einkaufsverhalten** könnte den **Phosphorverbrauch um ca. 45%** senken. Die Menschen müssten weitestgehend darauf verzichten Fleisch zu essen. Denn um Tiere zu ernähren, braucht es wiederum Phosphor.

... und wirtschaftlich gesehen:

Die **größten Phosphat-Lagerstätten** befinden sich in Marokko, Tunesien, China, Russland und den USA¹. Da es in Europa keine Phosphor-Lagerstätten gibt, sind wir von Importen abhängig. Deshalb arbeiten Deutschland und die Schweiz sehr intensiv an der **Rückgewinnung von Phosphor**². In Deutschland wurden bereits Pilotanlagen gebaut. In Zürich (Schweiz) wird bereits der gesamte **Klärschlamm** gesammelt, verbrannt und dann auf Deponien abgelagert.

¹ Antwort der Bundesregierung auf die Mitteilung der EU-Kommission „Konsultative Mitteilung zur nachhaltigen Verwendung von Phosphor (COM(2013) 517 final)“. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat WA II 4, in: http://www.deutsche-phosphor-plattform.de/content/dam/iwks/DeuPP/BuregAntwortKonsultativeMitteilung_P_Endfassung.pdf (1.3.2014 22:10)

² ebenda



Das Verfahren der **Rückgewinnung aus dem Klärschlamm** könnte in 7-10 Jahren wirtschaftlich werden, wohingegen die Gewinnung aus dem Abwasser sehr teuer ist.

Auch tierische Abfälle (Knochenmehle, Tiermehle) sind sehr phosphorreich. „Wenn man das Abwasser und danach den Klärschlamm und die tierischen Abfälle kombiniert, könnte man nach dem aktuellen Stand fast 100% der Mineraldüngerimporte ersetzen.“, so DI Lukas Egle.

2.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV)

green jobs Austria, DI Manuel Binder

BOKU Wien

Institut für Wassergüte, TU Wien

2.4 Fazit

- Phosphor wird als Dünger verwendet.
- Man schätzt, dass die Phosphorreserven zwischen 100-350 Jahre (in Abhängigkeit von weiteren Recyclingmethoden) reichen.
- Die Rückgewinnung aus dem Klärschlamm könnte in 7-10 Jahren wirtschaftlich werden.

2.5 Interviewpartner

Dipl.-Ing. Lukas Egle,
Institut für Wassergüte, TU Wien



Lukas Egle arbeitet an der TU Wien am Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement. In seiner Arbeit beschäftigte er sich in den letzten drei Jahren intensiv mit den verschiedenen Verfahren der Phosphor-Rückgewinnung. Er und sein Team stellten einen Katalog mit aufbereiteten Informationen für das Bundesministerium her. Mit diesen Daten könnte ein besseres Phosphor-Management betrieben und die Ressource Phosphor effizienter genutzt werden. Viele seiner bisherigen Publikationen beschäftigen sich ebenfalls mit dem Thema Phosphor.

Zum Beispiel: L. Egle: „Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus dem kommunalen Abwasser“; Vortrag: Verwertung, Behandlung, Phosphorrückgewinnung. ÖWAV-Klärschlammseminar, Wels, 22.11.2012-23.11.2012, in: „Proceedings“ (2012).

2.6 Lernobjekte

- Online-Hangman / Lösung
- Dokumentation: „Die Phosphor Krise - Die größte Gefahr für die Welt“. DokuWorld 2013, in: <http://www.youtube.com/watch?v=BxYoc43wuvU>



2.7 Quellen

- Unser Interview mit Dipl.-Ing. Lukas Egle, 21.11.2013

Webseiten:

- Antwort der Bundesregierung auf die Mitteilung der EU-Kommission „Konsultative Mitteilung zur nachhaltigen Verwendung von Phosphor (COM(2013) 517 final)“. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat WA II 4, in: http://www.deutsche-phosphor-plattform.de/content/dam/iwks/DeuPP/BuregAntwortKonsultativeMitteilung_P_Endfassung.pdf (1.3.2014 22:10)
- Oberösterreichische Zukunftsakademie: Endlichkeit der Rohstoffe. Ressourcenvorräte von A bis Z, S 35, in: http://www.ooe-zukunftsakademie.at/Endlichkeit_der_Rohstoffe_Ressourcenorraete_von_A_bis_Z__INTERNET.pdf (24.10.2013)
- Elsner, Harald: Stand der Phosphat-Reserven weltweit. Braunschweiger Nährstofftage 2008. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2008, in: <http://www.thermalhydrolysis.com/Phosphat-Reserven.pdf> (24.10.2013)



3. Erdgas – unsichtbare Energie

Objekt: *Flabellipecten leythianus* (Leithakalk mit Kammmuscheln, St. Margarethen)

Texterstellung: Veronika Kenyeres, Dino Maglic, Lisa Stöllinger, Konstantin Riermeier, LehrerInnenteam

3.1 Überblick

Als Erdgas bezeichnet man ein brennbares, geruch- und farbloses Naturgas, welches hauptsächlich aus hochentzündlichem Methan besteht. Es wird zwar noch mehrere Jahrhunderte vorhanden sein, aber es wird mit der Zeit teurer.

Erdgas wird hauptsächlich als Brennstoff in Gaskraftwerken und für die Wärmeproduktion sowie als Treibstoff verwendet. Dabei verbrennt es umweltfreundlicher als etwa Kohle, Benzin und Diesel.

Die größten Vorkommen befinden sich in Russland und im mittleren Osten (Iran und Katar). In den USA und in China gibt es große Schiefergas-Lagerstätten. In Österreich tritt Erdgas im Wiener Becken und Alpenvorland auf.

Erdgas entsteht ähnlich wie Erdöl in „Muttergesteinen“, die reich an organischem Material sind, und kommt daher häufig zusammen mit diesem vor. Bei konventionellen Lagerstätten sammelt sich das Erdgas in millimetergroßen Gesteinsporen. Aufgrund des Überdrucks im Erdinneren strömt das Erdgas nach dem Anbohren von selbst aus.

Schwieriger ist die Erdgasförderung aus Schiefergas-Lagerstätten. Hier werden die erdgasführenden Gesteinsschichten durch Einpressen einer Flüssigkeit aufgebrochen. Aufgrund des möglichen Gefahrenpotentials, das von dieser Methode und den dabei verwendeten Chemikalien ausgeht, wird diese Fördertechnik in vielen Ländern heute noch nicht angewendet.

An der Montanuniversität in Leoben arbeiten WissenschaftlerInnen schwerpunktmäßig an der Optimierung von Methoden zur Erdgas- und Erdölgewinnung.

3.2 Grundlagen

Erdgas besteht aus **Kohlenwasserstoffen**. Der **Hauptbestandteil (75-99%)** ist immer **Methan (CH₄)**. Nebenbestandteile sind Ethan (C₂H₆; 1-15%), Propan (C₃H₈; 1-10%), Butan (C₄H₁₀) und Ethen (C₂H₄). Stickstoff (N₂; 0-15%), Kohlenstoffdioxid (CO₂; 0-10%) sowie Schwefel, in Form von Schwefelwasserstoff (H₂S; 0-35%) werden vom Gas abgetrennt.

Um eine möglichst konstante Qualität des Gases zu erhalten werden Gase aus verschiedenen Lagerstätten vermischt.

Entstehung:

Erdgas wird unter Luftabschluss bei hohen Temperaturen und unter hohem Druck aus abgestorbenen Mikroorganismen unter der Einwirkung von Bakterien gebildet. Erdgas entsteht somit auf ähnliche Art und Weise wie Erdöl und tritt meist gemeinsam mit diesem auf.

In einer ersten Phase bildet sich aus den Organismenresten und Ton zunächst **Faulschlamm**. Von weiteren Sand- und Tonschichten überlagert, wird der Faulschlamm im Laufe von Millionen Jahren immer weiter in die Tiefe gedrückt und in **Kerogen**, den Ausgangsstoff von Erdgas und Erdöl umgewandelt. Mit dem Anstieg von Druck und Temperatur entsteht schließlich in tausenden Metern Tiefe Erdgas.



Gewinnung:

Die Gewinnung von Erdgas ist **je nach Art der Lagerstätte anders**. Man unterscheidet konventionelles und unkonventionelles Erdgas.

- **Konventionelles Erdgas** ist oftmals ein Nebenvorkommen von Erdöl. Es wird durch **Anbohren von Gasblasen** gewonnen. Da das Rohgas unter hohem Druck steht, strömt es von selbst aus.

Erdgas sammelt sich in sogenannten Lagerstätten, welche z.B. durch Aufwölbung von Gestein entstehen. Lagerstätten werden mit Hilfe geophysikalischer und -chemischer Methoden aufgespürt. Besonders effizient sind seismische Messungen, da sie über den Verlauf unterirdischer Gesteinsschichten Aufschluss geben.

Ist eine Lagerstätte aufgefunden, wird ein Steigrohr in das Bohrloch eingebracht. Mit einem Sprengsatz werden das Ende des Steigrohrs und die umgebenden Gesteinsschichten durchlöchert, wodurch das Gas, unter dem ohnehin schon vorhandenen hohen Druck, in der Regel von selbst nach oben strömt.

- Wird Erdgas hingegen in **kleinen Poren im Gestein** festgehalten, so wird von **unkonventionellem Erdgas** gesprochen. Erdgas dieser Art kann wirtschaftlich nur mittels „**Hydraulic Fracturing**“ (kurz: Fracking) an die Oberfläche befördert werden.

Bei dem Verfahren werden sog. **Frackfluide** mit hohem Druck in den Boden gepresst, sodass sich im Gestein, in dem das Gas eingeschlossen ist, Risse bilden und das Gas entweichen kann. Wasser und Quarzsand werden vor allem in den Boden gepresst. Darüber hinaus kommen aber auch zahlreiche andere Chemikalien zum Einsatz, wie etwa Säuren, Korrosionsinhibitoren, Verdickungsmittel, Tenside u.a..

Das **Hydraulic Fracturing** löst große Diskussionen aus, da diverse Chemikalien in den Boden gepumpt, aber nicht zu 100% wieder an die Oberfläche geholt werden. Befürchtet wird eine Verunreinigung des Grund- und Oberflächenwassers durch das Bohrwasser. Die genaue Zusammensetzung des Fracking-Fluids wird meistens nicht bekanntgegeben.

Zurzeit forschen die großen Gasförderunternehmen an einem schadstofffreien Fracking. Dabei sollen die Chemikalien durch ungiftige Stoffe ersetzt werden.

Eine weitere Art des unkonventionellen Erdgas-Vorkommens ist das **Methaneis**.

Methan, das in gefrorenes Wasser eingelagert ist, wird von Wassermolekülen vollständig umschlossen. Es bildet sich am Meeresboden, wo Druck und Temperatur günstige Bedingungen liefern. Ein Liter Methaneis enthält circa 170 Liter Methangas.

Eigenschaften:

Erdgas ist ein farbloses, geruchloses, brennbares Gas. Die **Zündtemperatur** von Erdgas liegt bei ca. 600°C. Bei der Verbrennung entstehen vor allem **Wasser** und **Kohlenstoffdioxid**, in geringen Mengen aber auch Stickoxide, Schwefeloxide und Kohlenstoffmonoxid.

Erdgas verbrennt im Vergleich zu anderen fossilen Brennstoffen relativ sauber (u.a. aufgrund des geringeren Schwefelgehaltes). Außerdem hat es einen **höheren Heizwert als Heizöl**, weswegen es umgerechnet **bis zu 25% weniger Kohlenstoffdioxid** erzeugt.

Vor der Verbrennung muss das Rohgas mittels Gaswäsche gereinigt und getrocknet werden.

Neben Fracking ist die **Gaswäsche auf Bohrhinsen**, wo täglich bis zu 28.000 Tonnen Schwefelwasserstoff, Kohlenstoffdioxid und Wasser vom Erdgas abgetrennt werden, ein weiterer problematischer Bereich. Es wird vermutet, dass dabei verunreinigtes Waschwasser ins Meer und die Gase ungehindert in die Atmosphäre gelangen.



Verwendung:

Verwendet wird Erdgas im Bereich der **Strom- und Wärmeproduktion** sowie als **Treibstoff**, da es umweltfreundlicher als Diesel und Benzin ist.

- Die häufigste Verwendung von Erdgas ist die **Verheizung in Gaskraftwerken**, aber auch in **Häusern** (z.B. Gasheizung, Gasherd).
Wie bereits erwähnt, besteht Erdgas vorwiegend aus Methan. Reines Methan ist geruchlos und in einem Mischungsverhältnis von 7-14% mit Luft hochexplosiv. Daher hat man früher, als Stadtgas populär war, Geruchsstoffe hinzugefügt. Dadurch konnten die Bewohner in ihren Häusern früh genug erkennen, dass Gas austritt und rechtzeitig die Feuerwehr verständigen.
- In verflüssigter Form wird Erdgas auch als Treibstoff in sogenannten „**Flüssiggasautos**“ verwendet. Die Anschaffung solcher Autos ist jedoch weitaus teurer als die herkömmlicher Fahrzeuge mit Benzin- oder Dieselmotor. Flüssiggasautos haben allerdings den Vorteil, umweltfreundlicher zu sein. Einige Einschränkungen sind mit ihrer Nutzung hingegen verbunden. So ist beispielsweise in Österreich das Benützen von Tiefgaragen verboten.

Bedarf/Verfügbarkeit:

Österreich kann **ca. 10% seines Erdgasbedarfes** selbst produzieren. Der Rest kommt größtenteils aus **Russland** über Pipelines nach Österreich. Zudem bezieht Österreich Erdgas aus **Norwegen**, einem der größten Erdgasproduzenten Europas, und auch aus Deutschland. Bereits 1986 vereinbarte Österreich garantierte Lieferungen bis über das Jahr 2020 hinaus mit dem norwegischen Energiekonzern **Statoil**. Das norwegische Erdgas wird über Förderplattformen in der Nordsee gewonnen, über Unterwasserpipelines an die deutsche Nordseeküste geliefert und von dort weiter über das europäische Fernleitungsnetz nach Österreich transportiert.

1 m³ Erdgas entspricht in etwa 10,6 kWh. 1 kWh kostet ca. 0,03156 Euro.

1 m³ Erdgas kostet den Endverbraucher daher etwa 0,334536 Euro.

Erdgas ist generell umweltfreundlicher als Erdöl und Kohlen. Wie lange unsere Gasreserven jedoch noch reichen werden, ist umstritten. Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard F. Sachsenhofer, Vorstand des Instituts für Erdölgeologie der Montanuniversität Leoben (Österreich) ist der Meinung, dass die Verfügbarkeit von Erdgas noch lange Zeit gegeben sein wird (ca. 120 Jahre). Es wird nur schwieriger aufzufinden und teurer sein.

Nachwachsende Rohstoffe als Energielieferant (z.B. in Form von Holzpellets) sind schon heute weit verbreitete Alternativen zum Erdgas. Aber auch Wind-, Wasser-, und Sonnenkraft sowie die Atomkraft sind realistische Alternativen.

3.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Am Lehrstuhl für Erdölgeologie der Montanuniversität Leoben forschen Reinhard F. Sachsenhofer und sein Team zu den Themen Beckenanalyse, (unkonventionelle) Kohlenwasserstoffsysteme, sowie zur Entstehung von Erdöl, Erdgas und Kohle.

Laufende Forschungsprojekte befassen sich mit der Kohlenwasserstoffbildung im Alpenvorland und dem Wiener Becken, mit dem Erdgaspotential in der Ukraine, den Bildungsbedingungen von Kohlen und Ölschiefern in China und dem Vergleich von Erdölmuttergesteinen im Bereich der Paratethys (Österreich bis Aserbaidschan).



3.4 Fazit

- Erdgas wird noch mehrere Jahrhunderte vorhanden sein, aber es wird mit der Zeit teurer. 2012 wurden die sicheren und wahrscheinlichen Naturgasreserven Österreichs von der Geologischen Bundesanstalt auf rund 20,6 Mrd. m³ geschätzt.
- Brennstoff in Gaskraftwerken, Treibstoff, Wärmeproduktion
- Alternative: Nachwachsende Rohstoffe, Wind-, Wasser- und Sonnenkraft, Atomkraft

3.5 Interviewpartner

Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard F. Sachsenhofer

Lehrstuhl Erdölgeologie, Montanuniversität Leoben



Reinhard F. Sachsenhofer (Jg. 1960) hat an der Universität Graz Geologie und an der Montanuniversität Leoben Montangeologie studiert. Heute ist er Vorstand des Lehrstuhls Erdölgeologie an der Montanuniversität Leoben (Österreich). Davor war er Humboldt-Stipendiat am Institut für Erdöl und Organische Geochemie, KFA Jülich (Deutschland) und Gastprofessor an der Donetsk National Technical University (Ukraine). Er ist auch Gastprofessor an der Jilin University (China).

Univ.-Prof. Dr. Sachsenhofer ist Autor einer großen Anzahl an Forschungsartikeln, hat mehrere Forschungspreise gewonnen und ist Mitglied des redaktionellen Beirats mehrerer Zeitschriften.

3.6 Lernobjekte

- Online Lehrfilm Erdgas der GVS (Gasversorgung Süddeutschland): Aus der Tiefe der Erde – zu uns nach Hause, in: <http://www.youtube.com/watch?v=5Wi4Z995Oeo>
- Kreuzworträtsel / Lösung
- Lückentext / Lösung

3.7 Quellen

Webseiten:

- Oberösterreichische Zukunftsakademie: Endlichkeit der Rohstoffe. Ressourcenvorräte von A bis Z, S 17, in: http://www.ooe-zukunftsakademie.at/Endlichkeit_der_Rohstoffe_Ressourcenvorraete_von_A_bis_Z__INTERNET.pdf (24.10.2013)
- Preisblatt für die Lieferung von Erdgas (Energie) der BEGAS Energievertrieb GmbH & Co KG, gültig ab 1.4.2009, in: http://www.e-control.at/de/medienbibliothek/infos/dokumente/pdfs/Preisblatt_BEGAS_per_01-04-2009.pdf (16.10.2013)
- http://www.petroleumworld.net/?page_id=39 (dl.: 16.10.2013)
- Erdgas in Österreich, in: http://www.gaswaerme.at/beg/themen/index_html?uid=2662 (dl.: 12.12.2013)



4. Erdöl – Aus in 54 Jahren?

Objekt: *Ernstbrunnia toriseri* (Ammonit, Ernstbrunn, NÖ)

Texterstellung: Elias Maier, Lisa Meister, Gideon Riedel, Barbara Schwarz, Philipp Seitz, LehrerInnenteam

4.1 Überblick

Die gesicherten Erdölvorräte reichen bei gleichbleibendem Verbrauch laut BP noch 54 Jahre¹. Erdöl ist derzeit noch unsere wichtigste Energiequelle.² Wir gewinnen daraus die Treibstoffe Benzin, Diesel und Kerosin – Grundlage unserer heutigen Mobilität. Erdöl ist jedoch viel mehr als nur ein Brennstoff, denn es liefert Ausgangsstoffe zur Herstellung von Kunststoffen, Farben und Lacken, Pflanzenschutzmitteln, kosmetischen Produkten und Medikamenten.

Die Gewinnung birgt viele Risiken wie Explosionen auf Bohrinseln, Lecks in Pipelines oder Unfälle mit Öltankern. Dabei gelangt Erdöl in den Boden und in Gewässer. Das Risiko für die Umwelt steigt aber auch durch die Erdölförderung in der Tiefsee, in subarktischen und arktischen Regionen sowie durch die Ausbeutung ölhaltiger Sande.³

Erdöl, ein Gemisch aus zahlreichen Kohlenwasserstoffverbindungen, entstand im Verlauf vieler Millionen Jahre aus Kleinstlebewesen, die von Sedimenten überlagert und unter erhöhtem Druck, erhöhter Temperatur, Luftabschluss und Einwirkung von Bakterien abgebaut wurden.

Bei der Förderung des Erdöls können nur ca. 30 % mittels herkömmlicher Methoden aus dem Speichergestein gewonnen werden. Darum können allein durch verbesserte Fördertechniken neue Ölressourcen erschlossen werden.⁴ Den Entölungsgrad zu erhöhen ist ein Forschungsschwerpunkt u.a. der Montanuniversität in Leoben.

Aufgrund des absehbaren Endes des Erdöls werden vermehrt Ersatzstoffe gesucht. Ein möglicher Behelf könnte Biomasse sein, aus der man sowohl Treibstoffe als auch Kunststoffe herstellen kann. Derzeit werden noch täglich über 80 Mio. Barrel Erdöl verbraucht. 1 (US-amerik.) Barrel Öl entspricht 158,987 Litern.

4.2 Grundlagen

Erdöl ist ein natürlich vorkommendes **Gemisch aus Kohlenwasserstoffverbindungen**⁵. Das unbehandelte **Rohöl** ist eine zähflüssige, klebrige Substanz, die aus hunderten verschiedenen chemischen Verbindungen besteht. Dazu gehören neben den diversen Kohlenwasserstoffen beispielsweise auch organische Schwefelverbindungen, Phenole und Harze.⁶

¹ Fischer Weltalmanach 2013, S.662

² Energieeinsatz in Österreich, Umweltbundesamt, Perspektiven für Umwelt und Gesellschaft, in: http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/energie_austria/ (dl.: 12.01.2014)

³ http://www.greenpeace.de/themen/oel/nachrichten/artikel/gazprom_startet_oelbohrung_in_der_arktis/ (dl.: 12.01.2014)

⁴ Aus unserem Gespräch mit Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard Sachsenhofer, 12.01.2014

⁵ Verbindungen, die aus nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind.

⁶ Erdölverarbeitung. Gewinnung von Kraft- und Heizstoffen, in: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/erdoel.html> (dl.: 22.02.2014)



Die **chemische Zusammensetzung** variiert abhängig von der Region und der Lagerstätte, wodurch die Eigenschaften und Qualität des Erdöls beeinflusst werden. Erdöl ist nicht nur ein bedeutender Rohstoff für die **Gewinnung von Treibstoffen** und **Brennstoffen**, sondern liefert auch die Grundstoffe zur Herstellung von **Kunststoffen, Kosmetika, Farben, Arzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln** etc.

Entstehung:

Erdöl, aber auch Erdgas und Kohle entstanden vor etwa 200 Millionen Jahren durch den Abbau abgestorbener **Kleinstlebewesen**, vorwiegend von **Plankton**. Diese lagerten sich am Boden von flachen Meeren ab, wurden von Sedimenten überlagert und unter dem vorherrschenden hohen Druck, der hohen Temperatur und Einwirkung von Bakterien zunächst in **Faulschlamm**, dann in **Kerogen** und schließlich in Erdöl und Erdgas umgewandelt, wodurch entsprechende Lagerstätten entstanden.

Suche:

In manchen Teilen der Erde tritt Erdöl natürlich aus dem Boden und war deswegen bereits in der Antike bekannt. In der Regel müssen die Lagerstätten jedoch erst durch **geologische Voruntersuchungen** wie die folgenden und **Probebohrungen** aufgefunden werden. Es kann durchaus vorkommen, dass 3000-4000 Meter tief gebohrt werden muss und eine Bohrung 150 Mio. US-Dollar kostet.⁷

- **Geophysikalische Prospektion:** Erkundung und Erschließung des oberen Teils der Erdkruste mittels physikalischer Methoden
- **Luftfotografie:** In bestimmten Gebieten können Lagerstätten bereits an der Erdoberfläche mittels Luftbildkartierung erkannt werden.
- **Seismische Verfahren/Geophone**

In zunehmendem Maß werden dabei auch Erdölvorkommen erschlossen, die nur unter **extremen Bedingungen, hohen ökologischen Kosten** und **Einsatz von Chemikalien** ausgebeutet werden können (z.B. in der Tiefsee, subarktischen und arktischen Regionen, Ölsande).

Förderung:

Aufgrund seiner Konsistenz und des Vorkommens in porösen Speichergesteinen, kann nur ein geringer Anteil des Erdöls gefördert werden - **bis zu 70% bleiben in den Lagerstätten zurück**. Durch verbesserte Fördermethoden, mit denen ein höherer Anteil des Öls gewonnen werden kann, steigen somit auch die Erdölreserven.

Bei der Förderung des Rohöls kommen **unterschiedliche Techniken** zum Einsatz⁸, z.B.:

- **„Enhanced oil recovery“** (dabei wird Wasser in die Lagerstätte gepumpt, wodurch der Druck in der Lagerstätte steigt und das Öl austritt)
- **Fluten mit Dampf** (ähnlicher Effekt)
- **Einbringen von Chemikalien** (z.B. zur Verringerung der Oberflächenspannung oder zum Auflösen von Speichergestein aus Kalkstein mit Säuren)

⁷ Aus unserem Gespräch mit Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard Sachsenhofer, 21.11.13

⁸ ebenda



Transport:

Der Transport von Rohöl erfolgt mittels **Rohrleitungen (Pipelines)** und **Tankschiffen**.

Nach Österreich, in die **Raffinerie Schwechat** zur weiteren Verarbeitung, gelangt Erdöl über die **Transalpine Ölleitung (TAL)** und die in Kärnten abzweigende **Adria-Wien-Pipeline (AWP)**.

Das Erdöl wird per Schiff im Hafen Triest angeliefert, gelagert und von dort über die TAL nach Österreich verpumpt. Der Durchsatz der TAL betrug 2011 35 Mio. Tonnen. Über die AWP erfolgt grundsätzlich der gesamte Rohölimport der Republik Österreich.

Verarbeitung:

Die Verarbeitung des Erdöls erfolgt in **Raffinerien**, in denen die verschiedenen Substanzgruppen zunächst mittels **Destillation** (genauer: mittels fraktionierter Kondensation) getrennt werden.

- Bei der **fraktionierten Kondensation** wird das Rohöl zunächst in einem **Röhrenofen** auf über 360°C erhitzt, wobei fast alle Bestandteile verdampfen. Danach wird das Gas/Flüssigkeitsgemisch in einen **Destillationsturm** geleitet. In diesem befinden sich Trennböden, sogenannte **Glockenböden**. Die Temperaturen im Turm nehmen von unten nach oben ab. Wird der Siedepunkt der Substanzen beim Aufsteigen der Gase im Turm unterschritten, so sammeln sich die Stoffe auf den entsprechenden Böden und werden als einzelne „Fraktionen“ abgezogen. Der aufsteigende Dampf wird im Gegenstrom mit der kondensierten Flüssigkeit in Kontakt gebracht (Rektifikation). Dabei kondensieren alle Stoffe, die einen höheren Siedepunkt besitzen als die Flüssigkeit im jeweiligen Glockenboden.
- Der Rückstand der ersten Destillation („Primärdestillation“) wird in einer weiteren, sogenannten **Vakuumdestillation** bei niedrigem Druck fraktioniert. Bei Temperaturen über 350°C würden nämlich viele Kohlenwasserstoffe zerfallen. Durch den niedrigen Druck entsteht eine Siedepunkterniedrigung, die das verhindert.

Zu den **Hauptprodukten** der beiden Destillationen zählen die Treibstoffe **Benzin, Kerosin, Diesel**, sowie die hochsiedenden und aus langkettigen Kohlenwasserstoffen bestehenden **Heizöle, Schmieröle** und **Paraffine**.

Da im Rohöl jedoch nicht genug von den Treibstoffen enthalten ist, um den Markt zu decken, benötigt man ein Verfahren, bei dem langkettige Kohlenwasserstoffe in kurze und mittellange Moleküle gespalten werden. Beim diesem sogenannten „**Cracken**“ werden Paraffine bzw. Heizölfractionen auf etwa 450 - 650°C erhitzt, geraten dadurch in starke Schwingung und brechen auseinander.⁹

Ein weiteres Verfahren, das „**Reforming**“, dient der Gewinnung verzweigter und aromatischer Verbindungen aus unverzweigten Kohlenwasserstoffen. Dadurch steigt die Qualität eines Treibstoffgemisches (Maß: Research-Octan-Zahl, ROZ), was für den Einsatz in Benzinmotoren von großer Bedeutung ist.

Erdöl enthält aufgrund seiner Entstehung aus Kleinstlebewesen **stickstoff-, sauerstoff- und schwefelhaltige Verbindungen**. Diese können Katalysatoren unbrauchbar machen (z.B. Autokatalysatoren) oder würden bei Verbrennung die Bildung von Luftschadstoffen bewirken. Schwefel verbrennt beispielsweise zu giftigem Schwefeldioxid (SO₂) und daraus wiederum entsteht saurer Regen. Derartige Stoffe werden heutzutage daher durch „**Hydrierung**“ aus den Erdölprodukten entfernt.¹⁰

⁹ Erdölverarbeitung. Gewinnung von Kraft- und Heizstoffen, in: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/erdoel.html> (dl.: 22.02.2014) bzw. Schwister, Karl (Hrsg.): Taschenbuch der Verfahrenstechnik. München u.a.. Fachbuchverlag Leipzig, 2000, S.520ff

¹⁰ Schwister, Karl (Hrsg.): Taschenbuch der Verfahrenstechnik. München u.a.. Fachbuchverlag Leipzig, 2000, S.527f



Ökologische Folgen:

Erdöl belastet die Umwelt von der Suche, über die Förderung, Verarbeiten und dem Transport bis zum Verbrauch. Für den **Bau von Förderanlagen** werden wertvolle Wälder, oftmals Urwälder, gerodet und unberührte Küstenregionen in Industrieanlagen verwandelt.

Besonders bei **Unfällen** oder **Kriegseinwirkungen** wie im Zweiten Golfkrieg, aber auch im normalen Betrieb sind mit der Erdölförderung **erhebliche Umweltschäden** verbunden.

Im Zweiten Golfkrieg (1991) wurden 700 der 900 kuwaitischen Ölquellen in Brand gesetzt, so dass täglich bis zu drei Millionen Barrel Rohöl verbrannten. Hinzu kam der Austritt großer Ölseen aus den Quellen. Die New York Times schätzte die Brände als eine der „schwerwiegendsten Luftverschmutzungskatastrophen“ der Erde ein.

Lecks in Pipelines verseuchen Böden und Gewässer, machen Ackerflächen unbrauchbar, das Trinkwasser ungenießbar und töten Fischbestände und andere Lebewesen. **Ölteppiche aus verunglückten Tankschiffen** verseuchen Küstengebiete, lassen Vögel und Meerestiere qualvoll sterben und bringen die örtlichen Fischer um ihre Existenz. Mit Erdöl und Chemikalien **belastete Abwässer**, Schlämme und Bohrgestein werden von Ölplattformen ins Meer gekippt, vergiften die Meeresflora und -fauna und landen letztlich in der Nahrungskette.

Zu beachten sind auch die **Risiken der Tiefseebohrungen**, insbesondere im Falle eines Blowouts¹¹. Diese sind, wie zahlreiche Umweltkatastrophen zeigen, kaum kontrollierbar.

Im Rahmen der Förderung werden auch Schlämme und Abwässer an die Erdoberfläche gepumpt, welche **natürliche radioaktive Stoffe** (NORM-Naturally occurring radioactive material) enthalten. Die Aktivität der Abfälle ist mit 0,1 bzw. 15.000 Becquerel (Bq) je Gramm recht gering. In Ländern mit größeren geförderten Mengen von Öl oder Gas entstehen deutlich mehr Abfälle als z.B. in Deutschland, jedoch existiert in keinem Land eine unabhängige, kontinuierliche und lückenlose Erfassung und Überwachung der Rückstände aus der Öl- und Gasproduktion.

Die Industrie geht mit dem Material unterschiedlich um: In Kasachstan sind weite Landstriche durch diese Abfälle verseucht, in Großbritannien werden die radioaktiven Rückstände in die Nordsee geleitet. In den Vereinigten Staaten gibt es in fast allen Bundesstaaten aufgrund der radioaktiven Altlasten aus der Erdölförderung zunehmend Probleme.

Vorkommen in Österreich:

Erdöl und Erdgas kommen in Österreich in wirtschaftlich bedeutenden Mengen im **Wiener Becken** und im **oberösterreichischen Alpenvorland** vor. Das sind die geologisch jüngsten Teile Österreichs. Mit der jährlichen Erdöl- und Erdgasförderung können **ca. 10% des österreichischen Bedarfs** abgedeckt werden.

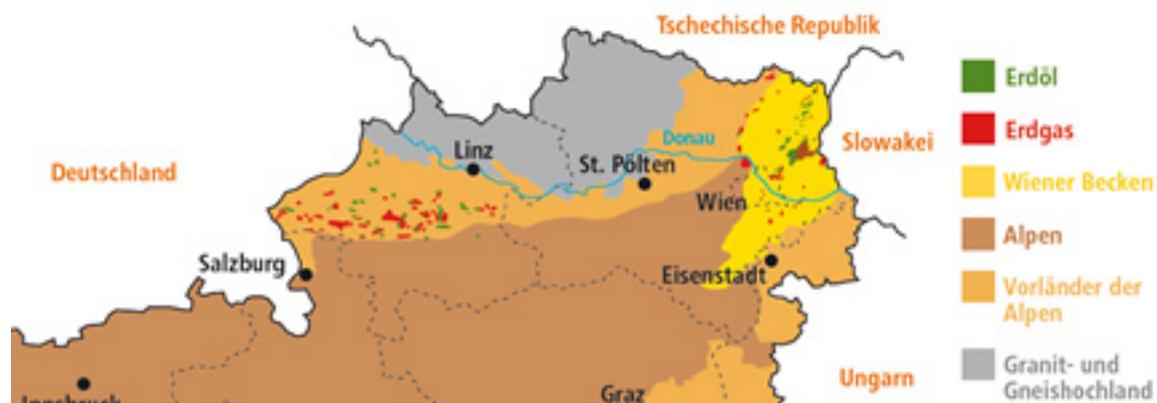


Abbildung 1: Erdölvorkommen in Österreich

¹¹ Blowout: Unkontrolliertes Austreten von Bohrspülung, Erdöl und/oder Erdgas aus einem Bohrloch einer Bohr- oder Förderanlage; oft entzündet sich das Öl bzw. Gas dabei..



Alternativen:

Mittlerweile sucht man schon Ersatz für das Erdöl, da laut diversen Prognosen durch den enormen Verbrauch und oft sehr risikoreichen Abbau dieses nicht mehr allzulange vorhanden sein wird.¹² Im Fall einer Verknappung des Erdöls könnte man hinsichtlich Treibstoffversorgung auf **diverse Ersatzstoffe** umsteigen wie zum Beispiel **Bioethanol, Biogas, Biodiesel** bzw. künstlich aus **Holz** oder **Kohle** hergestellte Kohlenwasserstoffe.¹³

4-6% des geförderten Rohöls dient als **Rohstoff für die chemische Industrie** zur Herstellung von organischen Grundchemikalien und damit in weiterer Folge, z.B. auch von Kunststoffen. Doch auch sie können bereits aus **nachwachsenden Rohstoffen** gefertigt werden, z.B. aus Cellulose oder Stärke, ebenso wie die Basischemikalien Milchsäure oder Sorbit, die heutzutage grundsätzlich noch aus Erdöl hergestellt werden. Mithilfe dieser Grundbausteine können auch komplexe chemische Verbindungen aufgebaut werden – etwa für Treibstoffe, Verpackungen, Farben, Lacke, Kosmetika und selbst für Medikamente, also für fast alle Produkte des Endverbrauchermarktes.

So bilden **Holz, Gülle, Mais, Stroh, Schlachtabfälle, landwirtschaftliche Restprodukte** und vieles mehr Alternativen zu Erdöl. Bislang sind derartige Verfahren noch zu **kostenintensiv**, so dass es noch einige Jahre dauern wird, bis sie am Markt wirklich Erfolg aufweisen. Doch die Nachfrage nach „biochemischen“ Produkten steigt stetig.

WissenschaftlerInnen der NASA fanden durch eine Raumsonde heraus, dass **Titan**, einer der Monde des Saturn, Erdöl im Überfluss produziert. Titan ist mit Kohlenwasserstoffen bedeckt. Es gibt ganze Seen und Dünen aus Erdöl. Also sollten wir in Zukunft die Möglichkeit haben, auf diese Reserven zurückzugreifen, hätten wir wohl mehrere 1000 Jahre Zeit, eine Lösung zu finden.¹⁴

Zahlen und Fakten zum Erdöl:¹⁵

1. Weltenergieverbrauch

Im Jahr 2012 betrug der Weltenergieverbrauch 12.476,6 Mio. Tonnen Öläquivalent (= Einheit für den Energieverbrauch).

2. Energieverbrauch pro Kopf

Im Jahr 2012 wurden in Nordamerika 15,9 kg Öläquivalent pro Tag und Person verbraucht, in West-Europa 10,2 kg und im Rest der Welt 3,5 kg.

3. Welt-Erdölproduktion nach Regionen

Im Jahr 2012 wurden total 4.118,9 Mio. Tonnen Erdöl produziert. Die Produktion wurde wie folgt erbracht:

- Mittlerer Osten: 1.336,8 Mio. Tonnen
- Nordamerika: 721,4 Mio. Tonnen
- ehemalige Sowjetunion: 665,1 Mio. Tonnen

¹² Wikipedia, die freie Enzyklopädie: Erdöl, in: <http://de.wikipedia.org/wiki/Erdöl> (dl.: 22.02.2014)

¹³ Aus unserem Gespräch mit Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard F. Sachsenhofer, 21.11.13;

Für die Herstellung künstlicher Kohlenwasserstoffe aus Holz und Kohle sind folgende Prozesse relevant: Holzvergasung, Kohlevergasung, Fischer-Tropsch-Prozess, Bergius Verfahren.

¹⁴ Titan's Surface Organics Surpass Oil Reserves on Earth, in: http://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/media/cassini-20080213.html (dl.: 22.2.2014)

¹⁵ Angaben aus dem Jahr 2012; Erdöl-Vereinigung: Zahlen und Fakten im Zusammenhang mit Erdöl, in: <http://www.erdoelvereinigung.ch/de/erdoelvereinigung/faq.aspx> (dl: 10.04.2014)



- Asien und im Pazifik: 397,3 Mio. Tonnen
- Afrika: 449,0 Mio. Tonnen
- Süd- und Zentralamerika: 378,0 Mio. Tonnen
- Europa: 185,1 Mio. Tonnen

4. Erdölverbrauch nach Regionen

Der Welt-Erdölverbrauch betrug im Jahr 2012 4.130,5 Mio. Tonnen. Davon verbrauchten ...

- Nordamerika: 1.016,8 Mio. Tonnen
- Asien und Pazifik: 1.389,4 Mio. Tonnen
- Europa: 638,9 Mio. Tonnen
- Mittlere Osten: 375,8 Mio. Tonnen
- Süd- und Zentralamerika: 302,2 Mio. Tonnen
- ehemalige Sowjetunion: 240,9 Mio. Tonnen
- Afrika: 166,5 Mio. Tonnen

5. Nachgewiesene Erdölreserven nach Regionen

Weltweit werden die nachgewiesenen Erdölreserven auf 235,8 Milliarden Tonnen geschätzt. Diese Reserven befinden sich in den folgenden Regionen:

- Mittlerer Osten: 109,3 Mrd. Tonnen
- Süd- und Zentralamerika: 50,9 Mrd. Tonnen
- Afrika: 17,3 Mrd. Tonnen
- ehemalige Sowjetunion: 17,0 Mrd. Tonnen
- Nordamerika: 33,8 Mrd. Tonnen
- Asien und Pazifik: 5,5 Mrd. Tonnen
- Europa: 2,0 Mrd. Tonnen

6. Wie lange reichen die nachgewiesenen Reserven aus?

Im Jahre 1965 schätzte man die Reichweite der nachgewiesenen Reserven auf rund 32 Jahre. Diese Annahme wurde mit dem Finden von neuen Feldern laufend erweitert und fortlaufend erneuert. Im **Jahr 2012** wurde die **Reichweite auf 52,9 Jahre** geschätzt.

4.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Den Entölungsgrad zu erhöhen ist ein Forschungsschwerpunkt u.a. am Institut für Erdölgeologie der Montanuniversität in Leoben.

4.4 Fazit

- Erdöl ist viel mehr als nur ein Brennstoff, denn es liefert Ausgangsstoffe zur Herstellung von Kunststoffen, Farben und Lacken, Pflanzenschutzmitteln, kosmetischen Produkten, Medikamenten etc.
- Erdölreserven betragen laut BP (British Petroleum) etwa 54 Jahre, die Ressourcen reichen weit mehr als 100 Jahre.¹⁶

¹⁶ Erdölreserven erreichen Rekordniveau, in: <http://baufuesick.wordpress.com/2012/11/30/erdolreserven-erreichen-rekordniveau> (dl.: 21.2.2014, 19:58 Uhr)



4.5 Interviewpartner

Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard F. Sachsenhofer

Lehrstuhl Erdölgeologie, Montanuniversität Leoben

Nähere Informationen: siehe Seite 28

4.6 Lernobjekte

- Multiple-Choice-Test
- Online-Kreuzworträtsel / Lösung

4.7 Quellen

Webseiten:

- Brenner, Harald: „Erdöl“. 05.09.2013, in: http://www.planet-wissen.de/natur_technik/energie/erdoel/ (dl.: 12.12.2013, 19:20 Uhr)
- William, Engdahl F.: „Geht uns das Erdöl aus?“, in: <http://www.zeitschrift.com/artikel/geht-uns-das-erdoel-aus#.Uq2dEcRyHOs> (dl.: 13.12.2013, 14:40 Uhr)
- Niesing, Birgit: „Algendiesel und Krabbenschalen“. 20.07.2012, in: <http://www.scinexx.de/dossier-detail-594-10.html> (dl.: 14.12.2013, 10:15 Uhr)
- Uhlenbrock, Kristian: „Infoblatt Erdöl“. 28.11.2011, in: http://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=Haack%20Weltatlas-Online&artikel_id=90693&inhalt=klett71prod_1.c.264554.de (dl.: 14.12.2013, 11:00 Uhr)
- Martinez, Carolina: „Titan’s Surface Organics Surpass Oil Reserves on Earth“. 13.02.2008, in: http://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/media/cassini-20080213.html (dl.: 05.04.2014)
- BMWFJ: “Erdöl”, in: <http://www.bmwfj.gv.at/ENERGIEUNDBERGBAU/ENERGIEVERSORGUNG/Seiten/Erd%C3%B6l.aspx> (dl.: 19.02.2014, 11:30 Uhr)
- Erdölreserven erreichen Rekordniveau, in: <http://baufuesick.wordpress.com/2012/11/30/erdol-reserven-erreichen-rekordniveau> (dl.: 21.2.2014, 19:58 Uhr)
- Bildquelle “Erdölvorkommen in Österreich”: Geologische Bundesanstalt 2007, in: http://www.wirtschaftsmuseum.at/pdf/EadT_1-7-PDF/EadT_2_PDF/EadT_2-08.pdf (dl.: 18.03.2014)

PDFs:

- Pohl, Michaela : „Erdöl, Treibstoff der Globalisierung“. Der Einfluss des Rohstoffs auf Weltwirtschaft und Politik. 21.02.2008
- Greenpeace: „Erdöl – Gefahr für Umwelt, Klima, Menschen“ Die schmutzige Spur des schwarzen Goldes



5. Kohle – Noch 200 Jahre?

Objekt: *Lepidodendron* (Bärlapppflanze)

Texterstellung: Magdalena Csarman, Seif Hamed, Katharina Janzek, Irene Koblitz, Jasmin Wagner, LehrerInnenteam

5.1 Überblick

Die weltweit bekannten Kohlevorkommen reichen vermutlich noch ca. 200 Jahre, die Versorgungssicherheit ist nicht bedroht, man wird in absehbarer Zeit nicht auf Kohle verzichten müssen.¹ Dennoch sollte der Kohleverbrauch sukzessive reduziert werden, um die Umwelt zu schonen und noch länger von diesem Rohstoff zu profitieren. Ein kompletter Verzicht auf Kohle hätte gravierende Auswirkung auf die Weltwirtschaft.

Kohle entstand im Lauf von vielen Millionen Jahren aus abgestorbenen Pflanzenresten, die unter Sauerstoffabschluss zunächst in Torf umgewandelt wurden. Durch Überlagerung mit Sedimenten wie Sand, Geröll und Schlamm gelangte das organische Material in tiefere Erdschichten, wo unter hohem Druck das Wasser aus dem Torf gepresst wurde. Bei diesem als „Inkohlung“ bezeichneten Prozess entstanden Braunkohle und mit zunehmender Temperatur Steinkohle und Anthrazit. Diesbezügliche Forschungen werden in Österreich am Institut für Erdölgeologie der Montanuniversität Leoben betrieben. Einer der weltweit führenden Wissenschaftler auf diesem Gebiet ist Priv. Doz. Dr. A. Bechtel.²

Braunkohle wird hauptsächlich als Brennstoff für die Stromerzeugung in kalorischen Kraftwerken verwendet. Steinkohle und Anthrazit enthalten deutlich mehr Kohlenstoff als Braunkohle und werden für viele chemisch-technologische Prozesse verwendet wie die Herstellung von Koks für die Stahlindustrie. Der dabei anfallende Steinkohlenteer lieferte früher die Grundstoffe für die Herstellung von Farbstoffen. Aus Kohle können aber auch durch Vergasung bzw. Hydrierung gasförmige und flüssige Treibstoffe hergestellt werden³ – bei knapper werdender Erdölversorgung eine mögliche Alternative zur Treibstoffgewinnung.

5.2 Grundlagen

Kohle ist ein Gemisch **organischer Makromoleküle (Riesenkohlenwasserstoffe)** aus **kondensierten, aromatischen Kohlenwasserstoffen**, die über kurze Kohlenwasserstoffketten miteinander verknüpft sind.

Unsere **Kohlereserven** entstanden im Lauf von mehreren hundert Millionen Jahren aus den **Resten abgestorbener Landpflanzen**, die sich unter Sauerstoffabschluss zunächst in **Torf** umwandelten. Diese Pflanzenreste wurden durch das Gewicht von Sand und Ton entwässert, dadurch verfestigte sich die Masse und es entstand **Braunkohle**. Dort, wo die Lagerstätten durch geologische Bewegungen in tiefere Erdschichten gelangten, entstand unter dem Einfluss höheren Drucks und Temperatur **Steinkohle**. Eine weitere Form von Kohle, **Anthrazit**, entstand unter noch höherem Druck und Temperatur. Als fossiler Rest von Pflanzen stellt Kohle somit **konservierte Sonnenenergie** dar.

¹ Unterschiedliche Angaben: siehe „Endlichkeit der Rohstoffe. Ressourcenvorräte von A bis Z. Oberösterreichische Zukunftakademie“; laut Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard Sachsenhofer (Interview) reicht Kohle noch sehr lange; möglicherweise wird das aber auch überschätzt

² Aus unserem Gespräch mit Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard Sachsenhofer, 04.12.2013

³ Flüssige Kohle statt Öl? Neues Hydrierungsverfahren ebnet den Weg zur Verflüssigung von Magerkohle, in: <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-4120-2006-01-12.html> (12.01.2014)



Je nach **Bildungsort** und **Bildungsumständen** unterscheidet man **drei verschiedene Kohlebildungsarten**.

Man spricht von einer **palustrischen Kohlebildung**, wenn sich die Kohle bei Mooren in Feuchtgebieten, nahe Gewässern wie zum Beispiel Flüssen, bildet.

Die **paralische Kohlebildung** hingegen erfolgt im Bereich der Meeresküsten und bei der **intramontanen Kohlebildung** findet die Entstehung in gebirgigen Regionen in Becken statt.

Kohle enthält außer seinem **Hauptbestandteil Kohlenstoff** auch noch Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel und mineralische Bestandteile, wobei die genaue Zusammensetzung von der Art der Kohle abhängt.

Unterschieden werden vor allem **zwei Arten von Kohlen: Weichkohlen** (z.B. Braunkohle) und **Hartkohlen** (z.B. Hartbraunkohle, Steinkohle, Anthrazit).

- **Braunkohle** enthält bis zu 77% Kohlenstoff, bezogen auf die wasser- und aschefreie Substanz sowie beträchtliche Mengen Wasser.
- **Steinkohle** weist im Unterschied dazu einen Kohlenstoffgehalt von 77 bis über 90% auf, ist härter und hat einen höheren Heizwert als Braunkohle, da es einen deutlich geringeren Wassergehalt aufweist. Allerdings ist der Abbau von Braunkohle billiger, weil ihre Lagerstätten näher an der Oberfläche liegen und daher im Tagebau abgebaut werden können.⁴
In der schwarzen festen Grundmasse findet man manchmal Einschlüsse oder Abdrücke von prähistorischen Pflanzen.

Braunkohle wird derzeit hauptsächlich als **Brennstoff in kalorischen Kraftwerken** verwendet. Steinkohle spielt darüber hinaus als **Ausgangstoff für Koks** bei der Stahlproduktion eine wichtige Rolle. Die Verwendungen von Kohle umfassen aber auch die **Herstellung von Gummi, Seife und Parfüm bis hin zu Treibstoffen und Farbstoffen**.

Bei der **Veredelung von Kohle** können folgende Prozesse unterschieden werden:

- **Kohleentgasung (Verkokung):** In der Kokerei wird (Stein)kohle unter Luftausschluss auf über 1000 °C erhitzt. Dabei werden gasförmige Kohlenwasserstoffe abgegeben, die früher als sog. Stadtgas verwendet wurden. Zurück bleiben einerseits der hochwertige Brennstoff Koks und andererseits Steinkohleteer. Aus 1 Tonne Kohle können auf diese Weise ungefähr 700 Kilogramm Koks gewonnen werden.
- **Kohlevergasung (Synthesegaserzeugung):** Bei diesem Prozess entsteht ein Gemisch aus CO und H₂, das Synthesegas.
- **Kohlehydrierung (Kohleverflüssigung):** Aus Kohle werden durch Hydrierung mit Wasserstoff gasförmige und flüssige Kohlenwasserstoffe hergestellt, die sich u.a. für die Verwendung als Treibstoffe eignen.

Mit Hilfe dieser Verfahren können aus Kohle prinzipiell alle organischen Grundstoffe in der Chemie hergestellt werden.

Kohle wird sowohl im **Tagbau** als auch im **Tiefbau** befördert. Tagbau ist ein Oberbegriff aus dem Bergbau, wobei oberflächennah Bodenschätze gewonnen werden. Im Untertagebau werden zu deren Gewinnung zusätzlich Stollen und Schächte angelegt.

⁴ Aus unserem Gespräch mit Univ.-Prof. Mag. Dr. Reinhard Sachsenhofer, 4.12.2013



Ein Tagebau ohne Wasserhaltung ist grundsätzlich nur bis zum Grundwasserspiegel möglich. Als Tagbautechnik werden alle technischen Maßnahmen und Mittel zur Gewinnung von Kohle und Festgesteinen verstanden. Braunkohle wird durch Ausbaggerung gewonnen. Gewinnungsgeräte sind beispielsweise Mehrgefäßbagger, Eingefäßbagger, Flachbagger und Radlader.

Das Graben eines so tiefen Loches bedingt eine enorme Absenkung des Grundwasserspiegels. Diese wirkt sich natürlich auf die umliegenden Landschaften aus. Zum Betrieb eines Tagebaus werden manchmal sogar ganze Ortschaften umgesiedelt.

Aus wirtschaftlicher Sicht:

Im Allgemeinen hängt der Wert von Kohle mehr von der Tiefe und der dort herrschenden Temperatur ab als vom Alter.

Da die Steinkohle im Inkohlungsprozess deutlich fortgeschrittener ist als Braunkohle und somit weniger Wasser in ihr enthalten ist, liegt der Wert der Steinkohle über dem der Braunkohle. Je höher der Kohlenstoffgehalt, desto höher der Heizwert der Kohle.

Die teuerste Kohle ist die, die man verkoken kann. Dieser Umstand hängt wiederum vom Inkohlungsgrad ab.

Untersuchungen zu den weltweiten Kohlevorräten brachten unterschiedliche Ergebnisse. Einige besagen, dass wir bei gleichbleibendem Verbrauch noch mehrere 100 Jahre mit den vorhandenen Kohlevorräten auskommen werden.

Seit dem Jahre 1996 ist der Marktpreis für Kohle deutlich gestiegen. Daraus lässt sich schließen, dass die Sorge um die Endlichkeit dieses Rohstoffes schon länger besteht.

5.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Der Forschungsfond für Kohle und Stahl (Research Fund for Coal and Steel – kurz: RFCS) ist eine inoffizielle Weiterführung der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl, die 2002 aufgelöst wurde. Zurzeit wird dieser Forschungsfond vom österreichischen Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft und in weiterer Folge von der österreichischen Energieagentur bei der Verbreitung der Ergebnisse zahlreicher (Kohle-)Projekte, die sich allesamt auf aktuelle Punkte wie z.B. der Wettbewerbsfähigkeit von Kohle, der besseren, umweltschonenderen Nutzung von Kohle, Sicherheit und Gesundheitsschutz beziehen und in den Jahren 2005 bis 2011 ein Ausmaß von 60 Projekten erreicht haben, unterstützt.⁵

Ebenfalls forscht das „The Clean Coal Centre“ (CCC) der „International Energy Agency“ (IEA) aktuell im Bereich Kohle als Energiequelle. Dieses Gemeinschaftsprojekt, das 1975 gegründet wurde und von Repräsentanten der Mitgliedsstaaten und der Kommission der Europäischen Union geleitet wird, untersucht Auswirkungen jeglicher relevanter Art bei Kohletransport und –anwendung und erforscht in detailreichen Studien, wie es um die Forschung und Entwicklung der Kohle steht.⁶

⁵ Forschungsfonds für Kohle und Stahl. Industrie & Gewerbe. Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency, in: <http://www.energyagency.at/projekte-forschung/industrie-gewerbe/detail/artikel/forschungsfonds-fuer-kohle-und-stahl.html> (dl.: 20.03.2014)

⁶ International Energy Agency (IEA) Kohleforschung - The Clean Coal Centre (CCC), in: <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/results.html/id1961#h3> (dl.: 20.03.2014)



5.4 Fazit

- Kohle wird überwiegend als **fester Brennstoff** benutzt, um Wärme durch Verbrennen zur Erzeugung elektrischer Energie und zum Heizen zu erzeugen. Da bei diesem Vorgang jedoch **klimaschädliches Kohlenstoffdioxidgas (CO₂)** entsteht und beim Tagbau **große Flächen** verbraucht werden, ist die **Verwendung von Kohle sehr umstritten**. Viele Forscher bestätigen, dass der Klimawandel auf die Belastung fossiler Energieträger zurück zu führen ist. Deshalb wird bei der Energieversorgung immer weniger auf „Klimakiller“ gesetzt. Alternativen existieren bereits. Erneuerbare Energien wie Sonnenenergie, Wind- und Wasserkraft werden schon seit Jahren in vielen Ländern eingesetzt.
- Kohle ist auch **Ausgangsstoff zur Herstellung verschiedener Stoffe** wie zum Beispiel von **Koks** oder **Graphit**.
- Die weltweit gesicherten **Braunkohlevorkommen** reichen vermutlich noch ca. 200 Jahre, die **Steinkohlevorkommen** etwa 175 Jahre. Die weltweit gesicherten Kohlereserven betragen 2012 etwa 1.052 Gt (Hartkohlenanteil: rund 769 Gt).

5.5 Interviewpartner

Univ.-Prof. Mag.Dr. Reinhard F. Sachsenhofer

Lehrstuhl Erdölgeologie, Montanuniversität Leoben

Nähere Informationen: siehe Seite 28

5.6 Lernobjekte

- Wortgitter / Lösung
- Video: Entstehung von Kohle
- Video: Tagbau
- Video: Umsiedelungen

5.7 Quellen

- Unser Interview mit Univ. Prof. Mag. Dr. Reinhard F. Sachsenhofer; geführt am 04.12.2013 im Goethe-Gymnasium. Anwesende Interviewpartner: Magdalena Csarman, Seif Hamed, Katharina Janzek, Irene Koblitz, Yasmin Wagner

Online zur Verfügung gestellte Quellen:

PDF-Dokumente:

- World Coal Institute: Kohle als Ressource. Ein umfassender Überblick über Kohle. Großbritannien - Mai 2005, in: [http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/coal_resource_overview_coal_german\(03_06_2009\).pdf](http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/coal_resource_overview_coal_german(03_06_2009).pdf) (dl.: 24.02.2014)



- Tesch, Stephan: Kohle. Deutschland: September 2005, in: http://www.stephantesch.de/uploads/media/2005_09_18-Kohle.pdf (dl.: 08.02.2014)

Webseiten:

- Gesellschaft Deutscher Chemiker: Flüssige Kohle statt Öl? Neues Hydrierungsverfahren ebnet den Weg zur Verflüssigung von Magerkohle. 12.01.2006, in: <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-4120-2006-01-12.html> (dl.: 12.01.2014)
- Schünemann, Christoph: Regenerative Zukunft: Kohle. 16.04.2012, in: <http://www.regenerative-zukunft.de/fossile-energien-menu/kohle> (dl.: 08.02.2014)
- Austrian Energy Agency: Forschungsfonds für Kohle und Stahl, in: <http://www.energyagency.at/projekte-forschung/industrie-gewerbe/detail/artikel/forschungsfonds-fuer-kohle-und-stahl.html> (dl.: 19.03.2014)
- IEA – Kohleforschung: The Clean Coal Centre, in: <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/results.html/id1961#h3> (dl.: 19.03.2014)



6. Niob und Tantal - Die „Blutdiamanten“ unserer Zeit? Objekt: Tantalit: „Stibiotantalit“ (Himalaya Mine, California, USA)

Texterstellung: Otto Handl, Astrid Hüpfel, Karl Schwarz, LehrerInnenteam

6.1 Überblick

Ein Kilogramm reines Tantal kostet auf dem Weltmarkt derzeit etwa 4.500 USD.¹ Die Nachfrage wird sich bis 2030 vermutlich verdreifachen, weshalb die EU diese Rohstoffe als kritisch einstuft. Der Abbau des Tantalerzes Coltan in der Demokratischen Republik Kongo ist problematisch, weil damit bewaffnete Konflikte in Verbindung stehen, aber auch die Abholzung der Regenwälder gefördert und der natürliche Lebensraum der Gorillas zerstört werden. Zudem finanzieren regionale „Warlords“ ihre Waffen durch Ausbeutung der Minenarbeiter und mit dem illegalen Export dieser Rohstoffe.

Niob kommt in der Erdkruste in etwa ähnlich häufig wie Blei vor, Tantal tritt weniger häufig auf. Auf Grund der geologischen Gegebenheiten der Lagerstätten ist ihre Gewinnung schwieriger und teurer als bei anderen Metallen. Die größten Minen befinden sich in Brasilien, Australien, Kanada und Demokratische Republik Kongo.

Niob wird vor allem zur Herstellung von Spezialstählen, beispielsweise für den Bau von Rohrleitungen, im Automobil- und Flugzeugbau verwendet, Tantal in der Elektronikindustrie, z. B. in Elektronikbauteilen für Handys und Satelliten. Niob wird wegen seiner Säurebeständigkeit, Härte und Hitzebeständigkeit geschätzt und u.a. beim Brückenbau eingesetzt, während Tantal hauptsächlich in Hochleistungskondensatoren, medizinischen Geräten und Implantaten wie Herzschrittmachern verwendet wird.

Aufgrund der geringen Konzentrationen dieser Elemente in den diversen Legierungen gestaltet sich deren Recycling zumeist als sehr problematisch. Um das Recyclingpotential für Niob in Österreich abzuschätzen, wurden am Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der TU-Wien eigene Stoffflussanalysen durchgeführt.²

6.2 Grundlagen

Niob (benannt nach Niobe, der Tochter des Tantalos) wurde 1801 von C. Hatchett und Tantal (von Tantalos, Sohn des Zeus) 1902 von A.G. Ekeberg entdeckt. Vielen Menschen ist zur Gänze unbekannt, wofür Niob und Tantal in unserer Gesellschaft verwendet werden.

Chemischer Aufbau:

Da sich Niob und Tantal vom chemischen Aufbau ziemlich ähnlich sind (beide Elemente besitzen 5 Valenzelektronen), werden sie meistens gemeinsam benutzt.

¹ Tantalum Element Facts, in: <http://www.chemicool.com/elements/tantalum.html> (dl.: 15.01.2014)

² Rechberger, Helmut et al.: „Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich. Gesamtwirtschaftliche Stoffflussanalysen ausgewählter kritischer Rohstoffe (AP 7)“. Endbericht - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien, in: http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_216991.pdf, S 62ff (dl.: 26.01.2014)



- Reines **Niob** ist silberweiß, weich und duktil, und ist bei einer Temperatur von 9 Kelvin supraleitend. Außerdem ist es in Säuren und in Königswasser unlöslich.
- **Tantal** ist blaugrau, glänzend, wirkt wie Stahl und hat einen hohen Schmelzpunkt von 3017 °C. Obwohl es ein unedles Metall ist, überzieht es sich an der Luft sehr schnell mit einer schützenden Oxidschicht, welche es vor chemischen Angriffen schützt.

Technischer Nutzen:

Über 95% des **Niob** wird für **Spezialstahl, Superlegierungen** und **Walzprodukte** verwendet, während **mehr als 75% des Tantals** für **Feststoffelektrolytkondensatoren, Superlegierungen** und **Walzprodukte** verwendet wird.

Zu den häufigsten Produktgruppen, in denen diese beiden Elemente eingesetzt werden, gehören **Turbinen, Satelliten**, aber auch **Handys**. Niob und Tantal sind jene Stoffe, denen wir es zu verdanken haben, dass unsere Mobiltelefone klein genug zum Einstecken sind.

Vorkommen/Wirtschaftliches:

Tantal steht in der Elementhäufigkeit an 41. Stelle und ist damit seltener als Blei. Niob steht in der Elementhäufigkeit an 34. Stelle direkt vor Blei. Niob und Tantal kommen zumeist miteinander vergesellschaftet in dem **Mischmineral Columbit** vor. Weder Niob noch Tantal kommen gediegen (elementar) in der Natur vor. Die **größten Niob und Tantal-Mienen** sind in **Brasilien, Afrika und Kanada**. Da man aber mit dem Kauf von Niob, Tantal und anderen Stoffen aus Afrika den Krieg fördert, hat die UNO (United Nations Organisation) beschlossen, den Import aus Afrika zu verbieten. Was aber nicht heißt, dass sich alle daran halten.

Die EU stufte Niob und Tantal als kritisch ein, da sich die Nachfrage, auf Grund des hohen Verbrauchs, verdreifachen wird. Deshalb wird ein 6-Punkte System zur Förderung von Recycling und Ersatz erarbeitet.

Aufgrund der **sehr geringen Konzentrationen**, mit denen Niob und Tantal eingesetzt werden, ist eine **Wiedergewinnung** jedoch **problematisch**. Niob wird daher aus Metallschrott derzeit nicht recycelt – aus NMR- und MRT-Geräten, wo dieses Element in nennenswerten Mengen verwendet wird, aber schon.

Ein Kilogramm der Metalle ist am Markt in etwa für **4.500 USD** zu erhalten (Stand: Jänner 2014)³.

Die **Endlichkeit** der beiden Metalle steht nicht unmittelbar bevor:

- **Tantal:**⁴
 - ↳ Stat. Reservenreichweite: 95 Jahre;
 - ↳ Stat. Ressourcenreichweite: > 150 Jahre
- **Niob:**⁵
 - ↳ Stat. Reservenreichweite: > 45 Jahre;
 - ↳ Stat. Ressourcenreichweite: > 7.400 Jahre

³ Zit. nach: Lutz, Ferdinand: Denkwerk Zukunft - Stiftung kulturelle Erneuerung, Bonn, April 2010, S 18 bzw. S 27, in: http://www.denkwerkzukunft.de/downloads/Verf%C3%BCgbarkeit_von_Metallen.pdf (dl.:29.01.2014)

⁴ Zit. nach: Lutz, F., 2010, S 18

⁵ Zit. nach: Lutz, F., 2010, S 27



6.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Am **Institut für Nichteisenmetallurgie** der Montanuniversität Leoben forscht beispielsweise Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. mont. Stefan Luidold an der Verbesserung von Verfahren zur **Niob-Herstellung**. Der Wissenschaftler erprobt dabei unter anderem die metallothermische Reduktion von Niobpentoxid im Zyklonreaktor im Labormaßstab und widmet sich der Aufarbeitung des erhaltenen Produktes durch Laugung, Trocknung etc.⁶

Univ. Prof. Dr. Johann G. Raith und sein Team vom **Institut für Rohstoffmineralogie** der Montanuniversität Leoben erforscht, ob es Lagerstätten in Österreich gibt.

Weiters gibt es in Österreich Firmen, zum Beispiel die Plansee Group⁷, die diese Rohstoffe vertreiben bzw. entsprechende Produkte herstellen und firmenspezifische Forschung betreiben.

6.4 Fazit

- ↪ Niob und Tantal sind besonders wichtig in der Elektronikindustrie, zum Beispiel für Handys, aber auch in der Medizin für Implantate, sowie für Kondensatoren und im Brückenbau.
- ↪ Obwohl die Nachfrage sehr groß ist und sich bis 2030 verdreifachen wird, ist ein Verlust nicht zu befürchten, da momentan drei neue, ertragreiche Lagerstätten entdeckt wurden.
- ↪ Derzeit wird an Keramik und Aluminium als Ersatz geforscht.

6.5 Interviewpartner

Univ.-Prof. Dr. phil. Johann Raith,

Professor an der Montanuniversität in Leoben, Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie



- ↪ Nachdem Herr Dr. Raith sein Studium zu Geologie Wissenschaft im Jahr 1986 mit einem Dr.phil. beendete, fing er 1990 an der Montanuniversität als Universitätsassistent an.
- ↪ Danach folgte ein Jahr an der Universität in Edinburgh, Schottland und schließlich wurde er 1997 Universitätsprofessor in Leoben.
- ↪ Von Juli 2004 bis Dezember 2005 war er Chairholder Mineralogie und Gesteinskunde.
- ↪ Seit 2011 ist er Professor für Rohstoffmineralogie.

6.6 Lernobjekte

- Dokumentation: „Tantal-heiß begehrter Rohstoff“, von DW-TV/ RMA (Rare Metal Assets GmbH)
- Dokumentation: „Kongo: Kampf gegen den illegalen Coltanabbau“, von DW-TV/Global 3000
- Quiz / Lösung

⁶ Nichteisenmetallurgie. Niob-Herstellung, in, http://www.nichteisenmetallurgie.at/index.php?article_id=42&pid=33 (dl. 18..03.2014)

⁷ <http://www.plansee.com/de/index.htm>



6.7 Quellen

Webseiten:

- Wikipedia, die freie Enzyklopädie: Niob. Gewinnung, in: http://de.wikipedia.org/wiki/Niob#Gewinnung_und_Darstellung (dl.: 05.01.2014)
- MMCD New Media: Schwarze Riesen durch Handys in Gefahr. Coltan-Abbau im Gorilla-Land. 25. April 2009, in: <http://www.scinexx.de/dossier-detail-443-10.html> (dl.: 28.02.2014)
- MMDC New Media: Europa droht Rohstoffknappheit. EU-Kommission veröffentlicht erste Liste kritischer Rohstoffe. 18. Juni 2010, in: <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-11825-2010-06-18.html> (dl.: 28.02.2014)
- KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft, in: www.rz.uni-karlsruhe.de
- Raith, Johann: „About me“. Website, in: http://institute.unileoben.ac.at/mineralogie/Johann_Raith_Website/About_me.html (dl.: 02.03.2014.)

PDF-Dokumente:

- Norra, Stefan: Niob, Tantal und Wolfram. Recycling. Universität Karlsruhe, in: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/NbTa.pdf> (dl.: 07.01.2014)
- Umweltgerecht, kompetent, einzigartig. High-Tech-Recycling für Refraktärmetalle. Technology Metals | Advanced Ceramics, in: [file:///C:/Users/EK/Downloads/wolfram-tantal-niob-recycling-hc-starck%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/EK/Downloads/wolfram-tantal-niob-recycling-hc-starck%20(1).pdf) (dl.: 07.01.2014)
- Ziegler, Manuel: Coltanerze. Blutdiamanten unserer Zeit. Brennpunkt Politik: 13. Mai 2012., in: <http://brennpunkt-politik.de/wp-content/uploads/downloads/2012/06/ColtanerzeBlutdiamanten1.pdf>
- Commerce Resources Corporation: Die Zukunft von Niob und Tantal, in: http://www.goldinvest.de/wp-content/uploads/CCE_FactSheet_Feb2009_d.pdf



7. Seltene Erden – sauber gewinnen! Objekt: Monazit (Alexander Co. North Carolina, USA)

Texterstellung: Luana Ambord, Laura Obmann, Anna Krzyzak, Katharina Ivankovic, Simon Hasenauer, Roland Rehfeld, LehrerInnenteam

7.1 Überblick

„Seltene Erden“ ist ein Sammelbegriff für etwa 17 Elemente.

Sie finden in sogenannten „Green Technologies“ (Windkraft, Energiesparlampen), in der Technik-Industrie (Smartphones, Glasfaserkabel) sowie in der Medizin (Laser) ihre Verwendung. Sie zeichnen sich durch herausragende chemische Eigenschaften aus und sind oftmals nicht durch andere Elemente ersetzbar.¹

Die Rückgewinnung dieser Elemente könnte beispielsweise durch Recycling von Nickel-Metallhydrid-Akkus erfolgen, da diese Akkus einen besonders hohen Gehalt an Seltenen Erden aufweisen.²

Da Seltene Erden immer zusammen mit anderen Mineralien vorkommen, sind für ihre Freisetzung spezielle Trennverfahren und Aufbereitungstechniken notwendig. Bei der Gewinnung aus dem Mineral Monazit werden radioaktive Elemente (Uran, Thorium) freigesetzt.

Ein Grund für die Monopolstellung Chinas sind – neben den reichlichen Vorkommen – die vergleichsweise geringen Umweltschutzaufgaben und mangelnde Kontrollen. Die bei der Gewinnung anfallenden giftigen Rückstände werden häufig in der näheren Umgebung der Bergbaue unsachgemäß entsorgt, sickern langsam in den Boden und schaden somit der Umwelt. Um diesem Zustand entgegenzuwirken, verstärkte die chinesische Regierung in den letzten Jahren die Auflagen und Kontrollen.

Die „saubere“ Gewinnung von Seltenen Erden ist jedoch teuer und würde zu einem Preisanstieg des Rohstoffes führen.

In Österreich spielt die Treibacher-Industrie-AG in Althofen eine wichtige Rolle, einerseits bei der Erforschung neuer Verbindungen und andererseits bei der Weiterverarbeitung Seltener Erden.

7.2 Grundlagen

Zu den seltenen Erden gehören die **Lanthanoide** und die **Actinoide**. Insgesamt gibt es 30 Elemente der Seltenen Erden, jedoch werden nur die 17 Lanthanoide gezählt. Die Lanthanoide werden in eine Cer- und in eine Yttrium-Gruppe eingeteilt.

- Zur **Cer-Gruppe** zählen die leichteren und häufiger vorkommenden Elemente wie Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu).
- Zur **Yttrium-Gruppe** zählen die schwereren Elemente wie zum Beispiel Gadolinium (Gd), Terbi-um (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thullium (Tm), Ytterbium (Yb), Lutheti-um (Lu) und das Yttrium (Y).

¹ Luidold, Stefan et al: Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich. Zwischenstand und bisherige Ergebnisse der Studie, in: http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/e2050_pdf/kritische_rohstoffe_fuer_hochtechnologieanwendungen_zwischenergebnisse.pdf, S 9 (dl.: 25.9.2013)

² ebenda



Aufgrund ihrer besonderen Elektronenstruktur haben die **Lanthanoide teilweise einzigartige Eigenschaften** und können nicht ohne weiteres durch andere Elemente ersetzt werden. Als besondere Zusätze verbessern sie die Eigenschaften von beispielsweise **Akkumulatoren, Permanentmagneten, Katalysatoren, Spezialgläsern** u.a.

Die seltenen Erden werden größtenteils als **einzelne metallische Elemente (SEE), Mischmetalle** oder als **Oxide** verwendet.

Seltene Erden sind **sehr reaktionsfähig** und haben eine **geringe Leitfähigkeit**. Manche der Elemente sind **pyrophor**. Das heißt, dass sie sich spontan entzünden können.

Aufgrund ihrer schon erwähnten Ähnlichkeit treten die seltenen Erden **immer gemeinsam** auf. Sie sind **lithophile Elemente**, kommen daher nur in silikatischen Schmelzen vor und haben eine ähnliche Ladung und Ionengröße. Diese Eigenschaften ermöglichen ihnen, sich gegenseitig zu ersetzen.³

Die Elemente der seltenen Erden kommen **nicht als reine Erze** vor, sondern sind vergesellschaftet mit anderen Mineralien.⁴ Deswegen sind verschiedene **Trennverfahren** und **Aufbereitungsschritte** notwendig, um zum Beispiel das Cer aus dem Monazit zu gewinnen. Bei der Gewinnung aus Monazit werden radioaktive Elemente frei.

Die seltenen Erden werden **nur in sehr geringen Konzentrationen** verwendet, wodurch eine Rückgewinnung sehr erschwert wird.

Umweltproblematik in China:

Der massive **Abbau der Seltenen Erden** hat, in der Form, in der er derzeit betrieben wird, verheerende Folgen für die Umwelt, insbesondere in China, dem Hauptexporteur der begehrten Metalle (Weltmarktanteil: 97%). Als Hauptgründe für die starke Umweltbelastung sind **mangelnder Umweltschutz**, aber auch **nachlässige Kontrollen** zu nennen.

Chinas Monopolstellung begann sich bereits in den **90er Jahren** infolge riesiger Vorkommen, des Einsatzes billiger Arbeitskräfte und der Vernachlässigung des Umweltschutzes heraus zu kristallisieren. Nach und nach beschlossen andere Länder, trotz eigener, nicht unbeträchtlicher Vorkommen, ihre Produktionsstätten zu schließen, um die Metalle stattdessen von China zu kaufen und sich teure Arbeitskräfte sowie kostspielige Vorkehrungen zum Schutz der Umwelt zu ersparen.

Da fortschrittliche Abbaumethoden relativ teuer sind, werden in **chinesischen Minen** die Stoffe einfach mittels **Säuren** aus dem Boden gelöst.

Die umweltschädlichen Reste der Extraktionslösungen werden in große Auffangbecken außerhalb der Fabriken gepumpt. Sie enthalten neben Säuren auch radioaktive Elemente (Thorium, Uran etc.) in nicht unbeträchtlichen Mengen sowie diverse Schwermetalle, Fluoride, Chloride und Nitrate.

Auf Grund mangelnder Abdichtung bzw. äußerer Einwirkungen der Natur (z.B. durch Erdbeben, starke Gewitter) sickern in der Folge immer wieder Schadstoffe in die Umwelt, verseuchen Böden und Grundwässer, sodass die Menschen in der Folge Nahrungsmittel zukaufen müssen bzw. gar erkranken und sterben („Krebsdörfer“).

Dazu kommt, dass diese Gewinnungsmethoden nicht so ausgereift sind, wie es bei herkömmlichen Metallen der Fall ist, sodass auch viele Seltene Erden mit in die Auffangbecken fließen und verloren gehen.

³ <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/SE.pdf>

⁴ Interview mit Dr. Schedl (Geologische Bundesanstalt, Wien), 21.11.2013



Auch zahlreiche **illegale Minen**, in Gebieten, die von der Regierung weniger Aufmerksamkeit bekommen, tragen dazu bei, dass die Umwelt immer mehr geschädigt wird. In derartigen Minen werden die Metalle mit **primitivsten Methoden** abgebaut und niemand kümmert sich um den Umweltschutz.

In den letzten Jahren hat die chinesische Regierung jedoch etliche Maßnahmen zur Verbesserung dieser unerträglichen Zustände beschlossen. So stoppte man z.B. die Patentvergabe für neue Minen, verstärkte die Umweltschutzauflagen, sorgte für bessere Kontrollen und ging verstärkt gegen illegale Minen vor.

Dennoch lässt die Gewinnung Seltener Erden jede Menge Raum für Verbesserungen und das in diversen Bereichen. Da die Stoffe mittlerweile für unsere Technik unerlässlich sind, werden wohl in Zukunft neue Wege gefunden werden müssen, die es erlauben, Seltene Erden umweltschonender abzubauen. Möglicherweise könnte die französische Firma Rhodia dabei eine große Rolle spielen, denn sie startete 2012 die erste Recyclinganlage weltweit. Aktuell werden weniger als 1% der Seltenen Erden recycelt, da sie meist in so kleinen Mengen in Produkten stecken und es sehr kostenintensiv ist, sie von anderen Metallen zu trennen.

... aus wirtschaftlicher Sicht:

Von den 17 Elementen, die zu den Seltenen Erden gehören, sind **Cer, Lanthan, Neodym und Yttrium** die am häufigsten genutzten Vertreter. Die Elemente kommen größtenteils in der **Erdkruste** vor. Die **größten Vorkommen** sind in China und Australien, Russland und den USA.

China besitzt nur 40% der weltweiten Reserven, trotzdem kommen 95% der importierten Seltenen Erden aus China.⁵

Die **Gewinnung** der teilweise giftigen Elemente verursacht **schwere Umweltschäden**, da oftmals **radioaktive Stoffe**, die für die Arbeiter schwere gesundheitliche Schäden nach sich ziehen, freigesetzt werden. Ein weiteres Problem ist die Entsorgung bzw. Endlagerung der Abfälle, die bei der Gewinnung entstehen.

Unterschiedliche Verfahren für das **Recycling** von gering konzentrierten Metallen sind im Pilotstadium, weshalb die **Recyclingrate** von Selten-Erd-Metallen **sehr niedrig** ist.

Die Seltenen Erden brachten den umliegenden chinesischen Städten einen enormen wirtschaftlichen Aufschwung. Dadurch entstand eine neue chinesische Mittelschicht, in der sich langsam ein ökologisches Bewusstsein gebildet hat. Jedoch ist eine saubere Gewinnung der Seltenen Erden teuer und würde unweigerlich zu einem Preisanstieg der Elemente führen.

Der Bedarf an Seltenen Erden steigt stetig, obwohl es noch keine Lösung für die Umweltprobleme gibt.

2010 gingen 24% der EU-Importe an Seltenen Erden zur Weiterverarbeitung nach Österreich. Die **Treibacher-Industrie-AG** in Althofen spielt dabei eine wichtige Rolle.⁶

15 Prozent aller chinesischen Exporte gehen nach Althofen. Neben der französischen Rhodia ist die Treibacher AG heute nicht nur der größte Importeur Seltener Erden in der EU, sondern hat – mit Ausnahme Chinas - auch weltweit kaum Konkurrenz.

2011 trugen die Seltenen Erden satte 50 Prozent zum Ergebnis der Treibacher bei.

⁵ Hintergrundpapier Seltene Erden, Stand: Januar 2011: Seltene Erden – Daten & Fakten. Öko-Institut e.V., in: <http://www.oeko.de/oekodoc/1110/2011-001-de.pdf> (dl.: 05.03.2014)

⁶ Hillebrand, Elmar: Seltene Erden - eine Panik mit Ablaufdatum. Wirtschaftsblatt-Online, 21.01.2011, in: http://wirtschaftsblatt.at/archiv/schwerpunkt/wochenend_dossier/1164524/index (dl.: 14.02.2014)



7.3 Forschungstätigkeit in Österreich

In Althofen (Kärnten) befindet sich einer der größten SE-Händler der ganzen Welt, die **Treibacher Industrie AG**. Dort werden die Seltenen Erden zu maßgeschneiderten Produkten verarbeitet. Die Treibacher AG versuchte die Trennung von Seltenen Erden, gab es jedoch auf, da die Konzentration der Metalle in den Mineralien so gering ist, dass sich der Abbau nicht lohnt. Heute finden die Trennung der Seltenen Erden und die Analyse größtenteils nur in China statt.

An der **Montanuniversität Leoben** beschäftigen sich WissenschaftlerInnen mit der Gewinnung der Seltenen Erden beim Batterie-Recycling.

7.4 Fazit

- Seltene Erden werden heute in sogenannten „Green Technologies“ und in der Technik-Industrie, wie zum Beispiel Energiesparlampen, Windkraftwerken, sowie Smartphones, Monitoren und LEDs verwendet.
- Sie werden in der näheren Zukunft voraussichtlich nicht ausgehen, da stetig neue Minen exploriert werden und es auch noch einige stillgelegte Minen gibt.
- Sollten sie, auf Grund des stetig steigenden Bedarfs nicht mehr verfügbar sein, so müssen erst Möglichkeiten gefunden werden, sie zu ersetzen.

7.5 Interviewpartner

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut Rechberger

Institut für Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement, TU Wien



Prof. Rechberger arbeitet an der TU Wien im Institut für Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement. Er ist stellvertretender Studiendekan und zuständig für Studien- und Stundenpläne, Förder- und Leistungsstipendien, die 2./3. Diplomprüfung und das Double-Degree-Programm Wien-Sofia. Bei seinen Forschungen konzentriert sich Prof. Rechberger nicht auf das Thema „Seltene Erden“, trotzdem konnte er unsere Fragen zufriedenstellend beantworten.

Priv.-Doz. Dr. Uwe Kolitsch

Naturhistorisches Museum Wien



Doz. Kolitsch studierte Mineralogie an der Universität Stuttgart. Sein Aufgabenbereich am NHM umfasst folgende Tätigkeiten: Kuratorarbeiten in der Mineralien- und Lagerstättenammlung, Mineralogische Forschung (speziell Sekundärminerale, neue Mineralien, Kristallographie und Lagerstätten), Bestimmung von Mineralien, Erzen und synthetischen kristallinen Verbindungen, Geländearbeit, Spezialführungen durch die Mineraliensammlung, (Populär)wissenschaftliche Vorträge, Aktualisierung der



Schausammlungen, Aktualisierung und Erweiterung der Website der Abteilung, Strahlenschutzbeauftragter der Abteilung, Stellv. Sicherheitsbeauftragter der Abteilung

Aktuell arbeitet er an einem Projekt mit dem Titel „Lumineszierende gemischte Gerüstsilikate und Zirkonosilikate“ sowie der physikalisch-chemischen Beschreibung (inkl. Bestimmung der Kristallstruktur) eines neuen Ca-Ce-Arsenat-Minerals aus einer metamorphen Manganlagerstätte in Italien.

7.6 Lernobjekte

- Kreuzworträtsel
- Online „Wer wird Millionär“-Quiz / Lösungen
- Online-Hangman / Lösungen
- Stundenbild (Anregungen für die Gestaltung einer Unterrichtsstunde)

7.7 Quellen

- Unser Interview mit Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Rechberger, 20.11.2013

Online zur Verfügung gestellte Quellen:

Webseiten:

- TRADIUM GmbH, Frankfurt am Main, Germany; 2011: SelteneErden.de, Situation. Politisch, wirtschaftlich, in: http://www.selteneerden.de/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=58 (dl.: 10.11.2013)
- News.ORF.at, in: http://news.v1.orf.at/090904-42205/?href=http%3A%2F%2Fnews.v1.orf.at%2F090904-42205%2F42206txt_story.html (dl.: 01.03.2014, 20:03 Uhr)
- Hillebrand, Elmar: Seltene Erden - eine Panik mit Ablaufdatum. Wirtschaftsblatt-Online, 21.01.2011, in: http://wirtschaftsblatt.at/archiv/schwerpunkt/wochenend_dossier/1164524/index (dl.: 14.02.2014)
- SelteneErden.de, in: <http://www.selteneerden.de/> (dl.: 11.03.2014)
- Mendle, Roman Serdar: „Selten Unnachhaltig – Seltene Erden und Umweltverschmutzung in China“. 26.04.2011, in: <http://www.stimmen-aus-china.de/2011/04/26/selten-unnachhaltig-seltene-erden-und-umweltverschmutzung-in-china/#sthash.55nM7Z57.dpuf> <http://www.stimmen-aus-china.de/2011/04/26/selten-unnachhaltig-seltene-erden-und-umweltverschmutzung-in-china/> (dl.: 11.03.2014)
- Mineralienatlas. Seltene Erden., in: <http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Mineralienportrait/Seltene%20Erden/Seltene%20Erden%20-%20Fluch%20oder%20Segen> (dl.: 11.03.2014)
- Seltene Erden: Kompetenz dank Marktführerschaft. Treibacher Industrie AG, in: <http://www.treibacher.com/de/geschaeftsfelder/seltene-erden-und-chemikalien.html> (dl.: 11.03.2014)
- Hagelüken, Christian: Rohstoffsicherung durch Recycling – Chancen, Herausforderungen & Grenzen, in: http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DREP_2011_Hagelueken.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (dl.: 11.03.2014)
- Seltene-Erden-Rohstoffe in Deutschland. Ad-hoc-AG Rohstoffe, in: http://www.infogeo.de/dokumente/download_pool/Seltene_Erden_Rohstoffe_Deutschland_November_2010.pdf
- Lohmann, Dieter: Kampf um Seltene Erden. Hightech-Rohstoffe als Mangelware. Stand 13.05.2011, in: <http://www.scinexx.de/newsletter-dossier-540-1.html> (dl.: 11.03.2014)



ROHSTOFFE UND IHRE ENDLICHKEIT - THE FUTURE WE WANT

SCHÜLERINNEN DES GOETHE-GYMNASIUMS GESTALTEN EINE AUSSTELLUNG IM NATURHISTORISCHEN MUSEUM WIEN

- China seltene Erden - Umweltzerstörung.mp4, in: http://www.youtube.com/watch?v=2rkFytt2b_c (dl.: 11.03.2014)
- Seltene Erden ZDF, in: <http://www.youtube.com/watch?v=qrrmRo7iQxM> (dl.: 11.03.2014)
- Seltene Erden und Metalle. Institut für Seltene Erden und Metalle e.V., in: <http://institut-seltene-erden.org/seltene-erden-und-metalle/> (dl.: 11.03.2014)

PDF-Dokumente:

- Schlosser, G.; Gattringer, C., Laner, D., Rechberger, H.: Sekundärrohstoffpotentiale für Seltene Erden in Österreich. Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, 1040 Wien, Karlsplatz 13/226 (dl.: 15.10.2013)
- Oberösterreichische Zukunftsakademie: Endlichkeit der Rohstoffe. Ressourcenvorräte von A bis Z, in: http://www.ooe-zukunftsakademie.at/Endlichkeit_der_Rohstoffe_Ressourcenvorraete_von_A_bis_Z__INTERNET.pdf (dl.: 29.10.2013)
- Hintergrundpapier Seltene Erden, Stand: Januar 2011: Seltene Erden – Daten & Fakten. Öko-Institut e.V., in: <http://www.oeko.de/oekodoc/1110/2011-001-de.pdf> (dl.: 10.11.2013)



8. Zinn – Aus in 45 Jahren!

Objekt: Zinnstein (Schlaggenwald, Böhmen / heute Horni Slavkov, Tschechien)

Texterstellung: Juliana Kugi, Benedikt Hurch, Matej Piskacek, Bernadette Jenisch, LehrerInnenteam

8.1 Überblick

Aufgrund seiner wirtschaftlichen Bedeutung ist Zinn Kandidat für die EU-Liste der kritischen Rohstoffe. Die derzeitigen Ressourcen reichen noch für ca. 45 Jahre¹.

Der Abbau von Zinn beansprucht große Flächen und erfordert einen großen Materialaufwand, es kommt zu Landschaftsveränderungen und zur Absenkung des Grundwasserspiegels, also zu negativen Einflüssen auf umliegende Landschaften und deren Ökosysteme. Über Industrieabwässer können Zinn und Zinnverbindungen auch ins Meer gelangen und dadurch ganze Lebensgemeinschaften beeinträchtigen, wie z.B. Korallenriffe.

Die wirtschaftlich bedeutendsten Vorkommen von Zinn befinden sich in China, Malaysia, Indonesien und Peru. Weltweit werden jährlich ca. 340.000 t Zinn verarbeitet. In Österreich gibt es keine nennenswerten Zinnvorkommen.

Durch den relativ niedrigen Schmelzpunkt (231,93°C) findet Zinn hauptsächlich in der Elektronikindustrie als Lötmaterial, sowie in der Lebensmittelindustrie in Form von sogenanntem „Weißblech“ als Verpackungsmaterial Verwendung. Es ist auch ein wichtiger Bestandteil vieler Legierungen. Besondere Bedeutung hatte es vor allem in der Bronzezeit, da es maßgeblich zur Weiterentwicklung von Werkzeugen und Waffen beitrug. Bronze besteht zu 9 Teilen Kupfer und 1 Teil Zinn.

Ein großer Anteil des verwendeten Zinns kann recycelt werden.

Am Institut für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben beschäftigt man sich intensiv mit der Entwicklung eines „Zero-Waste-Verfahrens“, einem simultanen Recycling mehrerer Wertstoffe, darunter auch von Zinn.²

8.2 Grundlagen

Zinn hat das **Elementsymbol Sn** (lateinisch Stannum). Es besitzt die Ordnungszahl 50 und befindet sich im Periodensystem in der 5. Periode sowie der **14. Gruppe, der Kohlenstoffgruppe**.

Das Aussehen ist **silbrig, glänzend, grau**. Zinn hat 35 ppm Massenanteil in der Erdhülle.

Die **Atommasse** von Zinn beträgt 118,710 u (Unit) und der **Atomradius** 145 pm.

Physikalisch gesehen ist Zinn bei Raumtemperatur ein **Feststoff**. Der **Schmelzpunkt** liegt bei 505,08 K (Kelvin) (231,93 °C) und der Siedepunkt liegt bei 2893 K (2620 °C).

Von Zinn sind **drei Modifikationen**, mit jeweils unterschiedlichen Kristallstrukturen und Dichten, bekannt:

- Unter 13,25°C liegt sogenanntes **α-Zinn** vor, eine kubisch orientierte Substanz.
- Über 13,25°C ist Zinn grau, verzerrt oktaedrisch und wird als **β-Zinn** bezeichnet.

¹ Peyrl, Reingard (Hrsg.): „Endlichkeit Rohstoffe“. Ressourcenvorräte von A bis Z, Oberösterreichische Zukunftakademie, 2. Auflage, 2013, S 51

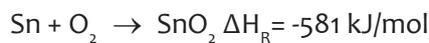
² Presseaussendung Montanuniversität Leoben: „Deutscher Forschungspreis für Leobener Wissenschaftler“, in: <http://www.unileoben.ac.at/content/view/2295/2380/lang.de/> (dl:27.01.2014)



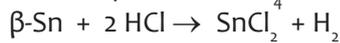
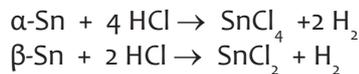
- Über **162°C** wird Zinn **spröde** und man erhält rhombisch orientiertes **γ-Zinn** (beim Herunterfallen zerspringt es in Stücke; Im Mörser kann es zu einem grauen Pulver zerrieben werden).

α-Zinn hat bei geringen Temperaturen unangenehme Eigenschaften. Es zerfällt allmählich zu einem grauen Pulver. Dies ist häufig bei alten Orgelpfeifen zu beobachten. Dieses Zerfallen wird auch als **Zinnpest** bezeichnet. Durch Legieren mit anderen Metallen wie zum Beispiel Antimon, Wismut oder Blei kann dieses Phänomen stark verlangsamt werden. Im Gegensatz beschleunigen Zusätze von Aluminium, Cobalt, Magnesium, Mangan oder Zink diesen Vorgang.

Bei Zimmertemperaturen ist Zinn gegen Luft und Wasser beständig, weil es sich allmählich mit einer dünnen Oxidschicht überzieht, die das darunter liegende Metall vor weiterer Korrosion schützt. Bei Erhitzen auf ca. 1500°C verbrennt Zinn mit hellem Licht zu Zinnoxid („Zinnasche“).



Mit **Salzsäure** reagiert Zinn zu Zinn(IV) – oder Zinn(II)-chlorid:



Mit **konzentrierter Salpetersäure** reagiert Zinn unter Bildung von Stickstoffoxiden zu einem weißen Pulver von Zinnsäure. Mit Laugen entstehen Hexahydroxostannate.

Zinn hat eine **sehr hohe Umweltrelevanz**, ist aber ein relativ seltenes Element. Der Bedarf an Zinn steigt jährlich um ca. 3%.

Gewinnung:

In der Natur kommt Zinn nur **äußerst selten elementar** vor. Das bedeutsamste Mineral zur Zinnengewinnung ist der **Kassiterit (SnO₂)**. Kassiterit hat einen **Zinngehalt von 76,5 %**. Man findet ihn hauptsächlich in Schwemmlagerungen von Flussdeltas und am Meeresgrund.

Zinn wird auch als **Nebenprodukt bei der Erzaufbereitung** gewonnen. Die Aufarbeitung von Zinnerzen ist sehr aufwendig und benötigt die Anwendung vieler Trennmethode wie Aufschlännen und Flotation.

Zinn wird in Relation zu anderen in den letzten 30 Jahren abgebauten Metallen **heutzutage kaum noch abgebaut**. Die meisten Zinnvorkommen wurden schon in den letzten 5000-6000 Jahren ausgebeutet.

Die Gewinnung von Zinn beansprucht eine **relativ große Fläche**. Beim Abbau und bei der Aufarbeitung von Zinnerzen kommt es jährlich zu einem **großen Materialverlust**. Damit verbunden sind **Landschaftsveränderungen** und die **Absenkung des Grundwasserspiegels**. Folglich kann es dadurch auch zu negativen Einflüssen auf umliegende Landschaften und deren Ökosysteme kommen. Über **Industrieabwässer** gelangen Zinn und Zinnverbindungen auch ins Meer und beeinträchtigen dadurch Lebewesen wie Korallen.

Verwendung:

Früher fand Zinn vor allem bei der Herstellung von **Orgelpfeifen** und **Haushaltsgegenständen** wie Geschirr und Dosen Anwendung, heute wird es jedoch großteils anderwärtig genutzt.



- Rund 52% des verarbeiteten Zinns werden in der **Elektronikindustrie** als **Lötzinn** benötigt, wobei sich der relativ niedrige Schmelzpunkt als vorteilhaft erweist.
- Etwa 16% werden zu reinem **Zinnblech** weiterverarbeitet, welches wiederum zur Herstellung von **Verpackungsmaterial** (zum Beispiel Konservendosen oder Stanniolpapier) dient.
- In der **chemischen Industrie** spielt Zinn ebenfalls eine bedeutende Rolle. Rund 13% des jährlichen Zinnverbrauchs finden sich in ihr wieder, zum Beispiel in Form von Stabilisatoren für Kunststoffe wie Polyvinylchlorid (PVC).
- Weitere 5 % werden in **Legierungen** verarbeitet und sind ein nicht wegzudenkender Bestandteil in Metall-Legierungen mit niedrigem Schmelzpunkt (z.B. in der Legierung der goldfarbigen Euro-Münzen, welche zu einem 1% aus Zinn besteht).

Gemeinsam mit Kupfer bildet Zinn (Mischungsverhältnis 9:1) **Bronze**, eine Legierung, die schon seit mehreren tausend Jahren verwendet wird und die von so großer Wichtigkeit war, dass das Metall namensgebend für eine ganze Epoche wurde.

Recycling:

Im Recyclingbereich sind die Mengen des wiederverwerteten Zinns in den letzten Jahren enorm gestiegen. Zurzeit liegt die **Gesamtrecyclingquote** bei ca. einem Drittel, wird in den nächsten Jahren aber zweifellos weiter ansteigen. Gründe dafür sind die **Einsparung von Energie**, da Abbau, Transport etc. weggelassen, und die **Einsparung der Ankaufkosten**. Bei Schrotten aus verbrauchten Produkten beträgt die Recyclingquote gerade einmal 10%.³

Damit Zinn wieder möglichst rein aus dem Endprodukt austritt, müssen mehrere Recyclingverfahren angewendet werden (z.B. Elektrolyse).

Nachfrage und Perspektiven:

Nachdem von Zinn-Blei-Loten auf **bleifreie Lote** mit einem **Zinnanteil von 95 %** umgestiegen wurde, ist der jährliche Zinnbedarf um geschätzte 10 % gewachsen. Ein weiterer Grund, weshalb die Bedeutung von Zinn gestiegen ist, ist das Verbot von Blei bei vielen industriellen Anwendungen sowie in der Baubranche, zum Beispiel bei Rohren.

Die derzeitigen **Ressourcen** reichen noch für **etwa 45 Jahre**⁴, kritisch ist es aufgrund seiner wirtschaftlichen Bedeutung. Das verwendete Zinn wird zu mehr als einem Drittel aus Recycling, besonders von Weißblech, gewonnen, doch bis zum Jahr 2030 wird sich dieser Wert bestimmt noch steigern.

Durchschnittliche jährliche Wachstumsraten der Bergwerkförderungen:

- China: 3,0%
- Bolivien: 0,0%
- Peru: 18,8%
- Indonesien: 2,7%
- Brasilien: 3,1%
- Welt: 0,8%

³ Laut Auskunft von Dr. Jürgen Antrekowitsch vom Institut für Nichteisenmetallurgie, Montanuniversität Leoben.

⁴ Peyrl, Reingard (Hrsg.): „Endlichkeit Rohstoffe“. Ressourcenvorräte von A bis Z, Oberösterreichische Zukunftakademie, 2. Auflage, 2013, S 51



Handel und Wert:

Die **London Metal Exchange (LME)** ist der **Haupthandelsplatz für Zinn**. Andere Zinn-Vertrag-Märkte sind Kuala Lumpur Tin Markt (KLTM) und Indonesien Tin Exchange (INATIN). Hier kann Zinn in verschiedensten Formen gehandelt oder angelegt werden. Auch außerbörslich bieten Unternehmen Investitionsmöglichkeiten in Form von Derivaten an.

Während der weltweiten Wirtschaftskrise 2008/09 gab auch der Zinn-Kurs deutlich nach, doch durch die ständig steigende Nachfrage steigt der Preis wieder kontinuierlich.

Alternativen zu Zinn:

Im Laufe der Geschichte wurde Zinn, das in Alltagsgeschirr (Zinnbechern, -tellern etc.) Verwendung fand, von Aluminium, Glas und Porzellan verdrängt. Auch für die Industrie gibt es Alternativen, z.B. Blei, Aluminium.

8.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Die Zinn verarbeitende Industrie ist nicht besonders groß. In Österreich gibt es keine wirkliche Zinnforschung. Für Zinn gibt es zwei Hauptminerale: den Zinnstein (Kassiterit) und Stanit, ein Oxyd. Beide Minerale kommen in Österreich vor, allerdings in geringen Mengen. Die höchsten Zinngehalte in Österreich wurden bei Gmünd im Waldviertel gemessen. An der Geologischen Bundesanstalt Österreich beschäftigt man sich nur mit Rohstoffen, die in Österreich aktiv abgebaut werden oder wurden und da zählt Zinn nicht dazu.

Am Institut für Nichteisenmetalle der Montanuniversität Leoben wird z.B., „Effizientes Recycling von Reststoffen der metallerzeugenden Industrie - Der Weg zum Zero-Waste-Verfahren“ beforscht, wobei unter anderem die Zinnrückgewinnung eine Rolle spielt.

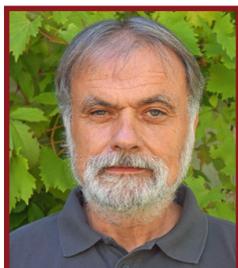
8.4 Fazit

- Etwa die Hälfte des verarbeiteten Zinns wird in der Elektronikindustrie als Lötzinn benötigt, ca. 16% werden zu reinem Zinnblech weiterverarbeitet, welches wiederum zur Herstellung von Verpackungsmaterial dient.
- Nach heutiger Sicht wird Zinn noch etwa 45 Jahre verfügbar sein, doch dadurch, dass Zinn sehr gut recycelbar ist, wird Zinn sicher noch länger vorhanden und nutzbar sein.

8.5 Interviewpartner

Dr. Albert Schedl,

Geologische Bundesanstalt, Wien



1974-1981 Studium der Geologie an der Universität Wien

1982-1986 Rohstoffgeologe bei AUSTROMINERAL GmbH in Wien

Seit 1988 Geologische Bundesanstalt / Fachabt. Rohstoffgeologie

Zuständigkeitsbereich: Rohstoffforschungsprogramme (Schwerpunkt: Erzrohstoffe), bundesweiter GIS-gestützter Bergbau-/Haldenkataster, Geochemische Basisaufnahme des Bundesgebietes (Geochemischer Atlas von Österreich), Umweltrisikobewertungsprojekte im Bereich von Altbergbauen



8.6 Lernobjekte

- Online-Wortgitter / Lösungen
- Kreuzworträtsel / Lösungen

8.7 Quellen

- Unser Interview mit Dr. Albert Schedl, 22.11. 2013
- Wikipedia, die freie Enzyklopädie: Zinn, in: <http://de.wikipedia.org/wiki/Zinn> (dl.: 05.03.2014)
- Tin, from Wikipedia, the free encyclopedia, in: http://en.wikipedia.org/wiki/Tin#cite_note-46 (dl.: 05.03.2014)



9. Gallium, Indium, Germanium - die Zukunft?

Objekt: Sphalerit (Schemnitz, Ungarn / heute Banska Stiavnica, Slowakei)

Texterstellung: Christian Müller, Christoph Wimmer, Oliver Jakovljevic, Philip Lanzerits, Max Schauersberger, Lehrer-Innenteam

9.1 Überblick

Gallium ist eine wichtige Komponente in der Photovoltaik sowie in der Produktion von Bildschirmen und LED-Lampen. Hauptlieferant ist China. Es wird vor allem beim Aluminiumabbau über Elektrolyse als Sekundärprodukt gewonnen. Für die nächsten 180 Jahre (aktuelle Abbaumenge: 260 t) sind ausreichend geologische Reserven (etwa 500.000 t) vorhanden.¹ Im Anwendungsbereich der Photovoltaik wird derzeit vor allem in China verstärkt geforscht. In der Herstellung von LED-Lampen ist vor kurzem ein Durchbruch bei OSRAM Opto Semiconductors gelungen.²

Germanium wird in der Glasfaserkabelproduktion und der Infrarotoptik verwendet. Die aktuelle Recyclingrate liegt unter 30 %.³ Größter Produzent ist China. Germanium wird aus Zinkmineralien über Elektrolyse gewonnen. Auch bei Germanium besteht mit Reserven von 25.000 t und einer Jahresproduktion von 140 t kein Rohstoffmangel.⁴ Zurzeit wird am Paul Scherrer Institute in der Schweiz an Germanium als Material für die Lasertechnologie geforscht.

Indium wird wie Gallium in der Photovoltaik benutzt, kommt verstärkt aber auch in LCD-Bildschirmen in Computern, Fernsehern, Tablets zum Einsatz, weshalb der Bedarf zurzeit stark steigt. Es wird aus Zinkblenden und Kupfermineralien als Sekundärprodukt gewonnen. Die Reserven von Indium (15.000 t) sind bei einer Jahresproduktion von 560 t am knappsten. Die Rückgewinnung gestaltet sich aufgrund der niedrigen Konzentrationen schwierig und wird beispielsweise am Institut für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben beforscht.⁵

9.2 Grundlagen

Gallium:

Gallium ist ein **weißes, silbrig-grau glänzendes Metall** mit einer Härte von 1,5 Mohs, und somit ein **sehr weiches Metall**. Die charakteristischste Eigenschaft des Galliums ist wahrscheinlich der Schmelzpunkt, der bei 29,78 °C liegt. Gallium hat somit den **drittniedrigsten Schmelzpunkt von allen Metallen**, lediglich Quecksilber und Cäsium schmelzen bei noch tieferen Temperaturen. Andererseits ist der **Siedepunkt mit 2403 °C relativ hoch**, woraus sich ein extrem großer Bereich zwischen Schmelzpunkt und Siedepunkt ergibt.

¹ Interview mit Dr. Albert Schedl (Abteilung: Rohstoffgeologie, Geologische Bundesanstalt), 08.01.2014

² ebenda

³ ebenda

⁴ ebenda

⁵ Stuhlpfarrer, Philipp; Luidold, Stefan: „Recycling von Flachbildschirmen mit LED- und LCD-Technologie sowie diodenbasierenden-Beleuchtungselementen“, in: http://www.nichteisenmetallurgie.at/index.php?article_id=42&pid=104 (dl. 27.01.2014)



Gallium ist mit 19 g/t⁶ in **vergleichbarer Konzentration wie Blei** oder Nickel in der Erdkruste vertreten. Als bisher einziges bekanntes Gallium-Mineral gilt der **Gallit**, der in den 50er Jahren in einem Minenkomplex in Namibia entdeckt wurde. In diesem Mineral liegt die Gallium-Konzentration bei 35,4 %.⁷ Gallium kommt aber auch **in vielen anderen Mineralen als Spurenelement** vor, wie zum Beispiel im **Germanit**. Dass Gallium in geringen Konzentrationen fast in allen Aluminiummineralen enthalten ist, ist größtenteils auf den geringen Unterschied der Größe zwischen den Atomradien von Aluminium und Gallium zurückzuführen.

Gallium wird vor allem aus **Zinkblenden** gewonnen. Aber auch in der **Kohle** reichert sich Gallium an. Gallium kommt in der Erdkruste nirgends abbauwürdig vor, die Gewinnung erfolgt daher ausschließlich aus den **Nebenprodukten der Aluminium- und Zinkerz-Verarbeitung**.⁸

Gallium wird v.a. in der **Photovoltaik** verwendet und zwar für die Herstellung von **LED-s, Solarzellen, Transistoren** etc. Dabei landen etwa 80-90 % in Bildschirmen⁹.

Germanium:

Germanium ist ein **sprödes, grau-weiß glänzendes Halbmetall**, das Kristalle mit Diamantstruktur bildet. Die **Mohshärte beträgt 6** und ist somit etwas über der Hälfte der Härte eines Diamanten. Bei Raumtemperatur hat es einen **ähnlichen elektrischen Widerstand wie Silizium**. Der Schmelzpunkt von Germanium liegt bei 945 °C und der Siedepunkt bei 2850 °C.

Germanium kommt in der **Erdkruste** in einer Konzentration von 1,5 g/t¹⁰ vor und liegt somit an **53. Stelle bei der Häufigkeit der Elemente**. Es sind nur wenige Germaniumminerale bekannt. Dabei enthält **Germanit** mit 8 % Germanium-Gehalt die höchste Konzentration. Ebenfalls bedeutsam ist der **Renierit**, dann gibt es noch weitere seltene Minerale in denen Germanium vorkommt, nämlich Argyrotit, Canfieldit, Ultrabazit und Stottit. Die Gehalte an Germanium in Zinkblenden schwanken stark, jedoch der Maximalwert liegt bei 0,01 %. Die Anreicherung von Germanium in sulfidischer Phase in Enargit liegt bei 0,03%. Germanium ist ebenfalls wie Gallium in **Kohlen** angereichert. Das Germanium kommt in der Flugasche der Kohle mit einem Gehalt von 0,005 bis 0,1% vor.

Germanium kommt, so wie auch Gallium, **nirgendwo** in der **Erdkruste abbauwürdig** vor. Es wird daher hauptsächlich als **Nebenprodukt bei der Zinkerz-Verarbeitung** oder der **Flugasche von Kohlekraftwerken** gewonnen.¹¹ Zinkvorkommen mit hohem Germaniumgehalt, die auch gewonnen werden, existieren in den USA, Russland und China.

Germanium findet v.a. in der Glasfaseroptik Verwendung.¹²

⁶ Dammschäuser, Anna: Gallium & Germanium. Von der Lagerstätte bis zur Verwendung. Umweltgeochemisches Seminar WS 2003/2004, in: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/GaGe.pdf> (dl.: 22.2.2014), S.6

⁷ Frauenhofer ISI und IZT gGmbH, Rohstoffe für Zukunftstechnologie, S. 342

⁸ Dammschäuser, Anna: Gallium & Germanium. Von der Lagerstätte bis zur Verwendung. Umweltgeochemisches Seminar WS 2003/2004, in: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/GaGe.pdf> (dl.: 22.2.2014)

⁹ Interview mit Dr. Albert Schedl, 21.11.2013

¹⁰ Dammschäuser, Anna: Gallium & Germanium. Von der Lagerstätte bis zur Verwendung. Umweltgeochemisches Seminar WS 2003/2004. Als Download: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/GaGe.pdf> (22.2.2014), S.6

¹¹ Interview mit Dr. Albert Schedl, 21.11.2013

¹² ebenda



Indium:

Indium ist ein **kristallines, silbrig-weißes** und **sehr weiches Metall** (Mohshärte 1,2). Der Schmelzpunkt von Indium liegt bei 156,58 °C und der Siedepunkt bei 2080 °C. Chemisch verwandte Elemente sind Gallium und Thallium.

Indium wird überwiegend als **Indiumzinnoxid** gehandelt. Indiumzinnoxid hat eine **hohe elektrische Leitfähigkeit**. Indium ist in der kontinentalen Erdkruste mit 0,05 ppm¹³ vorhanden und damit **ähnlich häufig wie Silber**.

Es gibt nur **wenige bekannte Indiumminerale** wie zum Beispiel **Indit** und **Roquesit**, welche aber irrelevant für die Gewinnung sind. Das **größte Vorkommen** liegt in **Zinkerzen**, besonders in **Sphaleriten**. Es gibt auch noch andere Minerale mit einer Konzentration bis zu 1 % (sulfidische Erze). Die wichtigsten Minerale für die Indiumgewinnung sind **Zinksulfid** (Zinkblende), **Kupfersulfid** (Chalkopyrit oder Kupferkies) und **Bleisulfid** (Galenit oder Bleiglanz). Die Zinkblende weist eine überdurchschnittlich hohe Indiumkonzentration auf, jedoch sind die regionalen Unterschiede sehr groß.

Indium wird als **Nebenprodukt der Zinn-, Zink- und Bleigewinnung** gewonnen. Den größten Anteil des Indium gewinnt man dabei aus dem Flugstaub von Zink und Blei oder beim Rösten von Zinksulfid. Die Raffinierung und Hochreinigung zu einem Reinheitsgehalt von 99,9999% erfolgt elektrolytisch.

Die Hauptmenge des produzierten Indiums geht in die Erzeugung von Indiumzinnoxid, einem Stoff der in Flüssigkristallbildschirmen (LCDs), Touchscreens und Solarzellen Anwendung findet. Indium ist auch beliebter Legierungszusatz zur Erhöhung von Korrosionsbeständigkeit und Härte.

9.3 Forschungstätigkeit in Österreich

An der Technischen Universität Wien, am Institut für Festkörperelektronik entwickeln ForscherInnen ideale 1D-Strukturen, wie z. B. Kohlenstoff-Nanoröhren und Halbleiter-Nanodrähte aus Germanium (Optische Elektronik, hauptsächlich für Forschung benutzt)¹⁴

An der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik werden z.B. Infrarot-Photodetektoren auf Indiumphosphid-Basis beforscht¹⁵.

9.4 Fazit

- Gallium wird vor allem in der Photovoltaik benutzt. In jedem Display sind Gallium und Indium enthalten. Auch jegliche Art von LED-Lampen geht auf Gallium zurück. Germanium wird zu einem kleinen Prozentsatz für Infraroptik, also zum Beispiel für Nachtsichtgeräte verwendet. Hauptsächlich wird es aber in der Glasfaseroptik verwendet.
- Von Gallium und Germanium ist noch mehr als genug vorhanden, selbst ohne Recycling kann man noch mehrere hundert Jahre auskommen. Indium ist von den dreien das seltenere in der Erdkruste. Es wird aber viel mehr Indium (fast, dreimal so viel wie Gallium oder Germanium) jährlich gewonnen und verwendet.
- Leider gibt es voraussichtlich keine alternativen Rohstoffe für Gallium, Germanium und Indium.

¹³ Frauenhofer ISI und IZT gGmbH, Rohstoffe für Zukunftstechnologie, S. 324

¹⁴ nanowires@fkw, in: <http://info.tuwien.ac.at/nano/index.php> (dl.: 06.03.2014)

¹⁵ Gebhard, T. „Quantum Dot Infrared Photodetectors Based on Indium Phosphide“. Begutachter/in(nen): K. Unterrainer, P. Souza; E387, 2011; Rigorousum: 23.03.2011, in: <http://publik.tuwien.ac.at/program/dosearch.php?nojava=0&source=start&lang=1&stext=indium&C1=1&C2=2&C3=3&C4=4&C5=5&C6=6&C7=7&C8=8&C9=9&C10=10&smode=0>



9.5 Interviewpartner

Dr. Albert Schedl,
Geologische Bundesanstalt, Wien

Nähere Informationen: siehe Seite 54

9.6 Lernobjekte

- Online-Lückentext / Lösungen
- Online-Quiz / Lösungen

9.7 Quellen

- Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik: nanowires@fkw, in: <http://info.tuwien.ac.at/nano/index.php> (dl.: 06.03.2014)
- Gebhard, T: „Quantum Dot Infrared Photodetectors Based on Indium Phosphide“. Dissertation. Begutachter/in(nen): K. Unterrainer, P. Souza; E387, 2011; Rigorosum: 23.03.2011, in: <http://publik.tuwien.ac.at/program/dosearch.php?nojava=0&source=start&lang=1&stext=indium&C1=1&C2=2&C3=3&C4=4&C5=5&C6=6&C7=7&C8=8&C9=9&C10=10&smode=0>
- Quay, Rüdiger: Gallium Nitride Electronics. Springer Series in Material Sciences. 2008, in: http://www.iue.tuwien.ac.at/index.php?id=gallium_nitride_electronics
- Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des Branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Erscheinungsort unbekannt. 2. Februar 2009.
- Dammshäuser, Anna: Gallium & Germanium. Von der Lagerstätte bis zur Verwendung. Umweltgeochemisches Seminar WS 2003/204, in: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/GaGe.pdf> (dl.: 22.02.2014)
- Organic Germanium. Literatur bezüglich der Sicherheit und Wirkung von Germanium, in: <http://www.germaniumgermany.com/intro04.php> (dl.: 11.03.2014)
- Asai, Kazuhiko: Miracle Cure Organic Germanium, in: <http://www.regenerativenutrition.com/content.asp?id=440> (dl.: 11.03.2014)
- Indium Corporation, in: <http://www.indium.com/> (dl.: 11.03.2014)



10. Lithium – Nachfrage steigend!

Objekt: Spodumen (Kunar Valley, Kunar, Afghanistan)

Texterstellung: Nikolaus Prager, Dominic Suppan, Alexander Kurt, Sarah Brand, LehrerInnenteam

10.1 Überblick

Lithium ist bei Raumtemperatur das leichteste feste Element.

Zwei Drittel der Lithiumgewinnung erfolgt aus Salzseen.¹ Dabei wird die natürliche Lauge in große Becken gepumpt, mit Hilfe der Sonne bis zu einem Gehalt von etwa 0,5 % Lithium eingedampft und anschließend als Lithiumcarbonat ausgefällt. Ein Drittel des Lithiums wird über ein komplexes chemisches Verfahren aus Gesteinen gewonnen.

Das größte bekannte Lithiumvorkommen befindet sich in Bolivien im Salar de Uyuni, einem Salzsee. Weitere große Vorkommen gibt es in Chile, Argentinien und China.

Lithium wird für die Herstellung von Akkus und Batterien verwendet, die sich durch eine lange Lebensdauer und hohe Spannung auszeichnen. Am Christian-Doppler-Labor an der TU Graz wird intensiv an der Weiterentwicklung von Speichersystemen auf Lithiumbasis gearbeitet.²

In der keramischen Industrie wird Lithium zur Herstellung hitzebeständiger Gläser, unter anderem zur Herstellung von Ceranfeldern für Küchenherde, verwendet.³ Da das spezifische Gewicht von Lithium nur etwa die Hälfte von Wasser beträgt, findet Lithium auch als Legierungsmetall in der Flugzeug- und Weltraumindustrie eine wichtige Anwendung. In der Medizin wird Lithium als Antidepressivum verwendet.

Lithium ist derzeit kein kritischer Rohstoff. Es wird jedoch besonders im Hinblick auf die verstärkte Nutzung von Elektroautos für die kommenden Jahre mit einem stark steigenden Bedarf gerechnet.

10.2 Grundlagen

Lithium ist das **drittleichteste Element** und das leichteste unter Normalbedingungen als Feststoff vorliegende Element. Es ist, wie alle Alkalimetalle, **sehr reaktiv** und reagiert bereitwillig mit sehr vielen Elementen und Verbindungen. Es **muss in Petroleum oder Paraffinöl aufbewahrt werden**, da es sonst mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff und Stickstoff sofort reagieren würde. Auch in Wasser reagiert es spontan unter Bildung von Lithiumhydroxid und Wasserstoffgas. Lithium kommt in der Natur daher auch **nur in gebundener Form vor**, beispielsweise als **Spodumen** (von dem es auch auf der Koralpe eine Lagerstätte gibt).

Von den **Alkalimetallen** hat Lithium mit $0,534 \text{ g/cm}^3$ die **niedrigste Dichte**, aber mit 180°C den höchsten Siedepunkt. Aufgrund der geringen Dichte und des geringen Gewichts der Lithiumatome eignet sich dieses Metall hervorragend als **Legierungskomponente** für Leichtmetalle und verbessert die Härte, Elastizität und Zugfestigkeit dieser Legierungen.⁴

¹ Interview mit Dr. Richard Göd (Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie, Department für Lithosphärenforschung, Universität Wien), 06.12.2013

² FUTUREZONE.at: „TU Graz forscht zu Lithium-Batterien“, in: <http://futurezone.at/science/tu-graz-forscht-zu-lithium-batterien/24.595.359> (dl: 27.01.2014)

³ Interview mit Dr. Richard Göd, (Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie, Department für Lithosphärenforschung, Universität Wien), 06.12.2013

⁴ Peyrl, Reingard (Hrsg.): „Endlichkeit Rohstoffe“. Ressourcenvorräte von A bis Z, Oberösterreichische Zukunftakademie, 2. Auflage, 2013, S. 28



Lithium wird gerne in **Feuerwerkskörpern** verwendet, da es mit einer charakteristischen **rotleuchtenden Flamme** verbrennt.

Lithium hat ein **extrem niedriges Normalpotential**. Das bedeutet: Wenn man dieses Element in galvanischen Zellen mit anderen Elementen kombiniert, dann können dabei **sehr hohe Spannungen** erzielt werden. Lithium wird aufgrund dieser herausragenden Eigenschaft hauptsächlich in **Akkus** und **Batterien** verwendet. Neben der relativ hohen Spannung zeichnen sich diese Stromquellen durch ihren **hohen Wirkungsgrad** und **hohe Energiedichte** bei gleichzeitig geringem Gewicht aus.⁵

Bei der **Gewinnung des Lithiums aus Salzseen** wird das Metall aus der lithiumhaltigen Sole durch Zugabe von Soda als **Lithiumcarbonat** ausgefällt. Um metallisches Lithium zu gewinnen, muss das Lithiumcarbonat zunächst mittels Salzsäure in **Lithiumchlorid** umgewandelt und anschließend durch **Schmelzflusselektrolyse** reduziert werden.

- In der Atacamawüste liegt der **Salar de Atacama** (dt.: Salzstelle von Atacama). Der Salar ist das größte aktive Ablagerungsgebiet trockenfallender Salzseen und ist von zahlreichen Oasen umgeben. Unter einer rauen, harten, weißen Schicht Salz, das mit Wüstensand verunreinigt ist, befindet sich die lithiumhaltige Sole (= eine wässrige Lösung von Salzen). Diese Lithiumsole aus dem See wird im Salar de Atacama in Solarteichen mehrfach aufkonzentriert und anschließend als Lithiumcarbonat in fast alle Länder der Welt exportiert.
- Der größte Salzsee der Welt, **Salar de Uyuni**, liegt im Südwesten Boliviens. Der See ist circa 10.000 Quadratkilometer groß, also so groß wie das österreichische Bundesland Vorarlberg und enthält um die 300 g/L verschiedener Salze, wie zum Beispiel Lithiumsalze. Von der Sonne getrocknet und mit der Hand abgebaute Lithium-Reserven werden nach dem Abbau abtransportiert und exportiert. Ein aktiver Vulkan (Tunupa) sorgt für einen beständigen Nachschub. Der Salzsee enthält ungefähr 5,4 Millionen Tonnen Vorkommen an Lithium.

Obwohl auch **zahlreiche lithiumhaltige Mineralien** existieren, haben nur einige technische Bedeutung: der **Lepidolith**, **Amblygonit** und **Spodumen**. Die wichtigsten Lithiumerze enthalten bis zu 9% Lithium.

In **Österreich** wird derzeit kein Lithium abgebaut. In einigen Jahren jedoch soll auf der Koralpe Lithium gefördert werden.

Lithium wird in **Lithiumcarbonat pro Tonne** gehandelt und kostet **6500 USD / Tonne**. Aus Sicht der EU wird Lithium - nach Informationen von Dr. Göd - in Kürze als „kritisch“ eingeschätzt werden, weil Europa derzeit in Bezug auf Lithium zur Gänze importabhängig ist.

Weil Lithium das leichteste Metall ist, dient es beispielsweise in der **Luft- und Raumfahrt als Legierungsmittel**. Außerdem wird es in der **Elektroautoindustrie** als Bestandteil in den **Akkumulatoren** verwendet.

Die **Psychiatrie** verwendet Lithium schon seit Mitte des 20. Jahrhunderts als Medikament. Die Anwendungen, also die Nebenwirkungen, Verträglichkeiten und Wechselwirkungen dieses Medikamentes konnten sehr gut erforscht werden. Die **Lithiumtherapie** hat eine **suizidverhindernde Wirkung** und wird zur Behandlung von affektiven Störungen wie beispielsweise der **Bipolaren Erkrankung** oder **Depressionen** eingesetzt.

Lithiumsalze machen den Patienten nicht körperlich abhängig. Die Lithiumkonzentration im Blut spielt für die richtige Dosierung eine erhebliche Rolle. Die regelmäßige Kontrolle ist für die Verwendung der Lithiumsalze notwendig.

⁵ ebenda



Eine Selbstbehandlung ist nicht zu empfehlen, dies wäre nämlich sehr gefährlich, da die therapeutische Breite von Lithium sehr gering ist. Das heißt, dass die giftige Menge nur minimal höher ist, als die, bei der die gewünschte Wirkung eintritt.

Die genaue Wirkungsweise von Lithium ist noch unbekannt. Es wird angenommen, dass durch Einnahme von Lithium die Natriumkanäle aktiviert werden und es so bei depressiven Episoden die Serotoninproduktion aktiviert, sodass Lithium die Wahrscheinlichkeit einer weiteren affektiven Episode vermindert. Das heißt, die Aufnahme von Noradrenalin und Serotin wird dadurch beeinträchtigt. Bei einer Lithiumvergiftung gibt man dem Patienten Natrium, da es das Lithium verdrängt. Auch einige Pflanzen (Holunder, Tabak oder Hahnenfußgewächse) enthalten Lithium.

Wie bei jedem Medikament können auch durch die Einnahme von Lithium Nebenwirkungen erscheinen.

10.3 Forschungstätigkeit in Österreich

An der Technischen Universität in Graz gibt es ein Christian Doppler-Labor (CD-Labor) für Lithium-Batterien, wo man sich unter anderem intensiv mit der Entwicklung von leistungsstärkeren Speichersystemen auf Lithiumbasis beschäftigt, insbesondere mit der Verlängerung der Lebensdauer von Lithiumbatterien.⁶ Auch eine weitere Miniaturisierung von Bauteilen wird mittels Einsatz neuer Materialien angestrebt.

10.4 Fazit

- Lithium wird sehr vielfältig verwendet, z.B. zur Herstellung von **Akkus** und **Batterien** (in jedem Smartphone befindet sich Lithium), in der Glasindustrie, als Legierungsmetall.
- In absehbarer Zeit wird es **keinen Lithiummangel** geben, weil genug vorhanden ist und sich das Element recyceln lässt.
- Es gibt viele Alternativen für Lithium, jedoch gibt es **nichts Effektiveres als Lithium in der Akkuindustrie**.

10.5 Interviewpartner

Univ.Prof. Mag. Dr. Richard Göd

Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie, Department für Lithosphärenforschung, Universität Wien



- Lehramtsprüfung aus Naturgeschichte, einige Jahre Lehrtätigkeit an einem Gymnasium
- Doktorat aus Mineralogie und Petrographie
- Langjährige industrielle Tätigkeit auf dem Gebiet der Prospektion und Exploration von Erzen mit Schwerpunkten auf Uran, Wolfram, Molybdän, Gold und Lithium.
- Seit 2002 Honorarprofessor an der Universität Wien.

⁶ FUTUREZONE.at: „TU Graz forscht zu Lithium-Batterien“, in: <http://futurezone.at/science/tu-graz-forscht-zu-lithium-batterien/24.595.359> (dl: 27.01.2014)



10.6 Lernobjekte

- Quiz / Lösungen
- Online-Wortgitter bzw. Wortgitter zum Ausdrucken / Lösungen

10.7 Quellen

- Unser Interview mit Dr. Richard Göd (Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie, Department für Lithosphärenforschung, Universität Wien), 06.12.2013
- Lithium - Wikipedia, die freie Enzyklopädie, in: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lithium> (06.03.2014)
- Lithium, in: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/03Lithi.htm> (dl.: 06.03.2014)
- Lithium Special. Informations-Portal Mobile Energie. [mobile-power.info](http://www.mobile-power.info), in: <http://www.mobile-power.info/d/charts/charts-lithium-handelspreise.html> (dl.: 06.03.2014)



11. Wolfram – Made in Austria

Objekt: Wolframit (San Cristobal, Peru)

Texterstellung: Elias Maier, Lukas Schaller, Philipp Seitz, Leon Smolnig, Katharina Zehetner, LehrerInnenteam

11.1 Überblick

Wolfram kommt in der Erdkruste mit ca. 1,5 g/t nicht gerade reichlich vor. Die derzeit bekannten globalen Wolframreserven betragen 2,88 Mio. Tonnen Wolfram, zwei Drittel entfallen auf China.¹ Weitere Lagerstätten gibt es in Kasachstan und Kanada.

Eine Tonne Wolframerz enthält etwa 3 kg Wolfram. Auch Österreich ist bedeutender Wolfram-Produzent, denn die größte Wolfram-Lagerstätte Europas liegt im Felbertal bei Mittersill/Salzburg. 2012 wurden dort 376.450 t Wolfram abgebaut. Eine Erzmenge, die in etwa dem Gewicht von 25.000 mittelschweren Lastkraftwagen entspricht.² Aus ihr können etwa 1.130 t Wolfram gewonnen werden.

Wolfram schmilzt erst bei ca. 3400 °C, seine Dichte ist etwa 2,5 mal so groß wie die von Eisen. Das Metall ist sehr hart, insbesondere in Verbindung mit Kohlenstoff. Etwa 80 % des Wolframs wird daher zur Herstellung sogenannter Hartmetalle als Legierungskomponente für Stahl oder andere Legierungen verwendet.

Die Anwendung als Draht in Glühlampen verlor durch den Einsatz von Energiesparlampen und LEDs in den letzten Jahren an Bedeutung.

Die Erzeugung von Werkstücken aus Hartmetallen erfordert eine spezielle Technologie, die „Pulvermetallurgie“. In Österreich zählt die Plansee-Gruppe zu den führenden Herstellern pulvermetallurgischer Produkte und Komponenten. In der firmenspezifischen Forschung beschäftigt man sich u. a. mit der Entwicklung neuartiger, mit Wolframmischungen versehener Diamantmeißelbohrer zur Kostensenkung bei Bohrungen.³

11.2 Grundlagen

Wolfram zeichnet sich durch den **höchsten Schmelzpunkt aller Metalle** aus (3422°C). Darüber hinaus besitzt es eine **hohe Festigkeit, hohe Steifigkeit** und gehört mit einer Dichte von 19,3 g/cm³ zu den **schwersten Elementen**. Als reines Metall ist es **relativ gut verformbar**. Es genügen aber schon geringe Mengen von Verunreinigungen mit Sauerstoff oder Kohlenstoff, damit dieses Metall sehr spröde und hart wird. Erwähnenswert ist auch die **hohe Leitfähigkeit** für elektrischen Strom und Wärme.

¹ Erdmann, Lorenz; Behrendt, Siegfried: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin; Kritische Rohstoffe für Deutschland. „Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte“. – Berlin 2011, in: <https://www.kfw.de/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Sonderpublikationen/Kritische-Rohstoffe-Anhang.pdf>, S 148 (dl: 27.01.2014)

² Österreichisches Montan-Handbuch. Bergbau - Rohstoffe - Grundstoffe – Energie. 87. Jahrgang - Wien 2013, S 39

³ Öl- und Gasindustrie. Neue Reserven erschließen. Wolframpulver tragen dazu bei, Förderwerkzeuge und Katalysatoren in der Petroindustrie leistungsfähiger zu machen. Livingmetals. Das Magazin der Plansee-Gruppe, Nr. 11, 2013, in: http://www.plansee-group.com/fileadmin/customer/dokumente/livingmetals/livingmetals_2013_D.pdf (dl.: 27.01.2014)



Aufgrund dieser **besonderen Eigenschaften** sind Wolfram und seine Legierungen überall dort gefragt, wo es auf **große Härte** und/oder **Hitzebeständigkeit** ankommt, z.B.: Raketendüsen, Raketenspitzen, Hitzeschilder, Schweißelektroden, Schneidwerkzeuge, Spezialbohrer und bis vor kurzem auch als Glühdraht in Glühlampen.

Von nicht-oxidierenden Säuren wird Wolfram bei Raumtemperatur nicht angegriffen. An der Luft oxidiert es allerdings schon ab 400 °C, weshalb der **Einsatz im Hochtemperaturbereich nur in sauerstofffreier Atmosphäre** möglich ist.

Der **Wolframgehalt der Erdkruste** liegt bei etwa ca. 1,5 g/t. Das Metall konnte bis jetzt in reiner Form in der Natur noch nicht nachgewiesen werden. Die derzeit bekannten sicheren und wahrscheinlichen Weltvorkommen betragen etwa 2,9 Mio. Tonnen reines Wolfram.

Die wichtigsten Wolframerze sind Wolframate, z.B. **Wolframit** ((Fe,Mn)WO₄), **Scheelit** (CaWO₄) oder auch **Stolzit** (PbWO₄) bzw. Oxide wie **Tuneptit** (WO₃ • H₂O).

Vorkommen:

Die größten **Wolfram-Lagerstätten** findet man in China, Peru, den USA, Korea, Bolivien, Kasachstan, Russland, Österreich und Portugal. Auch im Erzgebirge lagern Wolframerze. Das bedeutendste bekannte Vorkommen von Wolfram in Europa befindet sich im **Felbertal** in den Hohen Tauern (Bundesland Salzburg in Österreich).

Gewinnung:

Die **Gewinnung** dieses Metalls erfolgt aus den Erzen **Scheelit** bzw. **Wolframit**. In diesen Erzen liegt Wolfram an Sauerstoff gebunden vor. Nach diversen Aufbereitungsschritten wird schließlich das reine Metall durch **Reduktion mit Wasserstoff** gewonnen.

Kompakte Wolframmetalle, aber auch die Hartmetall Verbundwerkstoffe mit Kobalt, können wegen ihrer großen Härte und Hitzebeständigkeit nachträglich nur schwer nachbearbeitet werden. Die Herstellung erfolgt daher **pulvermetallurgisch**. D.h. die pulverförmigen Ausgangsstoffe werden unter hohem Druck in die gewünschte Form gepresst und anschließend bei ca. 2400-2800 °C gesintert.

Die bedeutendsten Legierungen sind **Ferro-Wolfram**, eine Legierung aus Wolfram und Eisen, sowie die aus Wolfram und Kohlenstoff bestehenden **Wolframcarbide**. Aus Wolframcarbid und Kobalt können **Hartmetalle** mit außergewöhnlich großer Härte hergestellt werden, die u.a. für spezielle **Schneid- und Drehwerkzeuge** bzw. im **militärischen Bereich** eingesetzt werden.

Wiedergewinnung/Recycling:

Die Firma H. C. Starck hat ein System entwickelt, um im „**Closed-Loop**“⁴ eine Reihe von Metallen, darunter auch Wolfram, zu recyceln.

Die Metallabfälle, zum Beispiel Rückstände, Nebenprodukte oder Feinstäube werden dabei zunächst entweder **thermisch, chemisch** oder **mechanisch** aufbereitet, in Refraktärmetallverbindungen oder Refraktärmetallvorstufen übergeführt und danach zu Metallpulvern, Carbiden, Blechen, Stangen, Röhren oder Endstücken weiterverarbeitet. Alsdann werden diese Zwischenprodukte zur Herstellung von Endprodukten verwendet bzw. zur Endanwendung gebracht. Das verbrauchte Material wird wieder zu Metallabfällen, und der Kreislauf beginnt von vorne.

⁴ „Closed-Loop“, engl.: Geschlossener Kreislauf



- **Thermische Bearbeitung:** Bei diesem Verfahren werden metallische Ingolts, zylindrische Stäbe, hergestellt. Metallpulver und Schrotte werden aufgeschmolzen und zur Erstarrung gebracht. Danach werden die Zwischenprodukte durch Schmieden, Schneiden oder Walzen weiterverarbeitet.
- **Chemische Aufbereitung:** Oxidisches Material oder auch Tantalkondensatorschrott wird in Säure beziehungsweise Lauge gelöst, was eine Reinigung von allen Schmutzpartikeln zur Folge hat. Danach wird es aufkonzentriert. Das Endprodukt ist danach genauso gut wie Metalle, die aus Erzen gewonnen werden.
- **Mechanische Aufbereitung:** Die Metallabfälle werden hierbei durch Zerkleinern und Separierung mit unterschiedlichen Trennmethoden von unerwünschten Bestandteilen getrennt.

Verwendung:

Die wichtigste und bekannteste Anwendung von Wolfram in der Vergangenheit war jene als **Glühwendel in Glühbirnen**. Wegen seines hohen Schmelzpunktes und der geringen Leitfähigkeit wird Wolfram weiterhin gerne als Elektrode in Gasentladungslampen und in Elektronenröhren verwendet.

Seine zweite große Bedeutung hat Wolfram als **Legierungsmetall in der Eisenmetallurgie**, wo es z.B. in Werkzeugstählen in Form von Wolframcarbiden die Sekundärhärte erhöht.

Aufgrund seiner hohen Dichte wird das Metall für **Ausgleichsgewichte** und zur **Abschirmung von Strahlung** verwendet sowie zur Herstellung **panzerbrechender Munition**. Letztere enthält einen Projektilkern aus Wolframcarbid anstelle des billigeren, aber radioaktiven und giftigen abgereicherten Urans. Im Zweiten Weltkrieg war Wolfram wichtig für den Bau der deutschen Panzergranate 40, welche einen Wolframkern besaß.

Weiters kommt Wolfram in **Turbinen von Jet-Triebwerken**, in der **(Neuro)Physiologie** und im **Sport** (Darts, Bogensport, Hammerwurf, Segeln, Tennis, Fliegenfischen, Autorennsport etc.) zum Einsatz, sei es zur Herstellung von Pfeilspitzen, Hammerköpfen oder um das Mindestgewicht von Formel-1-Wagen zu erreichen. **Schmuckproduktion** und Herstellung von **Instrumenten-Saiten** sind weitere Anwendungsgebiete.

Problematik/Knappheit/Forschung & Projekte:

Wolfram ist durch seine Knappheit und Endlichkeit zu einem **kritischen Rohstoff** erklärt worden, was die Versorgungssicherheit betrifft. Da wir Wolfram immer brauchen werden, wird auch jetzt schon nach Ersatz geforscht.

Umweltrelevanz:

Wolfram ist besonders wegen seiner hohen Dichte und hohen Härte unentbehrlich für die heutige Industrie, denn überall, wo man nur wenig Platz hat, kann man Wolfram anstelle eines weniger dichten Metalls benutzen. Wichtig ist auch, dass Wolfram **in keinster Weise umweltschädlich** ist und auch beim Abbau und danach entstehen normalerweise keine Schäden an unserer Erde.

Aus wirtschaftlicher Sicht:

Wolfram ist ein **sehr seltenes Metall**, das als Wolframit und Scheelit abgebaut wird. Drei Viertel der globalen Wolframvorräte entfallen auf nur drei Länder: China, Kanada und Kasachstan. Hauptproduzent ist China (85% der Weltproduktion), gefolgt von Russland (4%).



Wolfram besitzt den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle, daher ist es unverzichtbar in der **Raumfahrt, Energie- und Lichttechnik** und **Hightechindustrie**. Auch in der **Medizin** wird Wolfram als **Ersatz für Blei** zur Abschirmung von Strahlungen verwendet.

Durch Österreichs Wolframbergbau am Standort Mittersill in Salzburg und umfangreiche Möglichkeiten zum Recycling wolframhaltiger Sekundärrohstoffe am Standort St. Martin in der Steiermark, ist für die Spitzenbetriebe der Pulvermetallurgie die **Unabhängigkeit und Sicherheit der Rohstoffversorgung gegeben**, welche weltweit gefordert und geschätzt wird.

Permanente Forschung und Entwicklung an den Produkten, welche bis in den Nanobereich vordringen, garantieren hervorragende Qualität und das Potenzial für zukünftige Entwicklungen.

Über 400.000 Tonnen Erz werden in Mittersill pro Jahr abgebaut – allerdings enthält eine Tonne Erz nur etwa drei Kilogramm Wolfram. Das entspricht etwa 1200 Tonnen Wolfram jährlich.

In 35 Jahren wurden in Mittersill über zwölf Millionen Tonnen Erz abgebaut. In diesen Jahren wurden Reserven für die nächsten sieben bis acht Jahre sichergestellt.

11.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Die Firma „Wolfram Bergbau und Hütten AG“ in St. Martin im Sulmtal betreibt „Permanente Forschung und Entwicklung an den Produkten, welche bis in den Nanobereich vordringen, ...“⁵. Wolfram ist auch Forschungsgegenstand von Prof. Raith und KollegInnen am Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie der Montanuniversität Leoben.

11.4 Fazit

- Wolframvorräte werden auf 4,45 Mio. Tonnen geschätzt.
- Hauptproduzent ist China (85% der Weltproduktion), gefolgt von Russland (4 %). Auch Österreich ist - global gesehen - ein bedeutender Wolfram-Produzent (2 %).
- Anwendung entfällt auf die Legierungstechnik („Wolframstahl“) zur Herstellung von Hartmetallen auf Basis von Wolframcarbiden.

11.5 Interviewpartner

Univ. Prof. Dr. Johann G. Raith,

Professor an der Montanuniversität in Leoben, Lehrstuhl für Rohstoffmineralogie

Nähere Informationen: siehe Seite 43

11.6 Lernobjekte

- Quiz / Lösungen
- Video: Abbau und Aufbereitung von Wolfram in Österreich, von N24

⁵ WOLFRAM mining + refining, in: http://www.wolfram.at/wolfram_at/wDeutsch/unternehmen/index3223655460navidW261800000000.html?navid=1(dl.: 18.03.2014)



11.7 Quellen

- Vorlesungsskriptum zur Chemischen Technologie Anorganischer Stoffe II
- Schumacher, Marc: „Wertvolle Mineralien wiedergewinnen“. 02.07.2013, in: <http://www.visa-vis.de/2013/07/wertvolle-mineralien-wiedergewinnen/> (dl.: 11.03.2014)
- „Recycling & Umweltschutz“, in: http://www.hcstarck.com/de/nachhaltigkeit/recycling__umweltschutz.html (dl.: 11.03.2014)
- „WOLFRAM mining + refining“, in: http://www.wolfram.at/wolfram_at/wDeutsch/unternehmen/ (dl.: 11.03.2014)
- “Metall Informationen”, in: <http://metall-infos.de/metalle/wolfram.html> (dl.: 11.03.2014)
- Luca, Tim: „Wolfram: Ein Metall mit besonderen Eigenschaften - Teil 1“ 11.04.2013, in: <http://www.wallstreet-online.de/nachricht/6149699-rohstoffe-wolfram-metall-besonderen-eigenschaften-teil-1> (dl.: 11.03.2014)
- Wolfram-Bergbau Mittersill floriert, in: <http://sbgv1.orf.at/stories/514429> (dl.: 18.03.2014)



12. Reines Gold – Schmutzige Gewinnung

Objekt: Gold (Leadville, Colorado, USA)

Texterstellung: Elisabeth Mandl, Hannes Korb, Florian Steiner, Marius Netinger, LehrerInnenteam

12.1 Überblick

Die Verfügbarkeit von Gold stellt aufgrund von Recycling und immer neu entdeckten Lagerstätten kein Problem dar. Außerdem verwittert es nicht.

Alles Gold, das die Menschheit je gefördert hat, ergibt einen Würfel von in etwa 21 x 21 x 21 m Kantenlänge¹. Die größten Goldreserven der Welt liegen in Australien, Südafrika und Russland. Die größten Produzenten sind China, Australien und die Vereinigten Staaten.² Die größten Goldkonsumenten sind China und Indien. In Österreich gibt es keine nennenswerten Goldlagerstätten. Dennoch werden am Institut für Rohstoffmineralogie der Montanuniversität Leoben u.a. die spärlichen Goldvorkommen der österreichischen Alpen beforscht.³

Gold kommt auf der Erde vorwiegend als gediegenes Metall vor, in primären Rohstoffvorkommen als goldhaltiges Gestein (Erz) sowie in sekundären Vorkommen (z.B. Goldsande, Nuggets). Rein gewonnen wird es durch Amalgamierung und anschließendes Verdampfen des Quecksilbers sowie durch Cyanidlaugerei. Beide Prozesse haben den Nachteil, die Umwelt stark zu belasten. Umweltfreundlicher ist das Borax-Verfahren, wobei Natriumborat als schlackenbildendes Flussmittel eingesetzt wird. Gold wird auch recycelt.

Gold besitzt eine hohe elektrische Leitfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen die meisten Chemikalien. Außerdem ist es extrem dehnbar und kann zu sehr dünnen, durchscheinenden Folien ausgewalzt werden. Gold ist ein sehr reaktionsträges Element und als solches nicht giftig. Goldverbindungen können hingegen zu Schwermetallvergiftungen führen.

Der Goldpreis hat sich im Jänner 2014 bei etwa 40.650 USD/kg eingependelt.⁴

Die Staaten mit dem größten Goldbestand sind die USA, Deutschland und Frankreich.

Die wichtigsten Anwendungen liegen in den Bereichen Schmuck, Wertanlagen, Medizin und Elektronik. In der Elektroindustrie könnte man statt mit Gold mit Halbleitermetallen arbeiten.

12.2 Grundlagen

Gold ist ein **edles, weiches Metall** mit einer **charakteristischen Farbe**. Es zeichnet sich durch eine **sehr gute elektrische Leitfähigkeit** aus, rostet nicht, zeigt gegenüber Chemikalien eine **sehr gute Beständigkeit** (nur Chlorwasser oder Königswasser können Gold lösen), und lässt sich zu **extrem dünnen Platten bzw. Drähten** auseinanderziehen.

¹ „How much gold has been mined? The best estimates available suggest that the total volume of gold ever mined up to the end of 2012 was approximately 174,100 tonnes, of which around 60% has been mined since 1950.“, World Gold Council, in: http://www.gold.org/investment/why_and_how/faqs/#q022 (dl.: 27.01.2014)

² U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries 2012: Gold, S 66, in: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf> (dl.: 27.01.2014)

³ Univ.-Prof. Dr. phil. Johann Raith: Forschungsgebiete, in: http://institute.unileoben.ac.at/mineralogie/Johann_Raith_Website/Research.html (dl.: 21.1.2014)

⁴ Siehe Interview und <http://www.finanzen.net/rohstoffe/goldpreis/Chart> (dl.: 21.1.2014)



Gold besteht aus Atomen, die alle die **gleiche Anzahl an Protonen und Neutronen im Atomkern** aufweisen. Ebenso zeichnet es sich durch eine **besondere Elektronenkonfiguration** aus (d.h. eine Besonderheit bei der Anordnung der Elektronen in der Atomhülle). Gold kommt **in der Natur in gediegener Form** vor, und gehört somit zu den sogenannten Reinmetallen.

Zur **Gewinnung** von Gold sind **zwei Verfahren von Bedeutung**, die miteinander verbunden sind: die Amalgamierung und die Cyanidlaugerei.

- Bei der **Amalgamierung** wird goldhaltiges Gestein zermahlen und mit **Quecksilber** versetzt, wobei sich das Gold mit dem Quecksilber zu **Amalgam** verbindet. Das Amalgam wird auf eine Temperatur von 600°C erhitzt, wodurch das Quecksilber verdampft (Siedepunkt von Quecksilber bei 357,3°C) und reines Gold zurückbleibt. Durch dieses Verfahren können 2/3 des Goldes aus dem Gestein gelöst werden. Um auch das restliche Gold gewinnen zu können wird nun die Cyanidlaugerei angewendet.
- Bei der **Cyanidlaugerei** wird das Gestein, unter Zufuhr von Sauerstoff, mit einer **Natrium- oder Kaliumcyanidlösung** versetzt. Das Gold bildet eine **lösliche Cyanidverbindung**, aus der es durch **Versetzen mit Zink** elementar gewonnen werden kann.

Ein weiteres, umweltfreundlicheres Verfahren ist das **Borax-Verfahren**. Beim Schmelzen von unreinigtem Gold wird **Borax (Natriumborat, ein Mineral)** als **Flussmittel** zugesetzt. Die Viskosität und der Schmelzpunkt der Begleitstoffe (Oxide und Silikate) werden dadurch herabgesetzt und das Schmelzen kann bei geringeren Temperaturen (geringerer Energieverbrauch) erfolgen. In der Schmelzpfanne setzt sich das Gold am Boden ab und kann von dort entnommen werden.

Gold kann auch als Nebenprodukt bei anderen chemischen Verfahren gewonnen werden, etwa als **Nebenprodukt bei der Elektrolyse von Kupfer**.

Biologische Aspekte:

Gold ist grundsätzlich nicht giftig, reichern sich jedoch Gold-Ionen im Körper an, kann es zu einer Schwermetallvergiftung kommen. Auch für Menschen, die allergisch auf Gold reagieren, kann das Metall eine Gefahr darstellen.⁵

Bei der **Amalgamierung** verdampft das Quecksilber durch die Destillation bei 600°C. Werden die giftigen Dämpfe des Quecksilbers nicht zurückgewonnen, kommt es zur **Verseuchung der Abbaugebiete**. Vor allem einfache Goldschürfer erhitzen das Amalgam in Gefäßen durch Gasbrenner. Dadurch gelangt das Quecksilber in die Umwelt.

Während der **Cyanidlaugung** entstehen **Cyanidsalze** und **gasförmige, hochgiftige Blausäure**. Durch **Unfälle** oder **unsachgemäße Handhabung** können auch diese in die Umwelt gelangen. Durch Oxidation werden diese Stoffe rasch abgebaut.

Wirtschaftliche Aspekte:

Die größten **Goldvorkommen der Welt** liegen in **Südafrika, Australien, China, USA** und **Russland**. Diese Staaten sind zugleich auch die größten Goldexporteure.

⁵ Interview mit Dr. A. Kern bzw. Dr. V. Hammer (27.11.2013) sowie: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/AuAg.pdf>



Aber auch in **Österreich**, in den Alpen gibt es Gold. Heute sind diese Vorkommen nicht mehr abbaufähig, dafür gibt es Fundstellen von verarbeitetem Gold wie zum Beispiel die Goldscheiben von Stollhof in der Nähe von Wiener Neustadt oder das Hallstädter Gräberfeld.

Für sogenannte „**Goldgräber**“ gibt es noch die Möglichkeit, in Flüssen nach (Fluss-)Gold zu suchen.⁶

Die größten **Goldimporteure** sind die östlichen Länder wie China und vor allem Indien, da in diesen Staaten Gold einen hohen spirituellen Stellenwert hat und die Menschen dort sehr viel Gold horten und als Schmuck verschenken.⁷

Der **Goldpreis** stieg im September 2012 auf einen Wert von 1770 USD pro Unze, danach fiel er aber stark ab und hat sich Ende 2013 auf einen Wert von 1300 USD pro Unze eingependelt.⁸

Gold war eines der ersten Metalle, das der Mensch benutzt hat. Ursprünglich war Gold hauptsächlich als Schmuck in Verwendung, aber seit etwa 10 Jahren überwiegt die Funktion als Wertanlage. Darüber hinaus wird Gold auch in der Medizin und Elektroindustrie verwendet.

Ein wichtiger Punkt ist die **Gewinnung von Gold durch Recycling**. Gold kann auch aus den **Schlammern von Kläranlagen** gewonnen werden. In diesen finden sich zum Beispiel Schmuckreste und Amalgam (aus Zahnfüllungen).

12.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Am Institut für angewandte Physik der **Technischen Universität in Wien** wurde 2012 „**der feinste Goldstaub der Welt**“ erzeugt mit dem Zweck, **Katalysatoren** besser und billiger zu machen.

Katalysatoren werden von der Industrie benötigt, um Endprodukte kostengünstiger herzustellen. Es sind generell Stoffe, die chemische Reaktionen beschleunigen, ohne dabei selbst verbraucht zu werden.⁹

12.4 Fazit

- Gold wird als Währungsreserve in Tresoren gelagert, zu Schmuck verarbeitet und in der Medizin verwendet.
- Würde man das ganze Gold, welches die Menschheit jemals gefördert hat, zu einem Würfel zusammenfügen, hätte dieser eine Kantenlänge von nur etwa 21 Metern.
- Da Gold nicht verwittern kann und immer wieder neue Lagerstätten entdeckt werden, stellt die Endlichkeit von Gold kein Problem dar.

⁶ Interview mit Dr. A. Kern bzw. Dr. V. Hammer (27.11.2013), sowie: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/AuAg.pdf>

⁷ ebenda

⁸ ebenda

⁹ Parkinson, Gareth, Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Wien: Der feinste Goldstaub der Welt, in: http://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/7558/ bzw. Originalpublikation: <http://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevLett.108.216103> (dl.: 06.03.2014)



12.5 InterviewpartnerInnen



Direktor Dr. Anton Kern:
Naturhistorisches Museum, Wien

Beruflicher Werdegang:

- 1991 Eintritt in die Prähistorische Abteilung
- Seit 1992 Leitung der Ausgrabung und der Erforschung des Hallstätter Gräberfeldes
- Seit 1998 Vorstandsmitglied der Anthropologischen Gesellschaft in Wien
- Seit 2001 Direktor der Prähistorischen Abteilung des Naturhistorischen Museums
- Seit 2002 im Vorstand der Österreichischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte
- Seit 2005 Mitglied des Archäologischen Rates des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung
- Seit 2012 Vorstandsmitglied im Verein „Kuratorium Pfahlbauten“, Stellvertretender Vorsitzender der Österreichischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte



Dr. Vera M. F. Hammer
Naturhistorisches Museum, Wien

Beruflicher Werdegang:

- Von 1985 - 1988 Demonstratorin und Studienassistentin am Institut für Mineralogie und Kristallographie der Universität Wien.
- 1989 Assistentin am Institut für Petrologie, Universität Wien (Tätigkeitsfeld: RF-Analytik von Gesteinen des Waldviertels).
- 1989 - 1992: Technikerin an der BVFA-Arsenal, Wien (Tätigkeitsfeld: Nasschemische und Röntgenfluoreszenz-Analysen von Böden und Gesteinen, sowie verschiedenste Materialprüfungen).
- Seit 1992 Kuratorin in der Mineralien- und Edelsteinsammlung am Naturhistorischen Museum, Wien.
- Seit 2007 Leiterin der Mineralien- und Edelsteinsammlung, Leiterin des Staatlichen Edelsteininstitutes.

Tätigkeitsfeld:

XRD-Analytik, Optische Spektroskopie, zerstörungsfreie Bestimmungen an Edelsteinen und Kunstgegenständen, diverse Mineralbestimmungen, Gemmologie (u.a. Jade, organische Schmuckmaterialien wie Elfenbein, Nashorn, Perlen, Korallen; schwarze Edel- und Schmucksteine), Dokumentation der Geschichte der österreichischen Mineralogie, ...

12.6 Lernobjekte

- Kreuzworträtsel / Lösungen



12.7 Quellen

- Interview mit Dr. Anton Kern bzw. Dr. Vera M. F. Hammer, 27.11.2013

Webseiten:

- El Gasmi, Leila: Gold und Silber – Von der Lagerstätte bis zur Verwendung. Umweltgeochemisches Seminar. WS 2003/2004, in: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochem0304/AuAg.pdf> (dl.: 06.03.2014)
- Gold, Wikipedia, die freie Enzyklopädie, in: <http://de.wikipedia.org/wiki/Gold> (dl.: 06.03.2014)
- Goldgewinnung. www.edel-metalle.org, in: <http://www.edel-metalle.org/goldgewinnung.html> (dl.: 06.03.2014)
- Gold, in: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/79Gold.htm> (dl.: 06.03.2014)
- Frey, G.: Die Verhüttung von Blei, Zink, Kupfer, Silber, Gold, Platin und Quecksilber, in: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-92485-9_42 (dl.: 06.03.2014)
- Maydl, Stefan: Goldgewinnung als Ursache von chronischen Quecksilbervergiftungen in Mount Diwata, Mindanao, Philippinen - Eine Untersuchung an 314 Probanden. Dissertation, in: http://edoc.ub.uni-muenchen.de/3098/1/Maydl_Stefan.pdf (dl.: 10.04.2014)



13. Metalle der Platingruppe – Wertvoller als Gold?

Objekt: Nischne Tagilisk, ehemalige UdSSR, heute Russland

Texterstellung: Stefanie Vock, Nicole Schachinger, Philip Lanzerits, Oliver Jakovljevic, Alexander Schneider, LehrerInnenteam

13.1 Überblick

Nur ca. 200 Tonnen Platin und in etwa dieselbe Menge an Palladium werden zurzeit weltweit pro Jahr gefördert. Die Reserven der Platingruppenmetalle wurden 2011 mit 66.000 Tonnen angegeben.¹ Wegen der Monopolstellung Südafrikas werden sie dennoch als „kritische Rohstoffe“ eingestuft.

Der derzeitige Preis von Platin auf dem Weltmarkt beträgt etwa 45.700 USD/kg (Stand: Jänner 2014) und ist somit höher als der von Gold!²

Zu den Platingruppenelementen (PGE) gehören die Edelmetalle Platin, Iridium, Osmium, Palladium, Rhodium und Ruthenium. Diese Elemente kommen hauptsächlich in Südafrika und Russland vor und werden aufgrund ihrer besonderen chemischen Eigenschaften vor allem in Autokatalysatoren und Zukunftstechnologien wie z.B. Brennstoffzellen verwendet.³

Platin wird zum Großteil unterirdisch abgebaut, wobei viel Abfall-Gestein entsteht. Dessen Lagerung ist sehr platzaufwendig. Bei der Gewinnung wird Schwefel frei, welcher Umweltprobleme wie sauren Regen verursachen kann. Außerdem werden durch die erhöhte Nutzung Platingruppenmetalle in Pflanzen, Tieren und Menschen akkumuliert.

Platingruppenmetalle können aus Autokatalysatoren gut recycelt werden. Dies wird u.a. am Institut für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben beforscht.⁴ Allerdings wird die Recyclingquote in Österreich durch den Export von Altfahrzeugen verringert.⁵

13.2 Grundlagen

Platin ist ein **grauweißes, nicht sehr hartes, gut verformbares Schwermetall**. Es gehört zu der Gruppe der **Platingruppenelemente**, zu welchen unter anderem auch die Elemente **Palladium, Osmium, Iridium** sowie **Rhodium** gehören. Die Elemente sind in der 8., 9. und 10. Gruppe des Periodensystems zu finden.

Vorkommen:

Die Platingruppenmetalle gehören zu den **seltensten** und **wertvollsten Elementen der Erdkruste** und sind in ihrer natürlichen Form in nur wenigen Lagerstätten in geringen Konzentrationen vorhanden.

¹ U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries 2012: Platingruppenmetalle, S 121, in: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf> (dl.: 27.01.2014)

² finanzen.net: Platin, in: <http://www.finanzen.at/rohstoffe/platinpreis?rd=fn> (dl.: 27.01.2014)

³ Aus unserem Gespräch mit Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.mont. Frank Melcher (Institut für Geologie und Lagerstättenlehre, Montanuniversität Leoben), 27.11.2013

⁴ Antrekowitsch, Jürgen: Rückgewinnung von Platingruppenmetallen aus Katalysatoren. Institut für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben, in: http://www.nichteisenmetallurgie.at/index.php?article_id=40&pid=57 (dl.: 27.01.2014)

⁵ Rechberger, Helmut et al.: „Kritische Rohstoffe für die Hochtechnologieanwendung in Österreich. Gesamtwirtschaftliche Stoffflussanalysen ausgewählter kritischer Rohstoffe (AP 7)“. Endbericht - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien, in: http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_216991.pdf, S 113 (dl: 27.01.2014)



Die Metalle kommen aus den tieferen Regionen des Erdmantels, wurden von geschmolzenem Erdmantelgestein mitgenommen und stiegen in Form von entweder Mineralen, Nuggets oder in Lösungen auf.

Lagerstätten, die tatsächlich abbauwürdig sind, haben sich über Millionen Jahre gebildet, indem das Magma, das in die Erdkruste kam, langsam in Kammern kristallisierte. Gewisse schwerere Mineralien kristallisierten zuerst und sanken zum Boden der Kammer ab. Dabei wurden auch Platingruppenmetalle gebunden und abgelagert, in Gesteinsschichten, die in den besten Fällen eine Konzentration von 10 g Platin pro Tonne enthalten.

Platingruppenelemente werden in vielen **Bereichen der Technik, Wissenschaft und Medizin** verwendet. Dies ist dadurch zu begründen, dass sie über sehr charakteristische herausragende physikalische und chemische Eigenschaften verfügen.

Ein wichtiger Punkt ist die **sehr hohe Beständigkeit gegenüber Säuren**. Nur wenige Substanzen unter sehr speziellen Bedingungen können den Edelmetallen Schaden zufügen. Fluor, Brom und bei Erwärmen auch Salzsäure und rauchende Salpetersäure wirken besonders aggressiv gegen die Elemente.

Was die Platingruppenelemente auszeichnet, ist ihre **hohe Oxidationsbeständigkeit** sowie die **Fähigkeit Wasserstoff zu absorbieren** (v.a. Palladium und Platin), was ebenfalls zu vielen weiteren Besonderheiten führt. Schon sehr früh wurde dies, vor allem bei dem Element Platin, im Bereich der Katalyse genutzt.

Heute sind Platin, Rhodium sowie Palladium in den meisten **Abgaskatalysatoren** zur Abgasreinigung zu finden. Dies führte dazu, dass im Zeitraum von 1980 bis ins Jahr 2004 weltweit knapp 3000 Tonnen dieser Elemente zur Autoabgasreinigung eingesetzt wurden. Davon entfallen rund 1.400 t auf Pd, 1.250 t auf Pt und 280 t auf Rh.

Wichtig ist auch die Nutzung von **Platin** in der Medizin. In Form von **Carboplatin** wird es z.B. zur **Therapie bestimmter Krebserkrankungen** eingesetzt.

Die Nachfrage nach Platingruppenmetallen hat sich deshalb in den letzten 20 Jahren stürmisch entwickelt. Neue, effiziente Technologien z.B. in den Bereichen Automobil-, Energie- und der Chemischen Industrie werden auch **in Zukunft zu einem steigenden Bedarf an Platingruppenmetallen** führen.

Umweltaspekte:

Schwefelproblematik:

Platingruppenmetalle kommen in der Natur nicht nur gediegen vor, sondern auch in Verbindung mit **Schwefel**, was einige Probleme bei der Verarbeitung verursacht.

Schwefelverbindungen sind umweltschädlich (Luftverschmutzung durch Schwefeloxide, saurer Regen, Grundwasserversauerung und dergleichen), weshalb die Entsorgung bzw. ordnungsgemäße Deponierung von Schwefel die Produktion von Platingruppenmetallen verteuert.

Abfall-Gestein:

Ein weiterer negativer Aspekt betrifft den Abbau selbst. Da die Konzentration von Platin pro Tonne Gestein so gering ist, müssen kilometerlange Schächte gegraben werden, wobei eine große Menge Abfall-Gestein zurück bleibt. Dieses muss platzaufwendig in Hallen gelagert werden.



Verbreitung in der Umwelt:

Durch **Autokatalysatoren**, aus denen über ihre lange Lebenszeit laufend Feinstaub kommt, der wiederum zu einem kleinen Teil auch Platingruppenmetalle beinhaltet, wird eine große Menge von Platingruppenmetallen in die Umwelt freigesetzt. Die Auswirkungen auf Lebewesen sind dabei unterschiedlich:

- Bei **Pflanzen** ist es unklar, wie viel Platin, Rhodium und Palladium aufgenommen wird. Zwei Studien kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen:
In einer war der Unterschied an PGM-Konzentrationen in den Pflanzen auf kontaminiertem Boden zu den Kontrollpflanzen enorm, in der anderen war er nicht existent. Es ist unklar, ob es an den unterschiedlichen Pflanzen oder an dem unterschiedlichen Kontaminationsmaterial lag: Feinstaub aus einem Autobahntunnel bzw. Material vom Straßenrand. Dagegen bekam ein Feldversuch mit einer Platinsalzlösung auf zwei unterschiedlichen Böden relativ niedrige Werte über die Transferfaktoren für Platin.
- Mit **Aalen** wurde ebenfalls eine Studie gemacht, bei der eine **relativ geringe Anreicherung von Palladium in Niere und Leber** nachgewiesen wurde, nach vier Wochen in Wasser, dem Straßenstaub und Katalysatormaterial beigemischt worden war.
- In mehreren Studien zur Belastung von **Menschen** wurden sowohl in Haaren und Nägeln, als auch in Blutplasma und Urin von Erwachsenen und Kindern (wobei bei den Ersten der Belastungswert etwas höher war) **geringe Spuren von Platingruppenmetallen** gefunden. Der Palladiumgehalt war am höchsten, der Rhodiumgehalt am niedrigsten. Weibliche Testgruppen hatten einen höheren PGM-Gehalt in Haaren und Nägeln. Berufsgruppen, die Platin besonders ausgesetzt sind, also Menschen, die mit Altelektronikgeräten oder Autokatalysatoren zu tun hatten, hatten eine höhere Menge an Platingruppenmetallen im Blut. Diese allgemeine Belastung organischer Lebewesen ist allerdings komplett harmlos, da die Mengen noch weit von einer eventuellen Toxizität entfernt sind.

Wirtschaftliche Aspekte:

Platingruppenmetalle entstehen bei der **Nickel- und Kupferherstellung als Nebenprodukt**.

Es gibt derzeit **nur zwei große, ertragreiche Platinlagerstätten** und zwar in **Südafrika** und **Russland**. Die beiden größten Platinvorkommen befinden sich bei **Rustenburg (Südafrika)**. Die Firmen „Anglo American Platinum“ und „Impala Mining“ mit Sitz in Südafrika erzeugen etwa 80% der weltweiten Produktion an Platin.

Gemeinsam mit der russischen Firma Norilsk Nickel, die hauptsächlich Palladium fördert, haben sie auf dem Weltmarkt die Preise eigentlich völlig unter Kontrolle.

Mehrere kleinere Lagerstätten wurden in Simbabwe, Kolumbien, Kanada und den USA entdeckt, haben aber keinerlei Einfluss auf die Weltwirtschaft.

Das **einzigste Platinvorkommen Europas** befindet sich in **Finnland**, die Mengen sind aber zu gering, um ertragreich abgebaut zu werden. Um die Kosten möglichst niedrig zu halten, wird derzeit laufend nach neuen Lagerstätten gesucht.

In einer Tonne Gestein sind **durchschnittlich 4 mg Platin**⁶ enthalten. Das restliche Gestein ist Abfall und wird in großen Lagerhallen aufgeschüttet. Dadurch und durch die Tatsache, dass Platinvorkommen immer mit Schwefelverbindungen einhergehen, kann es zu großen Umweltproblemen kommen.

⁶Binder, Harry H.: Lexikon der chemischen Elemente. Das Periodensystem in Fakten, Zahlen und Daten. Stuttgart. Leipzig: S. Hirzel Verlag, 1999, S 462.



Der größte Teil der gewonnenen Metalle, etwa 42% des Platins, etwa 50% des Palladiums und sogar 86% des Rutheniums, wird für **Kfz-Abgaskatalysatoren** verwendet. Die katalytischen Eigenschaften der Platingruppenmetalle sind hier durch kein anderes Element ersetzbar.

Ein wesentlicher Anteil von 34% wird zur **Schmuckherstellung** benötigt und weitere 16% des gesamten Platins werden in **Brennstoffzellen** gebraucht, wo Platin nicht substituierbar ist. Auch in **elektronischen Geräten** ist Platin enthalten, in **Handys** sind es beispielsweise **etwa 8-10 mg**.

Die Platingruppenmetalle treten fast immer gemeinsam auf, häufig als Sulfide in Eisen-, Kupfer-, Nickel- und Chromerzen oder in Form von Platinseifen.

Die größten Reserven liegen in Südafrika (63.000 t), Russland (1.100 t), USA (900 t) und Kanada (310 t). Die Gesamtförderung weltweit beträgt derzeit ca. 200 t, davon entfallen auf Russland 82 t, auf Südafrika 72 t und auf Kanada 13 t. Man muss sich also keinerlei Sorgen machen, dass die Platinmetallvorräte in nächster Zeit erschöpft sein werden.

Obwohl Platingruppenmetalle geologisch selten auftreten, sind die Lagerstätten in Südafrika und Russland von enormem Ausmaß. Warum gelten die Metalle dennoch als kritische Rohstoffe?

Ausschlaggebend dafür ist die Monopolstellung der PME produzierenden Länder, die Korruption sowie die große Umweltproblematik.

Da Platin eines der seltensten Edelmetalle ist und sich auch die Gewinnung derart aufwendig gestaltet, ist sein materieller Wert entsprechend hoch. Ein Kilo Platin hat einen Wert von etwa 45.700 USD / kg (Stand: Jänner 2014). Häufig wird daher anstelle des Platins ein hoher Anteil des wesentlich günstigeren Palladiums verwendet, das dem Platin sehr ähnlich ist.

Zwischen 2003 und 2007 haben sich die Preise aufgrund der erhöhten Nachfrage deutlich erhöht, für Platin etwa verdoppelt und für Ruthenium gar fast verzwanzigfacht.²

13.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Platingruppenmetalle sind sehr wertvoll. Deshalb sind effiziente Recyclingmethoden von großem Interesse. Am **Institut für Nichteisenmetallurgie** der Montanuniversität Leoben wird erforscht, wie Platingruppenmetalle aus Katalysatoren zurückgewonnen werden können und das möglichst umweltschonend.

13.4 Fazit

- Derzeit verwendet man Platingruppenmetalle vor allem für Autokatalysatoren, wo sie aufgrund ihrer einzigartigen, katalytischen Eigenschaften essentiell sind und als Halbleiter in Elektronikgeräten.
- Platingruppenmetalle werden noch einige hundert Jahre verfügbar sein.
- Alternative Rohstoffe gibt es keine. Solange Bedarf nach Abgaskatalysatoren besteht, wird man Platingruppenmetalle nutzen müssen, und selbst Zukunftstechnologien für alternative Antriebe wie Brennstoffzellen funktionieren nicht zufriedenstellend ohne Platinmetalle.



13.5 Interviewpartner

Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.mont. Frank Melcher,
Institut für Geologie und Lagerstättenlehre, Montanuniversität Leoben



Univ.-Prof. Melcher hat den Lehrstuhl für Geologie und Lagerstättenlehre an der Montanuniversität Leoben inne.

An dieser Universität beendete er 1993 seine Dissertation und war dort auch als Assistent tätig, nachdem er ein Post-doc-Jahr am Minnesota Geological Survey verbrachte. 2000 erlangte er dort die Lehrfähigkeit, um in Hannover an der Bundesanstalt für Geologie bis zu seinem Transfer an die Montanuniversität im Bereich Lagerstätten für biologische Rohstoffe zu forschen.

13.6 Lernobjekte

- Lückentext / Lösung

13.7 Quellen

- Unser Interview mit Univ.Prof. Mag. Dr. Frank Melcher, 27.11.2013

Online zur Verfügung gestellte Quellen:

Webseiten:

- Maisenbacher Diamantengroßhandel GmbH: Die größten Platinvorkommen der Welt, in: <http://diamantportal.de/edelmetall-lexikon/die-groessten-platinvorkommen-der-welt> (dl.: 21.10.2013)
- ILG Industrielogistik GmbH: Platingruppenmetalle, in: <http://www.eurometall.net/index.php?s=0600> (dl.: 02.10.2013)

PDF-Dokumente:

- Rüdell, Heinz: „Verbleib von Platingruppenelementen in der Umwelt“. Literaturstudie und Ergebnisse von ersten Untersuchungen im Rahmen der Umweltprobenbank des Bundes. Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (Fraunhofer IME), Abteilung Umweltprobenbank und Elementanalytik, Schmallenberg, Januar 2004.
- Angerer, Gerhard et al.: „Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensive Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage“. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Fraunhofer Verlag, Karlsruhe, 2009
- Ehrenberger, Simone: Platingruppenelemente. 30.1.2004, in: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~dg21/geochemo304/PGE.pdf> (dl.: 09.01.2014)



14. Asteroidenbergbau – Unermessliche Schätze im All

Objekt: Eisenmeteorit

Texterstellung: Benedikt Bischof, Sarah Ferstl, Scharf Sten, Christian Wieser, LehrerInnenteam

14.1 Überblick

Seit März 2004 ist die Raumsonde Rosetta der ESA (European Space Agency) mit dem abenteuerlich anmutenden Ziel im All unterwegs, den Kometen Tschurjumow-Gerasimenko zunächst zu umrunden, zu kartographieren und schließlich – im Herbst 2014 – ein Landegerät abzusetzen, um seine Zusammensetzung zu analysieren. ForscherInnen des Instituts für Weltraumforschung der Akademie der Wissenschaften in Graz waren an der Entwicklung einiger Rosetta-Messgeräte und Instrumente beteiligt.

Unter „Asteroidenbergbau“ oder „Asteroid Mining“ versteht man Konzepte für Abbauverfahren von Rohstoffen im Weltraum. Asteroiden können hohe Konzentrationen wertvoller Metalle enthalten, manche bestehen ausschließlich aus Metall (z.B. Eisen und Nickel).

Beim Asteroidenbergbau geht es vor allem um den Abbau von Elementen der Platingruppe (Platin, Palladium, Rhodium, Iridium, Ruthenium und Osmium). Diese Elemente sind auf der Erde sehr selten, man findet sie meistens nur in der Nähe der Einschlagstellen von Meteoriten. Im Gestein von Asteroiden findet man sie mit einer 10.000 – 100.000 mal höheren Konzentration als in der Erdkruste.

Bislang erforschen nur wenige amerikanische Firmen die neue Technologie, zum Beispiel die NASA und die Firma Caterpillar. 2012 wurde die Firma Planetary Resources gegründet, die geeignete erdnahe Asteroiden aufspürt, um Rohstoffe abzubauen. Im Januar 2013 kündigte das US-Unternehmen Deep Space Industries erste Erkundungsmissionen für das Jahr 2015 an, und die NASA verfolgt mit dem Projekt „New Asteroid Initiative“ ähnliche Ziele. Bis 2019 soll ein kleiner und geeigneter Asteroid gefunden, eingefangen und in einen Mondorbit gebracht werden. Bis 2021 sind bemannte Landungen auf dem Asteroiden vorgesehen, um die Techniken und Technologien zu testen.

14.2 Grundlagen

Asteroiden werden aufgrund ihres unterschiedlichen Erscheinungsbildes bei der sogenannten **Spektralanalyse**, einer Analysenmethode, bei der das Absorptions- und Emissionsverhalten von Stoffen untersucht wird, in **verschiedene Typen** eingeteilt, wie z.B. die folgenden drei:

- **Asteroiden vom C-Typ** sind **dunkel, kohlenstoffreich** und haben **reiche Wasservorräte** (gebunden in tonartigen Mineralien). Diese Asteroiden haben **als Rohstofflieferanten** für die Nutzung auf der Erde **keine große wirtschaftliche Bedeutung**.
Bei einer **künftigen Expansion im Weltall** könnten diese Asteroiden aber eine sehr wichtige Rolle spielen. Die Wasservorräte wären für die bemannte Raumfahrt eine lebensnotwendige Ressource. Aus dem Wasser ließen sich durch Elektrolyse Wasserstoff- und Sauerstoffgas herstellen. Die Möglichkeit, diese Raketentreibstoffe im Weltall herzustellen, wäre für ein weiteres Vordringen im Weltall von unschätzbarem Wert.
C-Typ-Asteroiden enthalten darüber hinaus aber auch viele organische Kohlenstoff-Verbindungen, Phosphor und andere, für die Produktion von Nahrungsmitteln wichtige Elemente.



- **S-Typ-Asteroiden** („S“ steht für Silikate) sind **etwas heller** als jene vom C-Typ und weisen eine **steinige Zusammensetzung** auf. Sie enthalten Mineralien aus der Pyroxengruppe, Olivingruppe und auch Spinell oder Chromit.
Diese Asteroiden sind **aufgrund ihres Metallgehaltes wirtschaftlich interessant**. Sie enthalten beträchtliche **Mengen Eisen, Nickel und Cobalt**, aber auch **nennenswerte Mengen Gold, Platin und Rhodium**.
Ein durchschnittlicher Asteroid dieses Typs enthält ungefähr eine Milliarde Tonnen Eisen.
- **Asteroiden der M-Klasse** sind **metallisch** und zeichnen sich durch einen **noch sehr viel höheren Metallgehalt** aus.
- **E-Asteroiden** („E“ steht für das Mineral Enstatit) lassen auf Mineralien wie Enstatit, Fosterit und Pyroxene schließen. **V-Asteroiden** („V“ steht für Vesta¹) weisen auch abbauwürdige Vorkommen auf.

Chondrite sind Meteoriten, die meist **bis zu 20% aus Metallen** bestehen. Auch auf **Monden** gibt es natürliche Ressourcen. Aus ihnen könnten **Erze** gewonnen werden. Der Erdmond enthält Titan, Helium und KREEP², ein magmatisches Gestein.

Trotz der hohen Kosten für die noch notwendigen technischen Entwicklungen, die Exploration und den großen Aufwand beim Abbau dieser Rohstoffe könnte sich der Bergbau auf Asteroiden lohnen. Dafür sprechen nicht nur die **gewaltigen Rohstoffmengen** von zum Teil hochpreisigen Metallen, sondern auch die **Art der Vorkommen**. Auf Asteroiden liegen diese Rohstoffe in einer ungleich höheren Konzentration vor als in der Erdkruste, sie sind direkt von der Asteroidenoberfläche aus zugänglich (keine Grabungen notwendig) und durch das Fehlen einer oxidierend wirkenden Umgebung liegen diese Metalle **gediegen** vor, d.h. sie müssen nicht mehr aufwändig reduziert werden.

Für 2016 ist der Start der **NASA Sonde OSIRIS-Rex** geplant. Die Sonde soll Kontakt mit dem **Asteroid Bennu** aufnehmen, 2018 sollen Spektralanalysen durchgeführt und Proben genommen werden, mit dem Ziel, mehr über den **Ursprung des Lebens** herauszufinden (durch Analyse der organischen C-Verbindungen).

Gemäß einem Artikel in Focus Online³ beinhalten Asteroiden „gewaltige Mengen wertvoller Edelmetalle“, demnach ...

- lagert z.B. auf **Eros** Platin im Wert von 454 Billionen Euro, Rhodium für 46 Billionen Euro und Gold, das 32 Billionen Dollar kosten würde – jedenfalls nach Berechnungen des Geologen Jeffrey Kargel von der University of Arizona,
- werden auf **Psyche** 13 000 Kubikkilometer Nickel und 470 Kubikkilometer Kupfer vermutet,
- enthält der Himmelskörper **FE90** schätzungsweise gut 41 Tonnen Gold (880 Mio. Euro), 215 Tonnen Palladium (4 Mrd. Euro) und 1,7 Mio. Tonnen Nickel (29 Mrd. Euro).

¹ nach „Vesta“: zweitgrößter Asteroid und drittgrößter Himmelskörper im Asteroiden-Hauptgürtel

² **Kalium Rare Earth Elements** (Seltenerdmetalle) und Phosphor

³ Bergbau im Weltall. Welche Schätze lagern auf Asteroiden? Focus Online, in: http://www.focus.de/panorama/welt/best-of-playboy/menschen-und-stories/tid-22549/bergbau-im-weltall-welche-schaetze-lagern-auf-asteroiden_aid_633680.html (dl.: 26.2.1014)



14.3 Forschungstätigkeit in Österreich

2001 landete erstmals eine Raumsonde (NEAR Shoemaker) der NASA⁴ auf dem Asteroiden Eros. Im November 2014 soll die **Raumsonde Rosetta** der ESA⁵ auf dem **Kometen Tschurjumow-Gerasimenko** landen. Die Rosetta wurde in Friedrichshafen gebaut und startete im März 2004 vom Weltraumzentrum Kourou in Französisch-Guayana. Die Sonde soll den Kometen über längere Zeit hinweg untersuchen, denn man glaubt, dass Kometen noch aus dem unveränderten Material bestehen, aus dem sich die Sonne und unsere Planeten gebildet haben.

Die Raumsonde war aus Energiespargründen fast drei Jahre im Tiefschlaf gehalten worden. **Wolfgang Baumjohann**, der **Leiter des Instituts für Weltraumforschung der Akademie der Wissenschaften** in Graz, befürchtet, es könnte wegen der langen Pause der Sonde noch zu technischen Problemen kommen.

An der Entwicklung von Instrumenten und Messgeräten an Bord der Raumsonde, wie zum Beispiel dem kleinen, kompakten **Rasterkraftmikroskop**, namens **MIDAS**, mit dessen Hilfe die Struktur des Kometenstaubs näher untersucht werden soll, waren und an der Auswertung der Messdaten werden auch österreichische Forschungsinstitute und Firmen (Joanneum Research, Graz; Austrian Aerospace, Wien; Austrian Research Centers Seibersdorf etc.) beteiligt sein.

14.4 Fazit

- Asteroidenbergbau ist extrem kostspielig und es wird wahrscheinlich noch viele Jahre dauern, bis er vollführt werden kann. Bislang entwickeln vor allem **amerikanische Firmen** Konzepte für Abbauverfahren von Rohstoffen (Elementen der Platingruppe, Seltene Erden etc.) im Welt- raum.
- In ferner Zukunft könnte diese Art des „Bergbaus“ aus mehreren Gründen wirtschaftlich werden: aufgrund der **enormen Konzentration hochpreisiger Metalle** in Asteroiden, der einfachen **Zu- gänglichkeit der Rohstoffe** von der Asteroidenoberfläche aus, dem Vorkommen der Metalle als Elemente, **Rohstoffknappheit** auf der Erde etc.

14.5 Interviewpartner

GDir. Univ.-Prof. Dr. Christian Köberl,

Geochemiker, Universitätsprofessor für Impaktforschung und planetare Geologie an der Universität Wien sowie Generaldirektor und wissenschaftlicher Geschäftsführer des Naturhistorischen Museums Wien⁶



1978 begann er sein Studium Technische Chemie und Lehramt Physik an der Technischen Universität Wien. Ab 1980 studierte er zusätzlich Astronomie an der Universität Wien. 1981 arbeitete er an einer Dissertation auf dem Gebiet der Kosmochemie an der Universität Graz.

Die Promotion zum Doktor der Philosophie (Hauptfach: Astronomie, Nebenfach: Chemie) erfolgte am 27. Mai 1983. Im Oktober 1985 wurde er zum Universitätsassistenten an der Universität Wien ernannt, außerdem ist er auch Lehrbeauftragter an der Universität für angewandte Kunst Wien.

⁴ NASA: „National Aeronautics and Space Administration“ (Nationale Luft- und Raumfahrtbehörde der USA)

⁵ ESA: European Space Agency (Europäische Weltraumorganisation)

⁶ Bildquelle: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Christian_koeberl_2010.jpg (dl.: 25.03.2014)



1990 wurde er zum unbefristeten Universitätsdozenten an der Universität Wien ernannt. Er war weiters auch Gastwissenschaftler bei der NASA in Houston, USA. Es folgten weitere Forschungsaufenthalte in den USA und Gastprofessuren in Südafrika und USA.

Seit Jänner 2008 ist er stellvertretender Leiter des Geowissenschaftlichen Zentrums der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und Mitglied der Kommission für Astronomie. 2008 wurde er zum Universitätsprofessor für Impaktforschung und planetare Geologie an der Universität Wien ernannt. Seit 2009 lehrt Köberl nicht mehr.

Christian Köberl ist seit Juni 2010 Generaldirektor und wissenschaftlicher Geschäftsführer des Naturhistorischen Museums Wien.

Seine Forschungstätigkeiten umfassen die Untersuchung von Meteoritenkratern auf der Erde und anderen Körpern des Sonnensystems, frühe Prozesse auf der Erde, planetare Geologie oder Planetologie, Isotopengeochemie, Geochronologie, Massensterben und Evolution, Tektite, Meteoritenforschung und ähnliche Gebiete.

14.6 Lernobjekte

- Quiz: 9 Fragen und Antworten
- Online-Wortgitter
- Online-Hangman / Lösungen

14.7 Quellen

- Unser Interview mit GDir. Univ.Prof. Dr. Christian Köberl, 21.11.2013

Webseiten:

- Duncan Geere: Making space exploration pay with asteroid mining. 15.07.2010, in: <http://www.wired.co.uk/news/archive/2010-07/15/asteroid-mining> (dl.: 14.12.2013)
- Gold rush in space?, in: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/sci/tech/401227.stm> (dl.: 14.12.2013)
- „Rosetta“ erwacht, um einen Kometen anzusteuern. 31.12.2013, in: <http://derstandard.at/1385172241437/Rosetta-erwacht-um-einen-Kometen-anzusteuern> (23.3.2014)
- Planetary resources, in: <http://www.planetaryresources.com/> (dl.: 27.03.2014)
- Grazer Institut für Weltraumforschung (IWF), in: <http://www.iwf.oeaw.ac.at/> bzw. <http://www.iwf.oeaw.ac.at/de/forschung/sonnensystem/kometenasteroiden/rosetta/> (dl.: 27.03.2014)

Filme:

- Planetary Resources Webcast, in: <https://www.youtube.com/watch?v=toc9oZh4vTo#t=478>
- The upcoming Asteroid Mining Industry – Spacevidcast Live 6.02, in: <https://www.youtube.com/watch?v=zOs8kUvs4LM>



15. Stadtbergbau - Schätze rund um uns

Objekt: Autowrack

Texterstellung: Katrin Kappel, Katharina Gleißner, Viktoria Labuz, Antonia Maetz, Stephanie Scharrach, LehrerInnen-team

15.1 Überblick

In einem Handy sind bis zu 35 Metalle enthalten. Laut M. Krammer, Geschäftsführer des Mobilfunkbetreibers Orange, ließe sich „aus den elf Millionen Handys, die in Österreich ungebraucht in Schubladen herumliegen, Gold im Wert von zehn Millionen Euro extrahieren“.¹ Derzeit werden nur etwa 13% des Elektronikmülls richtig verwertet und recycelt.

Ballungsräume bieten aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte und kurzen Transportwege optimale Voraussetzungen für Sammel- und Recyclingprozesse.

Aus Elektronikgeräten, Autos, Mülldeponien oder Abbruchhäusern können wichtige Rohstoffe zurückgewonnen werden. Dazu gehören u. a. die Seltenen Erden.²

Neben den eher kurzfristig anfallenden Abfallstoffen (Verpackungen, Elektrogeräte) stellen für den Stadtbergbau Gebäude und Abfalldeponien eine bedeutende Rohstoffquelle dar. Nach H. Daxbeck sind beispielsweise in einer heutigen 100 m²-Wohnung rund 7.500 kg Metalle verarbeitet, was in etwa dem Gewicht von ca. 7 PKWs entspricht.³

Um die Möglichkeiten der Verwertung städtischer Rohstoffquellen zu erforschen, wurde 2012 an der TU-Wien ein eigenes Labor eingerichtet. Denn für eine wirtschaftliche Nutzung von Altstoffen muss deren genaue Zusammensetzung bekannt sein.

Damit sich der technische Aufwand und der Energiebedarf beim Recycling in Grenzen hält, sollte schon beim Design von Produkten darauf geachtet werden, dass wertvolle Rohstoffe leicht wieder zurückgewonnen werden können.

15.2 Grundlagen

In der Vergangenheit hat sich die Menschheit weitgehend von **Primärrohstoffen** versorgt. Das heißt, man hat die Rohstoffe aus der Erde bzw. von der Erdoberfläche gewonnen, diese dann aufbereitet und daraus die unterschiedlichen Produkte hergestellt. Daraus folgt, dass diese Rohstoffe in den **bestehenden Gebäuden, historischen Siedlungsschichten, Altstoffdeponien** sowie den unterschiedlichen **Gebrauchsgegenständen** gespeichert sind.

Um diese Arten von Rohstofflager effektiv nutzen zu können, muss natürlich zunächst bekannt sein, **wo, in welcher Menge und in welcher Qualität die jeweiligen Rohstoffe** enthalten sind. – Hierbei spielt die **Materialstromforschung** eine entscheidende Rolle.

¹ Fischer, Uwe; Tanzer, Andreas: „Recycling: Die Goldmine um null Euro“. Die Presse, Print-Ausgabe, 18.03.2011, in: http://diepresse.com/home/techscience/hightech/642699/Recycling_Die-Goldmine-um-null-Euro?from=suche.intern.portal (dl.: 28.01.2014)

² Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 2014: „Urban Mining - Die Stadt als ewige Rohstoffquelle“, in: http://www.bmvit.gv.at/innovation/energie_umwelt/urban_mining.html (dl.: 10.1.2014)

³ Daxbeck, Hans et al.: Urban Mining. „Die Stadt – das Bergwerk der Zukunft?“. Geologie – die Welt unter uns. Nr. 73 / 2009, S 29, in: http://www.geologie-ist-alles.at/PDFs_Raum/RAUM7309_Thema_Art3.pdf (dl.: 28.01.2014)



Die Herausforderung bei der Gewinnung von **Sekundärrohstoffen** besteht jedoch darin, die Stoffgemische wieder zu trennen, sodass **sortenreine Materialien** zur Verfügung stehen. Es ist immer leichter, etwas zu vermischen als es anschließend wieder zu trennen.

Besonders schwierig ist das Recycling daher bei sogenannten **Verbundstoffen**, oder bei **Elementen, die nur in sehr geringen Konzentrationen** verwendet werden, wie es etwa bei den sogenannten Seltenen Erden der Fall ist. So ist beispielsweise das **Verkleben von Stoffen eine Sünde im Hinblick auf ein späteres Recycling**, da diese Klebeverbindungen sich nur sehr schwer wieder auftrennen lassen.

Beim **Bau von Gebäuden** bzw. bei der **Herstellung von Produkten** kann von Anfang an viel dazu beigetragen werden, wie Wertstoffe letztendlich mit vertretbarem Aufwand wiederzugewinnen wären. Beim sogenannten „**Design for Recycling**“ müssen sich Hersteller schon im Vorhinein gut überlegen, wie Produkte am Ende wieder zerlegt werden können.

Bei der **Rückgewinnung kritischer Rohstoffe** kommen **verschiedene Verfahren** zum Einsatz. Die meisten davon sind **metallurgische Verfahren**, das heißt, die Materialien werden mit sehr viel Energie aufgeschmolzen. Anschließend können beispielsweise mithilfe von **Chemikalien** (z.B. Säuren) oder durch **Elektrolyse**, die reinen Stoffe gewonnen werden.

Für das sog. „**urban mining**“ („**Stadtbergbau**“) kommen insbesondere die folgenden **Rohstoffquellen** bzw. Stoffe in Frage:

- **Abbruchhäuser:** Gewinnung von Stahl und anderen Metallen, Holz, Baustoffe, Glas, etc. Wichtig ist hier allerdings eine möglichst sortenreine Trennung vor Ort.
- **Elektroschrott:** Gewinnung von Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Seltene Erden, etc.
- **Autowracks:** Gewinnung von Stahl u.a.
- **Verpackungsmaterialien:** Gewinnung von Glas, Metallen (z.B. Alu, Zinn), Kunststoffe

Als mögliche weitere Quellen für kritische Rohstoffe gelten beispielsweise die **Filteraschen von Müllverbrennungsanlagen** oder der **Faulschlamm von Kläranlagen**, wobei sich die Belastung mit Schadstoffen als problematisch erweist.

Stadtbergbau wird heutzutage noch relativ selten betrieben, da Primärrohstoffe zurzeit noch relativ „günstig“ zu erhalten sind und das Prinzip des Stadtbergbaus noch nicht ausgereift ist. Aus wirtschaftlicher Sicht ist es wichtig, dass die Kosten, die für Urban Mining aufgewendet werden, unter den Erlösen liegen; d.h. es muss dabei verdient werden. Zu berücksichtigen ist u.a., dass bei einem Abriss mehr Kosten auftreten, wenn Schadstoffe vorliegen, da deren Entsorgung schwierig und sehr teuer ist.

In vergangenen Zeiten wurden Produkte am Ende ihrer Verwendung einfach deponiert. Die Endlichkeit der Rohstoffe war kein Thema. Heute ist ein Produkt am Ende seiner Verwendung nicht nur Abfall, sondern es dient als Rohstofflieferant.

Für die Zukunft wird schon bei der Konzeption eines Produktes überlegt, wie man es im Nachhinein am besten recyceln kann. Mittels „**Öko-Design**“ von Produkten sollen Umweltbelastungen systematisch und umfassend über den gesamten Lebensweg verringert werden. Im Idealfall soll kein Abfall mehr entstehen.



15.3 Forschungstätigkeit in Österreich

Zum Thema Stadtbergbau wird an mehreren Forschungseinrichtungen gearbeitet. Beispielhaft erwähnt werden soll an dieser Stelle die **Montanuniversität in Leoben**, wo es einen eigenen Studienlehrgang zu dieser Thematik gibt sowie die **Technische Universität Wien**. Dort werden im Christian Doppler Labor für anthropogene Rohstoffe unter anderem Materialflussanalysen für ausgewählte Rohstoffe durchgeführt. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Rechberger und sein Team forschen im Bereich Abfallwirtschaft an Urban Mining.

Das Wirtschaftsministerium selbst betreibt zwar keine Forschungstätigkeit, fördert diese aber und gestaltet die rechtlichen Rahmenbedingungen.

15.4 Fazit

- Die österreichische Forschungstätigkeit ist gut organisiert und unterstützt den Stadtbergbau intensiv.
- Schadstoffe müssen aus den Produkten extrahiert werden, sodass brauchbare sekundäre Rohstoffe entstehen.
- Die Kosten für Stadtbergbau müssen unter den Erlösen liegen. Dann ist Stadtbergbau die optimale Ergänzung zu Recycling.

15.5 Interviewpartner

Mag. Dr. Robert Holnsteiner,
Bundesministerium für Familien und Jugend



Christian Reichl (Links),
Robert Holnsteiner

Dr. Holnsteiner ist für die Roh- und Grundstoffpolitik im Bundesministerium für Familien und Jugend verantwortlich.

Seine Tätigkeitsfelder umfassen im Bundesministerium die Gestaltung von rechtlichen Rahmenbedingungen und Förderung von Forschung. Ebenso ist er für Bergbauinformationssystem, Bergbaukartenwerk und Umweltinformation verantwortlich.

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Rechberger,
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien

Nähere Informationen: siehe Seite 48

15.6 Lernobjekte

- Online-Kreuzworträtsel
- Wortgitter / Lösung



15.7 Quellen

Selbständig erschienene Werke (Monographien):

- Kiefhaber, Peter: „Vom Goldschürfen in der Stadt“, in Sammelband (Schneider, Manuell (Hrsg.): Rohstoffquelle Abfall. Wie aus Müll Produkte von morgen werden. oekomVerlag. München, 2012), S 78

Online zur Verfügung gestellte Quellen:

PDF-Dokumente:

- Oberösterreichische Zukunftsakademie: Urban Mining – Rohstoffgewinnung der Zukunft, 2013, in: http://www.ooe-zukunftsakademie.at/UrbanMining_Standpunkt_Flyer.pdf (dl.: 10.12.2013)

Webseiten:

- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: „Urban Mining – Die Stadt als ewige Rohstoffquelle“, in: http://www.bmvit.gv.at/innovation/energie_umwelt/urban_mining.html (dl.: 11.12.2013)
- AltmittelKranter: Urban Mining, Facts & Figures, in: <http://www.urbanmining.at/facts-figures> (dl.: 11.12.2013)
- ChemgaPedia; Online-Enzyklopädie: Elektrolyse (Fachgebiet-Elektrochemie), in: <http://www.chemgapedia.de/vsengine/glossary/de/elektrolyse.glos.html> (dl.: 11.12.2013)



Die in der Broschüre angeführten Lernobjekte sind über folgenden Link abrufbar:

<http://www.astgasse.net/projekte/rohstoffe-endlichkeit>

Impressum:



Medieninhaber

Goethe-Gymnasium Wien (GRG XIV)

Sitz

1140 Wien, Astgasse 3

Vertreten durch

Mag. Dr. Hubert Kopeszki, Direktor

Redaktion

Mag. Dr. Hubert Kopeszki, Direktor

OStR. Dr. Elisabeth Kulnigg (Projektleitung-Goethe-Gymnasium)

LehrerInnen und SchülerInnen des Projektteams „Rio92+“ am Goethe-Gymnasium

Erklärung über die grundlegende Richtung

Dieser Bericht wurde von SchülerInnen unter Anleitung/Mitarbeit der ProjektlehrerInnen erstellt und informiert über den Verlauf und die Ergebnisse des Young Science-Schulprojektes „Rohstoffe und ihre Endlichkeit - The Future We Want“ des Goethe-Gymnasiums.

Urheberrechtliche Bestimmungen

Vervielfältigungen (Abspeichern, Ausdrucken, Versenden und dgl.) von Informationen, die in diesem Bericht enthalten sind, sind nur zum eigenen oder schulischen Gebrauch zulässig.

Haftung für Inhalte

Die Beiträge dieses Berichts geben teilweise die persönliche Meinung der jeweiligen AutorInnen wieder - das Goethe-Gymnasium ist dafür nicht verantwortlich, sofern es von einer rechtswidrigen Tätigkeit oder Information keine tatsächliche Kenntnis hat und sich in Bezug auf Schadenersatzansprüche auch keiner Tatsachen oder Umstände bewusst ist, aus denen eine rechtswidrige Tätigkeit oder Information offensichtlich wird.

SchülerInnenprojekt zum Themenkreis „Rohstoff- bzw. Ressourcenverknappung“

Ergänzende BesucherInnen- / LehrerInneninformation
Wien, im April 2014



ExpertInnenteam des Goethe-Gymnasiums vor dem Naturhistorischen Museum Wien



Dieses Projekt wurde vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (ehemaliges BMWF) im Rahmen der Young-Science Initiative „Gemeinsam für nachhaltige Entwicklung – The Future We Want“ initiiert und gefördert, für den Inhalt ist ausschließlich das Goethe-Gymnasium verantwortlich!