



Umweltbildung im Schülerlabor NatLab (FU Berlin)

Abschlussbericht

Die nachhaltige Nutzung der Seltenen Erden und der Edelmetalle Silber, Gold und Platin

Strategische Metalle der Zukunft

Az 31156

Institution	Freie Universität Berlin Kaiserswerther Str. 16-18 14195 Berlin
AG-Leitung	Prof. Dr. Petra Skiebe-Corrette Schülerlabor NatLab Freie Universität Berlin - Fachbereich BCP Fabeckstr. 34-36 14195 Berlin E-Mail: petra.skiebe@fu-berlin.de
1. Projektbeschäftigte	Dr. Katharina Kuse Schülerlabor NatLab Tel.: (030) 838-72896 / -59858 E-Mail: katharina.kuse@fu-berlin.de
2. Projektbeschäftigte und Verfasserin	Ulrike Henriette Jeggle Schülerlabor NatLab Tel.: (030) 838-59858 E-Mail: ulrike.jeggle@fu-berlin.de

Berlin, März 2018

1 Inhalt

2	Zusammenfassung	4
3	Einleitung	6
3.1	Anlass und Ziel des Projektvorhabens.....	6
3.2	Vorgehensweise	6
4	Die chemischen Experimente	9
4.1	Herstellung eines Glühstrumpfes.....	9
4.2	Festkörpersynthese eines YBCO Supraleiters (HTS-Supraleiters)	11
4.3	Rückgewinnung von Neodym aus einem Handy.....	12
4.4	Synthese eines fälschungssicheren Fluoreszenzfarbstoffs	13
4.5	Cerimetrie – Redoxtitration	14
5	Flipped Classroom.....	16
5.1	Inverted / Flipped Classroom	16
5.2	Check-In – Vorbereitung des Laborbesuchs.....	18
5.3	Nachbereitung.....	21
5.4	Geschütztes Angebot für Lehrkräfte	24
6	Kursangebote.....	26
6.1	Breitenförderung.....	26
6.2	Interessiertenförderung.....	27
7	Fortbildung von Lehrkräften.....	29
8	Öffentlichkeitsarbeit.....	31
8.1	Lange Nacht der Wissenschaften	31
8.2	Arbeitsfrühstück bei Nordostchemie 2014	31
8.3	Woche der Umwelt 2016	32
8.4	GDCh-Wissenschaftsforum Chemie 2017	32
8.5	Veröffentlichungen.....	33
9	Poster Veröffentlichungen auf Tagungen	39
10	Evaluationen	44
10.1	Evaluation durch SuS.....	44
10.2	Evaluation durch Lehrkräfte	47
11	Sachmittel	48
12	Förderung	49
13	Ausblick: Kooperationen.....	50
14	Anhang: Schülerskripte und Arbeitsbögen.....	51

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Experimentierzyklus <i>Seltene Erden</i>	5
Abb. 2: Kurs-Webseite <i>Seltene Erden</i> 2015	7
Abb. 3: Glühstrümpfe in traditionellen Gaslaternen in Berlin	9
Abb. 4: Herstellung eines Glühstrumpfs	10
Abb. 5: Licht spendender Glühstrumpf	10
Abb. 6: Mörsern der Substanzmischung zur Herstellung des YBCO Supraleiters.....	11
Abb. 7: Demonstration des Meißner-Ochsenfeld-Effekts / Skizze der Magnetbahn	12
Abb. 8: Mobiltelefon und Schraubwerkzeug / Zerlegen des Handys / Isolierte Lautsprecher und Magnete.....	12
Abb. 9: Einzelne Stufen der Rückgewinnung von Neodym aus einem Handylautsprecher	13
Abb. 10: Zutropfen des Acetylacetons zu Eu^{3+} -Lösung / Fluoreszenzfarbstoff unter der UV-Lampe	14
Abb. 11: Die Reaktionsschritte der Cerimetrie	15
Abb. 12: Quantitative Bestimmung des Analyten.....	15
Abb. 13: Startseite Schülerlabor NatLab – www.natlab.de	16
Abb. 14: Startseite eNatLab	17
Abb. 15: Startseite <i>Seltene Erden</i>	17
Abb. 16: Startseite Check-In.....	18
Abb. 17: Online-Lückentext Laborregeln	18
Abb. 18: Memory Laborutensilien	19
Abb. 19: Dialogkarten Glasgeräte	19
Abb. 20: SimpleChemics-Video	20
Abb. 21: Startseite Zusatzmaterial zur Nachbereitung.....	21
Abb. 22: Kreuzworträtsel zu den Experimenten – Bsp. Glühstrumpf.....	21
Abb. 23: Flussdiagramme zu den Experimenten – Bsp. Handy	22
Abb. 24: Startseite Screencast zur Geographie und Geologie der Seltenen Erden.....	23
Abb. 25: Veranschaulichung Umweltbelastung.....	23
Abb. 26: Startseite Lehrkräfte.....	24
Abb. 27: Video Einführungsvortrag.....	24
Abb. 28: Linksammlung.....	25
Abb. 29: Kursbeschreibung auf der FU-Webseite zum Girls´Day 2018	26
Abb. 30: Einladungs-Flyer für die Osterferien-Kurse 2016	27
Abb. 31: Kursbeschreibung auf der Sommeruni-Webseite 2017	28
Abb. 32: Kursbeschreibung im Abstract zu den Workshops des MNU Kongresses	29
Abb. 33: Versuchs-Präsentation für Lehrkräfte im MDC 2015	30
Abb. 34: Quizrad bei der Langen Nacht der Wissenschaften 2017	31
Abb. 35: Beschreibung des Seltene Erden-Kurses bei MINT400, MINT-EC Dokumentation 2015.....	34

Abb. 36: Best-Practice-Beispiel in LeLa Broschüre MINT-Nachhaltigkeitsbildung in Schülerlaboren	35
Abb. 37: Poster <i>Neuer Experimentierzyklus Seltene Erden</i>	39
Abb. 38: Poster <i>Chemischer Experimentierzyklus Seltene Erden</i>	40
Abb. 39: Poster <i>Wiedergewinnung der Seltenen Erde Neodym aus einem Handy</i>	41
Abb. 40: Prämiertes Poster <i>Seltene Erden - Chemieexperimente und BNE im Schülerlabor</i>	42
Abb. 41: Poster <i>Seltene Erden – BNE in Schülerlabor und Flipped Classroom</i>	43
Abb. 42: Verteilung der TN auf Schultypen.....	44
Abb. 43: Allgemeine Bewertung des Workshops durch SuS.....	45
Abb. 44: Bewertung der Experimente durch SuS	45
Abb. 46: Bewertung der Gestaltung des Workshops durch SuS.....	46
Abb. 47: Bewertung des Erkenntniszuwachs' zu den SE.....	47
Abb. 48: Bewertung der Gestaltung des Workshops durch Lehrkräfte.....	47
Abb. 49: plickers-Abfrage zum Online-Lernraum	48

Abkürzungen

Az.....	Aktenzeichen
BMBF	Bundesministerium für Bildung u. Forschung
BNE.....	Bildung für nachhaltige Entwicklung
CeDiS	Center für Digitale Systeme der FU Berlin
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
FU	Freie Universität Berlin
GenaU.....	Gemeinsam für naturwissenschaftlich-technischen Unterricht (Netzwerk der Schülerlabore in Berlin und Brandenburg)
HTS	Hochtemperatursupraleiter
IASS.....	Institute For Advanced Sustainability Studies
LCD	Liquid Crystal Display (Flüssigkristallanzeige)
LeLa	Lernort Labor – Bundesverband der Schülerlabore
LED.....	Light Emitting Diode (lichtemittierende Diode)
MINT.....	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
MNU	Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts
PSE.....	Periodensystem der Elemente
SE.....	Seltene Erden
Sek I	Sekundarstufe I
Sek II	Sekundarstufe II
SuS.....	Schülerinnen und Schüler
TN	Teilnehmerzahl
YBCO.....	Yttriumbariumkupferoxid

2 Zusammenfassung

Die Metalle der Seltenen Erden (SE) werden - wie die prominenteren Elemente Silber, Gold und Platin - aufgrund ihrer globalen Bedeutung zu den „strategischen Metallen“ gezählt. Die zukünftige Verfügbarkeit dieser Rohstoffe gilt als unsicher: ihr natürliches Vorkommen ist limitiert, sie wachsen nicht nach und können auch nicht künstlich erzeugt werden. Ihre Lagerstätten befinden sich zudem hauptsächlich in Ländern, die politisch und/oder wirtschaftlich als kritisch bewertet werden. Gleichzeitig sind die auch als „High-Tech-Metalle“ bezeichneten Seltenerdmetalle unverzichtbarer Bestandteil vieler moderner Produkte und Anwendungen, wie z.B. Smartphones, Plasma/LCD-Bildschirme, Grüne Technologie Produkte, LED- & Energiesparlampen, etc..

Aus diesem Anlass wurde als Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) im Rahmen des Drittmittelprojekts „Die nachhaltige Nutzung der Seltenen Erden und der Edelmetalle Silber, Gold und Platin“ ein Experimentierzyklus für das Schülerlabor NatLab der Freien Universität (FU) Berlin entwickelt, der neben chemischen Kenntnissen auch ein Bewusstsein für den unmittelbaren Zusammenhang zwischen eigenem Konsumverhalten und dafür benötigten Rohstoffen wecken soll. Der für Schülerinnen und Schüler (SuS) der Sekundarstufe I (Sek I) und Sekundarstufe II (Sek II) konzipierte Zyklus besteht aus fünf Versuchen, von denen sich jeder mit mindestens einem Element aus der Reihe der Seltenen Erden beschäftigt:

- Festkörpersynthese eines Yttriumbariumkupferoxid-Supraleiters (YBCO-123) (Yttrium)
- Herstellung eines Glühstrumpfs (Yttrium, Cer)
- Synthese eines fälschungssicheren Fluoreszenzfarbstoffs (Europium)
- Rückgewinnung von Neodym aus Handys (Neodym)
- Analyse eines Schmerzmittels (Cer)

Die Versuche wurden nach der Entwicklungsphase in das Portfolio des NatLab aufgenommen und sind heute fester Bestandteil im Angebot des Schülerlabors.

Zur Optimierung der Vor- und Nachbereitung des Laborbesuchs wurde in einem zweiten Schritt für SuS und Lehrkräfte ein Online-Lernraum zum Themenkreis der Seltenen Erden nach dem Flipped Classroom Modell entwickelt und implementiert. Das unter <http://www.bcp.fu-berlin.de/natlab/e-learning/Seltene-Erden/index.html> abrufbare Zusatzangebot besteht aus einem Bereich mit Materialien zur Vorbereitung der SuS auf den Laborbesuch, einem Modul zur Reflexion der Versuche und weiteren Informationen zum Thema sowie einem passwortgeschützten Bereich für Lehrkräfte, in dem Unterrichtsmaterialien angeboten werden und auf weiterführende Informationen verwiesen wird.

Um den Experimentierzyklus und später das digitale Zusatzangebot den begleitenden Lehrkräften vorzustellen, hat das NatLab 2015 im Rahmen der Berliner Tagung des Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU) sowie des -Lehrerkongresses der Nordostchemie Workshops zu den Seltenen Erden angeboten. Im Januar 2018 gab es zudem eine umfassende Fortbildung für Lehrkräfte mit einer thematischen Einführung von Prof. Dr. Peter Roesky vom Karlsruher Institut für Technologie sowie einer praxisnahen Einführung in die Experimente und den Flipped Classroom zum Kursangebot *Seltene Erden*.

Neben der Durchführung von Workshops im regulären Angebot des Schülerlabors wurde der Experimentierzyklus mit weiteren Schülergruppen durchgeführt: Besonders interessierte SuS, die auch außerhalb des Schulunterrichts eine Affinität zu den Naturwissenschaften haben, konnten den Experimentierzyklus im Rahmen von Sonderveranstaltungen wie dem *Girl's Day*, dem *MINT400 Hauptstadtforum* oder den Ferienkursen sowie der zweiwöchigen *Sommeruni für Schülerinnen und Schüler* in den letzten beiden Wochen der Sommerferien buchen.

Der interessierten Öffentlichkeit wurde der Zyklus unter anderem alljährlich bei der „Langen Nacht der Wissenschaften“ vorgestellt. Zudem hat das NatLab die Experimente als Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) mit Postern und Anschauungsmaterial bei verschiedenen Tagungen und - auf Einladung der DBU - auf der *Woche der Umwelt* 2016 präsentiert sowie sich mit Porträts an drei Fachpublikationen beteiligt.

Ab dem Zeitpunkt der Implementierung wurde der Experimentierzyklus immer wieder von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern evaluiert. Die Rückmeldungen waren durchweg positiv. Auch vonseiten der Lehrkräfte wurde das neue Angebot positiv bewertet und gut angenommen.

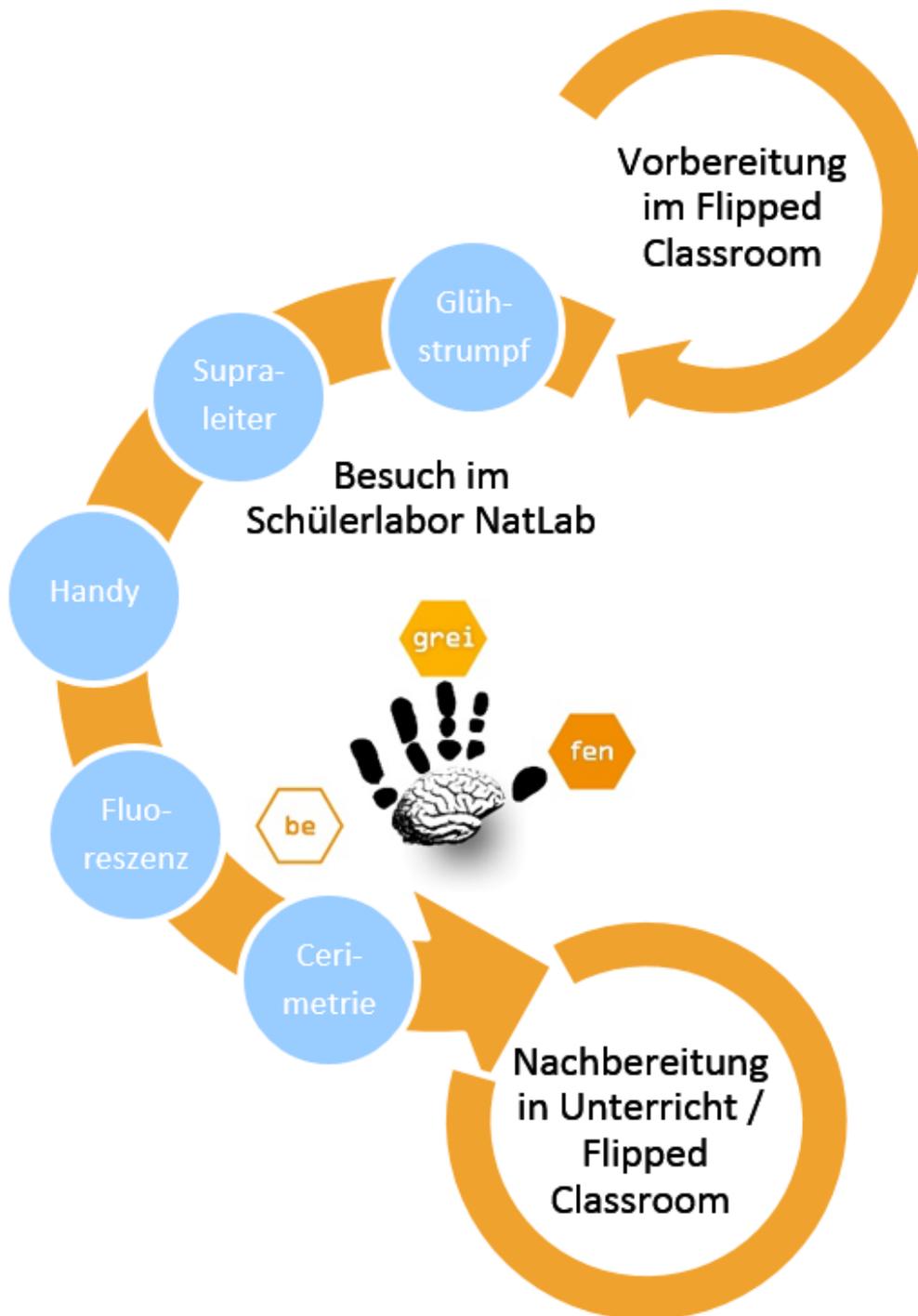


Abb. 1: Experimentierzyklus Seltene Erden

3 Einleitung

3.1 Anlass und Ziel des Projektvorhabens

Die Seltenen Erden sind eine Gruppe von 17 chemisch ähnlichen, metallischen Elementen (15 Lanthanoide sowie Scandium und Yttrium), die die Europäische Kommission zu den 20 kritischsten Rohstoffen der Erde zählt¹.

Bedingt durch ihre besonderen chemischen und physikalischen Eigenschaften gewinnen die Seltenen Erden seit Mitte des 20. Jahrhunderts zunehmend an Bedeutung: Die Entwicklung von Zukunftstechnologien ist eng verknüpft mit der Verwendung natürlicher Ressourcen. Zu diesen Ressourcen zählen neben vielen anderen Rohstoffen auch die Metalle der Seltenen Erden (Seltene Erdmetalle, Lanthanoide). Sie sind unerlässlicher und wichtiger Bestandteil der Produktionskette von wichtigen Nachhaltigkeits-Technologien: Windkraft, Fotovoltaik, Elektromobilität, Katalyse, Telekommunikation, Energiesparlampen. Der industrielle Bedarf z.B. an den Elementen Neodym bzw. Dysprosium wird sich innerhalb der nächsten 25 Jahre voraussichtlich noch einmal verdoppeln.² Der damit aufkommende Gedanke an ein Recycling³ oder eine Wiederverwendung dieser Metalle wird im Schülerlabor mit passenden Versuchen begleitet und damit realitätsnah veranschaulicht.

Der Abbau der Erze und die Gewinnung der Metalle ist ein ökonomisch sehr aufwendiges Unterfangen. Im Anschluss an die physikalische Förderung der Erze müssen diese mit großen Mengen an Chemikalien aufgeschlossen und über viele Stufen aufgereinigt werden. Der Abbau der Rohstoffe für die Gewinnung der Metalle verursacht derzeit hohe Umweltschäden und hinterlässt spürbare Folgen bei den Arbeitern. In einigen Abbauländern gibt es wenig Arbeitsschutz und einige politische Konflikte werden durch Rohstoffe verursacht. Aus diesem Grund werden der Abbau und die Verwendung von Seltenen Erden in der Gesellschaft derzeit kontrovers diskutiert und der Ruf nach einem effizienten Einsatz, einem fairen Abbau (sozial, ökologisch) und dem vermehrten Recycling lauter⁴.

Ziel des Projektvorhabens „Die nachhaltige Nutzung der Seltenen Erden und der Edelmetalle Silber, Gold und Platin“ war neben der Vermittlung chemischer Inhalte deshalb auch, durch einen neuen Experimentierzyklus das Interesse junger Menschen an Umweltschutz und Nachhaltigkeit zu fördern. Den meisten SuS ist nicht bekannt, dass moderne Leuchtmittel wie Energiesparlampen oder LEDs ohne die Elemente Cer, Lanthan, Europium, Terbium und Yttrium nicht zur Verfügung stünden. Oder auch, dass für die effektive Stromgewinnung z.B. in Windkraftanlagen möglichst kleine und starke Permanentmagnete benötigt werden, die ca. 30% Neodym enthalten. Dieser hohe Stellenwert der Seltenen Erden gerade für umweltfreundliche Zukunftstechnologien verdeutlicht den SuS, wie wichtig ein verantwortungsvoller Umgang mit diesen Erdmetallen ist.

Ein Verständnis für eine nachhaltige Entwicklung entsteht bei Lernenden insbesondere durch das Aufzeigen des direkten Zusammenhangs zwischen dem eigenen Konsumverhalten und den für Alltagsprodukte wie z.B. Smartphones benötigten Rohstoffen. Die Urteilsfähigkeit hinsichtlich Ökologie, Ökonomie und sozialen Aspekten von Lernenden zu fördern und gleichzeitig ihre Fähigkeit zu unterstützen, über Forschungsprozesse Lösungswege zu suchen, war daher ein weiteres Ziel des Projekts.

¹ REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU, Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, May 2014, European Commission.

² Alonso, E., Sherman, A.M., Wallington, T.J., Everson, M.P., Field, F.R., Roth, R., Kirchain, R.E., 2012. Evaluating rare earth element availability: a case with revolutionary demand from clean technologies. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3406-3414.

³ K. Binnemans et al., Recycling of rare earths: a critical review., *Journal of Cleaner Production* 51 (2013); 1-22

⁴ Öko-Institut e.V. D. Schüler, et al., Study on Rare Earths and Their Recycling, Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament, January 2011.

3.2 Vorgehensweise

In der Anfangsphase wurden nacheinander vier Versuche für den Experimentierzyklus entwickelt. Zu jedem Versuch wurde ein Skript erstellt, das den Materialbedarf aufführt und die Durchführung der Experimente beschreibt. Bestandteil jedes Experiments ist auch ein fächerübergreifender Ansatz, so dass die Behandlung der Seltenen Erden in den Unterrichtsfächern Chemie (chemische Feststoffsynthese eines Supraleiters, Herstellung eines Glühstrumpfes), Geographie (Abbau, Gewinnung der Rohstoffe) und Physik (Magnetismus) behandelt werden kann.

Nach Fertigstellung wurde jeder einzelne Versuch von SuS im Schülerlabor durchgeführt und im Anschluss evaluiert. Nach Vervollständigung des Experimentierzyklus wurde ein Fortbildungsworkshop für Lehrkräfte angeboten. Dafür wurde eine Präsentation erstellt, die Hintergrundinformationen und Anregungen für die Fortführung und Weiterentwicklung des Themas im Unterricht liefert. In den Workshops für Lehrkräfte wurde auch der gegenseitige Bezug dieser Disziplinen explizit aufgezeigt und „ganzheitlich“ betrachtet.

Dies ermöglicht Lehrkräften die Unterrichtseinheit *Seltene Erden* interdisziplinär zu unterrichten und somit die Integration der Thematik in den Lehrplan besser zu organisieren. Der Experimentierzyklus wurde daraufhin in das regelmäßige Angebot des Schülerlabors aufgenommen sowie für Ferienangebote für besonders Interessierte angepasst.

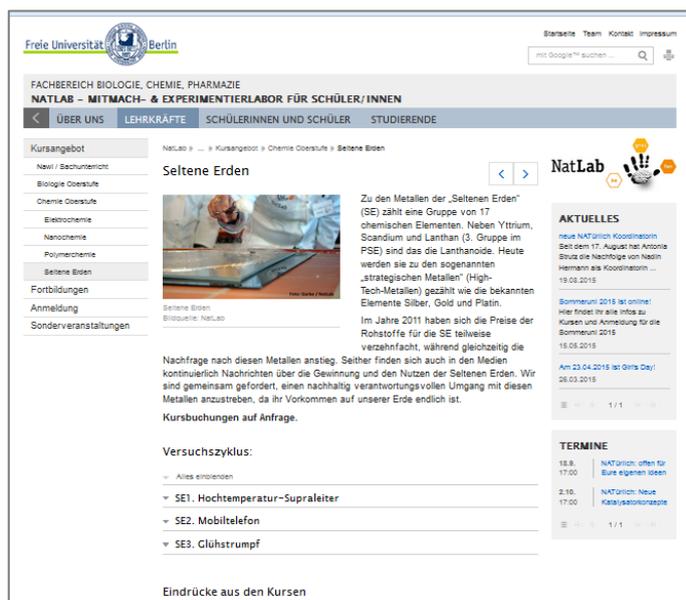


Abb. 2: Kurs-Webseite *Seltene Erden* 2015

Im weiteren Verlauf wurden Details der Versuche ausgearbeitet sowie ein weiteres Experiment zum Thema entwickelt, die Cerimetrie. Der Schwerpunkt der letzten Projektphase lag jedoch auf der Entwicklung eines Online-Lernraums zur Vor- und Nachbereitung des Besuchs im Schülerlabor. Dafür wurden verschiedene niedrigschwellige digitale Angebote erstellt und im neu geschaffenen *eNatLab* implementiert, die die SuS nach dem Flipped Classroom-Modell, orts- und zeitunabhängig nutzen können. Für Lehrkräfte wurde zudem ein geschützter Bereich mit eigens entwickelten didaktischen Zusatzmaterialien eingerichtet.

Neben fachlichen Hintergrundinformationen werden online ebenfalls z. B. geografische und geologische Gesichtspunkte aufgegriffen, um das systemische Denken zu fördern. Eine weitere Fortbildung für Lehrkräfte diente neben der Vorstellung des komplettierten Versuchszyklus der Einführung in die Möglichkeiten der digitalen Ergänzungsangebote.

Obwohl die Seltenen Erden im Fach Chemie in der Regel nur am Rande gestreift werden, wurde darauf geachtet, dass die meisten chemischen Reaktionen in den Versuchen mit dem Rahmenlehrplan kompatibel sind: klassische Themen wie Periodensystem der Elemente (PSE), chemisches Rechnen, chemische Reaktionen, chemische Bindung, Säuren und Basen, Salze, Metalle, Farbigkeit und auch Kohlenwasserstoffe und funktionelle Gruppen sind hier dargestellt. Darüber hinaus lernen die SuS die klassischen Arbeitsmethoden der Chemie kennen und wenden sie an. Fachübergreifend wurden Anknüpfungspunkte zum Geografie-Lehrplan (Die Schätze der Erde, Verknappung der Ressourcen, Naturschutz, Nachhaltigkeit) sowie zum Physiklehrplan (Metalle, Lumineszenz, Magnetismus) hergestellt.

4 Die chemischen Experimente

In der Projektlaufzeit wurden fünf verschiedene Experimente zu den Seltenen Erden entwickelt. Die Versuchsskripte zu allen Versuchen sind im Anhang zu finden.

4.1 Herstellung eines Glühstrumpfes

Glühstrumpfe finden sich auch heute noch in der traditionellen Straßenbeleuchtung der Gründerzeitviertel größerer europäischer Städte. Die herkömmlichen Glühstrumpfe enthalten das radioaktive Element Thorium und dürfen nach einer Verschärfung der Strahlenschutzverordnung⁵ nicht mehr verwendet werden. Die thorium-freien Glühstrumpfe sind grundsätzlich nicht sehr langlebig und spenden 20 Prozent weniger Licht. Da eine Kontamination von SuS ausgeschlossen werden muss, basiert die Glühstrumpferstellung im NatLab auf den Elementen Yttrium und Cer.



Abb. 3: Glühstrumpfe in traditionellen Gaslaternen in Berlin

Den SuS wird mit diesem Versuch die Entwicklung der (künstlichen) Beleuchtung vermittelt. Der Glühstrumpf wurde 1885 von dem österreichischen Chemiker Carl Auer von Welsbach erfunden, zu einem Zeitpunkt als die 1879 entwickelte Kohlefadenlampe von Edison keine weitere technologische Entwicklung erlaubte. Dass die historischen Gaslaternen auch heute noch das Stadtbild von ca. 40 Städten in Deutschland prägen - die meisten davon stehen in Berlin - ist ein Lebenskontext, an dem die Fragen um Umweltschutz und Energiebilanz (Glühstrumpf, Glühbirne, LED) sehr gut diskutiert werden können.

4.1.1 Durchführung

Die SuS schneiden entlang einer Schablone Baumwollmull aus und nähen diesen so zusammen, dass sich kleine Kappen/Strümpfe bilden, die über den Boden eines großen Reagenzglases gestülpt werden können (Abb. 3a). Diese Stoffanfertigungen werden in eine Selten-Erd-Nitratlösung getaucht, die die SuS durch das Lösen von Yttriumoxid und Cernitrat in Salpetersäure erhalten. Mit dieser Lösung wird der Stoff mehrfach getränkt und imprägniert. Nach dem Trocknen der Textilie durch Föhnen, wird der Strumpf über einen mit einer Drahtvorrichtung präparierten Bunsenbrenner gestülpt und zum Verbrennen der Baumwolle angezündet (Abb. 4a). Nach dem Verbrennen der Baumwolle erhalten die SuS einen porösen Glühstrumpf, der aus dem Oxid der Seltenen Erden Yttrium und Cer besteht (Abb. 4c).

⁵ Strahlenschutzverordnung StrlSchV vom 20.07.2001

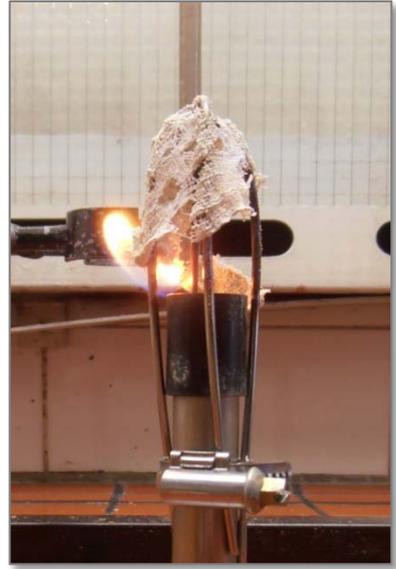
Abb. 4: Herstellung eines Glühstrumpfs



a) Bunsenbrenner mit Drahtvorrichtung und Baumwollstrumpf



**b) Abbrennen der Baumwoll-
Templates**



c) Seltenerdoxidgerüst



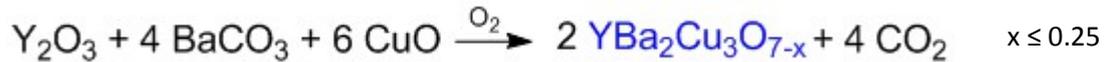
Abb. 5: Licht spendender Glühstrumpf

Die Oxidmischung lässt sich unter Erdgaszufuhr zum glühenden Leuchten bringen (Abb. 5).

4.2 Festkörpersynthese eines YBCO Supraleiters (HTS-Supraleiters)

Das vor mehr als 100 Jahren entdeckte physikalische Phänomen der Supraleitung hat das Potenzial, die Technik zu revolutionieren. Die Entdeckung der keramischen Supraleiter (wie YBCO-123) erfolgte durch die Forscher Karl Alexander Müller und Johannes Georg Bednorz, die dafür 1987 den Nobelpreis für Physik erhielten. Gerade weil die Supraleitung bis heute als nicht vollständig verstanden gilt, ist sie für die SuS ein interessantes Forschungsobjekt, an dem sie selbst noch an einer Aufklärung mitwirken können.

4.2.1 Durchführung



Gl. 1: Chemische Gleichung der Festkörperreaktion zum YBCO Supraleiter

Zunächst wiegen die SuS die Reagenzien für die Synthese des Supraleiters auf einer Feinwaage ab, mischen und mörsern diese gewissenhaft in einem Achatmörser und füllen die homogene Mischung in ein Korundschiffchen, das in der Mitte eines Rohrofens platziert wird. Nach dem über 20 Stunden andauernden Backvorgang bei 950°C wird die anthrazitfarbene Mischung erneut fein gemörsert, in einer hydraulischen Presse zu einem Pellet gepresst und erneut über 20 Stunden - jedoch diesmal unter Zugabe von Sauerstoff - gebacken. Aufgrund der langen Backzeiten übernehmen die SuS jeweils die Substanzen der vorherigen Schülergruppe.



Abb. 6: Mörsern der Substanzmischung zur Herstellung des YBCO Supraleiters

Im Anschluss wird der Meißner-Ochsenfeld-Effekts demonstriert: mit Hilfe der hauseigenen Feinmechaniker-Werkstatt wurde dafür aus Acrylglas, verzinkten Stahlreifen und einem Standfuß eine kreisförmige Magnetbahn gebaut. Die Magneten enthalten die Seltene Erde Neodym.

Das YBCO-Pellet wird mit flüssigem Stickstoff auf -196 °C gekühlt - einer Temperatur, die sich unterhalb der Sprungtemperatur des Supraleiters (T_c : -180.15 °C) befindet. Bei dieser Temperatur fließt widerstandslos Strom und der Meißner-Ochsenfeld-Effekt, der auf diesem Effekt beruht, wird demonstriert: Das Supraleiterpellet schwebt über der Bahn der Permanentmagnete.

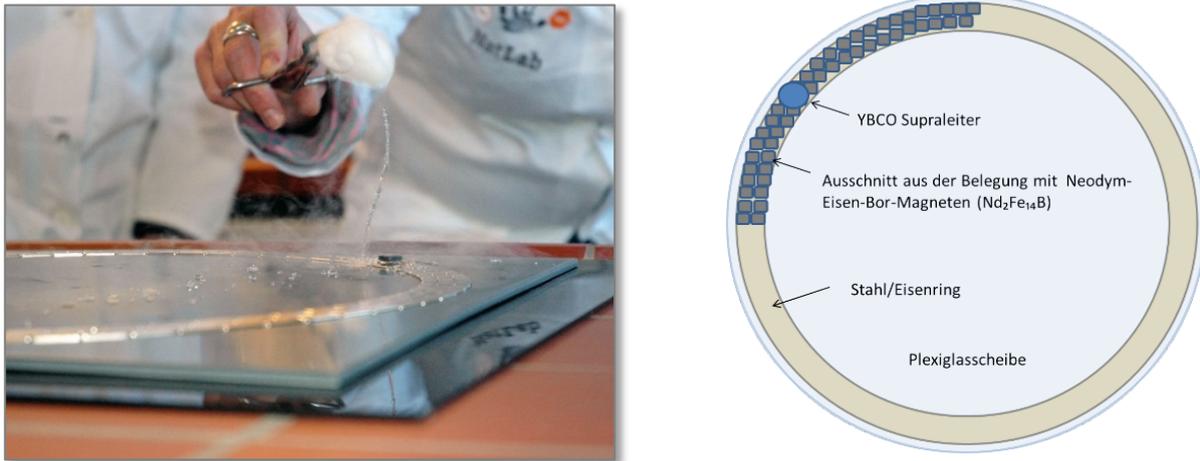


Abb. 7: Demonstration des Meißner-Ochsenfeld-Effekts bei -196°C (links), Skizze der Magnetbahn (rechts)

4.3 Rückgewinnung von Neodym aus einem Handy

Mit diesem Versuch wird den SuS die Vielfalt der im omnipräsenten Alltagsgegenstand Mobiltelefon verbauten Rohstoffe bewusstgemacht. Die zügige technologische Entwicklung dieser Geräte ist an die Kurzlebigkeit des Produktzyklus von Smartphones gekoppelt - und damit auch einer ansteigenden Anzahl von Althandys. In diesem Versuch wird der Aspekt des Nachhaltigkeitsgedankens (BNE) fokussiert, die Fragestellung um Rohstoffabbau sowie dem eigenen Konsumverhalten einbezogen und auch der Recyclingaspekt der Metalle aus den Handy-Magneten hervorgehoben.

4.3.1 Durchführung

Im ersten Schritt zerlegen die SuS mit Werkzeugen ein defektes Mobiltelefon und entnehmen den Lautsprecher, der meist aus einem neodymhaltigen Permanentmagneten (i.d.R. $\text{Fe}_{14}\text{Nd}_2\text{B}$) besteht (Abb. 8).

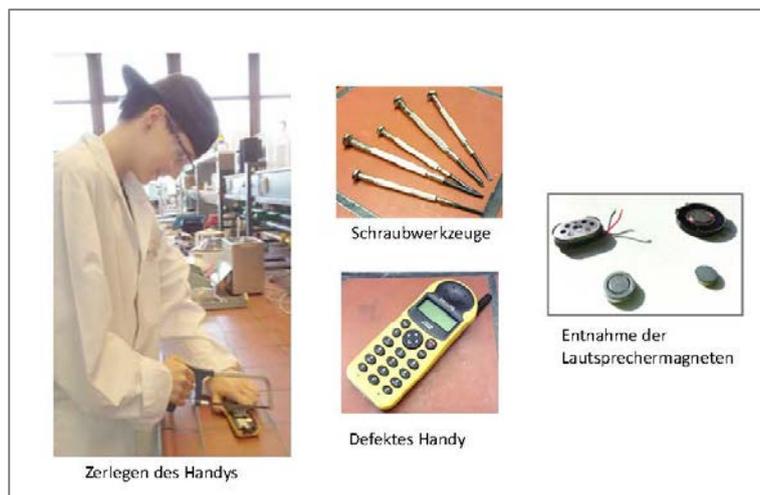


Abb. 8: Mobiltelefon und Schraubwerkzeug (links), Zerlegen des Handys (Mitte), Isolierte Lautsprecher und Magnete (rechts)

Der Magnet wird dann auf die Curie-Temperatur erhitzt und so entmagnetisiert. Die Legierung wird anschließend zerkleinert, gemörsert und schließlich in Mineralsäure aufgelöst. Nach mehreren nasschemischen Schritten und dem Glühen des Neodym-Phosphats auf der Magnesiarinne erhalten die SuS das fliederfarbene Neodym (siehe Abb. 9).



Abb. 9: Einzelne Stufen der Rückgewinnung von Neodym aus einem Handlautsprecher

4.4 Synthese eines fälschungssicheren Fluoreszenzfarbstoffs

Die SuS erfahren durch diesen Versuch etwas über Farbstoffe, die auf Sicherheitsdokumenten, wie z.B. Banknoten oder Personaldokumenten Anwendung finden. Dieser Kontextbezug zu Sicherheitspapieren des täglichen Gebrauchs zeigt einmal neu die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Seltenen Erden und stellt damit auf verständliche Weise einen greifbaren Bezug zur Lebenswelt her. Auch bei diesem Versuch wird über den Aspekt der Nachhaltigkeit, die Abbaubedingungen der Rohstoffe und die Gewinnung von Sekundärrohstoffen („urban mining“) gesprochen.

4.4.1 Durchführung

Die SuS bauen eine klassische chemische Synthesapparatur mit Dreihalskolben, Rückflusskühler, Tropftrichter und Thermometer auf. Die Ausgangssubstanzen Europium(III)oxid und Acetylaceton werden zu Beginn abgewogen bzw. mit einer Spritze aufgezogen. Das Oxid wird gelöst und die beiden Edukte zueinander gegeben. Die SuS erhitzen dann die Reaktionsmischung bis sich ein farbloser Niederschlag abscheidet. Am Rotationsverdampfer wird das Lösungsmittelgemisch abdestilliert und der Rückstand in Wasser aufgenommen. Durch Zentrifugieren der Reaktionsmischung erhalten die SuS einen fluoreszierenden Farbstoff der unter der UV-Lampe ($\lambda=366\text{nm}$) leuchtet und eine andere Löslichkeit als der Ausgangsstoff aufweist. Abschließend wird der Einsatz des Farbstoffs auf Banknoten oder Personaldokumenten demonstriert.

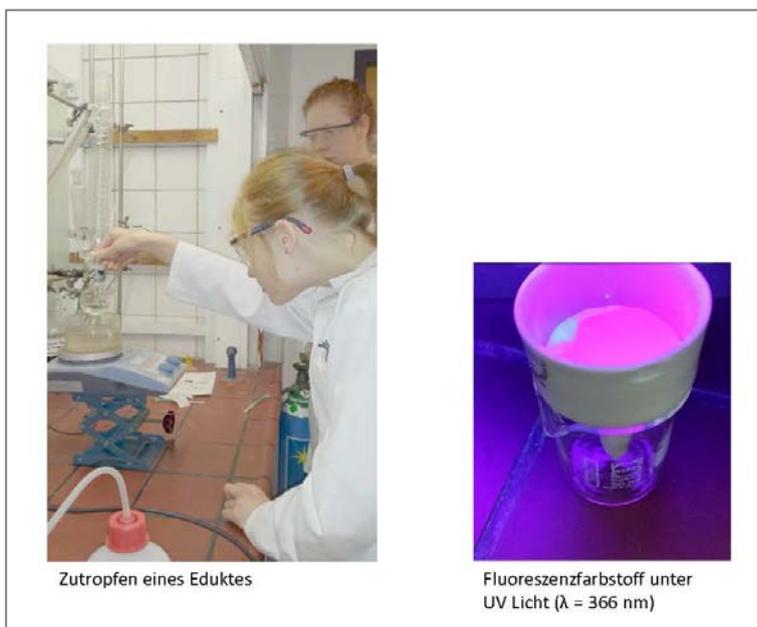


Abb. 10: Zutropfen des Acetylacetons zu Eu^{3+} -Lösung (links), Fluoreszenzfarbstoff unter der UV-Lampe (rechts)

4.5 Cerimetrie – Redox Titration

Cer als Seltenerdelement spielt bereits im Versuch „Herstellung eines Glühstrumpfs“ eine Rolle. In der Cerimetrie macht man von der leichten Reduzierbarkeit der Ce(IV) -Salze Gebrauch. Es handelt sich um ein maßanalytisches Verfahren, bei welchem die Menge der vorliegenden (oxidierbaren) Substanz durch den Verbrauch einer Ammoniumcer(IV)sulfat-Lösung bestimmt werden kann. In der 7. Ausgabe des Europäischen Arzneibuchs (Grundwerk 2011) findet sich bei der Methode für die Gehaltsbestimmung des Arzneimittels Paracetamol® die Cerimetrie als „Allgemeine Vorschrift“⁶.

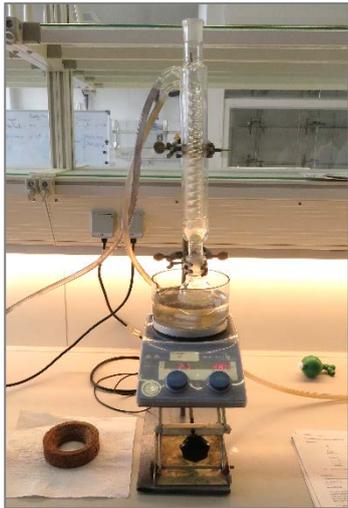
Die SuS lernen das Seltenerdelement Cer mit einem aktuellen Anwendungsbezug kennen. Der Versuch ist interdisziplinär angelegt: die drei naturwissenschaftlichen Fächer Chemie, Pharmazie und Medizin werden begleitend zum Experiment angesprochen. Die SuS lernen in diesem Versuch das präzise „Analytikerhandwerk“ der Redox-Titration kennen und bestimmen quantitativ die Menge des Wirkstoffs an Paracetamol® in einer handelsüblichen Tablette.

4.5.1 Durchführung

Zunächst bauen die SuS eine chemische Apparatur zur Spaltung der chemischen Verbindungen mit Wasser (Hydrolyse) auf. Dann verdünnen sie mit Hilfe des Mischungskreuzes Säuren, stellen Maßlösungen für die Titration - einschließlich Titerstellung - her und titrieren die jeweiligen Substanzen unter Verwendung eines Indikators.

⁶ Ph. Eur. 7. Ausgabe, Grundwerk 2011, S. 4050

Abb. 11: Die Reaktionsschritte der Cerimetrie



a) Hydrolyse des Paracetamols



b) Herstellung der Maßlösung



c) Farbumschlag nach Titration

Parallel werden die Reaktionsgleichungen in den Redox-titrationen besprochen. Zum Schluss wird der experimentell ermittelte Analysewert mit der Angabe auf der Packungsbeilage verglichen.



Abb. 12: Quantitative Bestimmung des Analyten

5 Flipped Classroom

5.1 Inverted / Flipped Classroom

Zur Abrundung des Experimentierzyklus war im Antrag die Entwicklung und Implementierung einer Online-Plattform zur Vor- und Nachbereitung des Laborbesuchs nach dem Inverted Classroom Modell eingeschlossen.

Die Begriffe „Inverted Classroom“ oder gleichbedeutend „Flipped Classroom“ bezeichnen ein von Aron Sams entwickeltes Unterrichts-Modell, in dem die Aufnahme von Lerninhalten durch Medien wie z.B. Lernvideos in die externe Vorbereitung der eigentlichen Unterrichtszeit verlagert wird. Im Präsenzunterricht können sich Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler dadurch auf in der Auseinandersetzung mit der Thematik entstandene Fragen oder Schwierigkeiten konzentrieren⁷. Im deutschen Sprachraum hat sich der Begriff „Inverted“ eher für den universitären und „Flipped“ für den schulischen Bereich etabliert. Da unser Angebot sich an SuS richtet, verwenden wir in der direkten Ansprache den Begriff „Flipped Classroom“.

Die Anwendung im Schülerlabor hat vor allem den Vorteil, dass die kurze Zeit des Besuchs effektiv zum Experimentieren genutzt werden kann. Andererseits kann der außerschulische Lernort auch nicht zu viel Vorbereitungsaufwand von den SuS erwarten und voraussetzen.

Der Direktlink zum Flipped Classroom ist:

<http://www.bcp.fu-berlin.de/natlab/e-learning/Seltene-Erden/index.html>.

Der Einstieg in das sogenannte *eNatLab* erfolgt in der Regel entweder über die Kursseite zu den Seltenen Erden oder über das vierte Themenfeld auf der NatLab-Startseite:



Abb. 13: Startseite Schülerlabor NatLab – www.natlab.de

⁷ Jürgen Handke, Alexander Sperl (Hrsg.): *Das Inverted Classroom Model*. Oldenbourg, München 2012

Zunächst gelangt man auf eine Übersichtsseite mit einer Liste der Kursthemen, zu denen Online-Lernmaterialien verfügbar sind. Neben den *Seltenen Erden* befindet sich derzeit ein Blended-Learning-Bereich für den Kurs *Neurobiologie* im Aufbau:

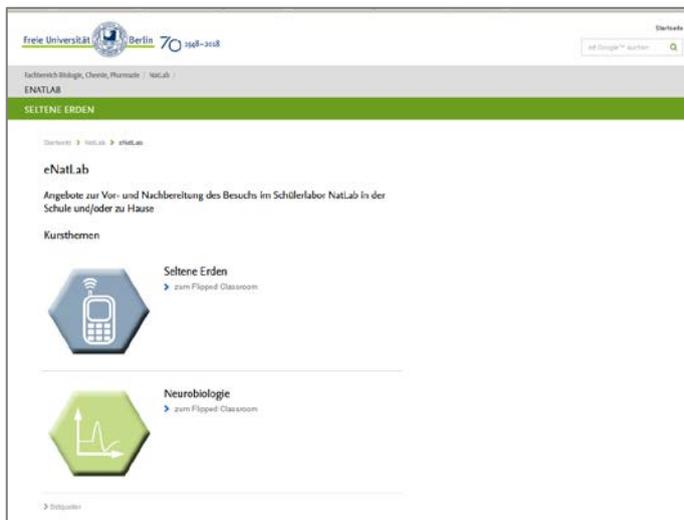


Abb. 14: Startseite eNatLab

Der Link „zum Flipped Classroom“ führt auf die Startseite zum Thema *Seltene Erden*.

Zur Begrüßung der Besucher wurde in Zusammenarbeit mit den Audiovisuellen Mediendiensten des Centers für Digitale Systeme (CeDiS) der Freien Universität Berlin sowie mit Unterstützung von Schülern der Zielgruppe ein Kurzvideo erstellt, das auf das Kursthema hinlenkt und das Schülerlabor und über die mit dem Besuch verbundenen Formalitäten (z.B. Sicherheitsvorkehrungen) aufklärt.

Darunter führen Links weiter zum „Check-In“, den Angeboten zur Vorbereitung des Laborbesuchs sowie zu den „Add-Ons“, den Zusatzangeboten zur Nachbereitung. An dritter Stelle steht der Zugang zu einem passwortgeschützten Bereich für Lehrkräfte:

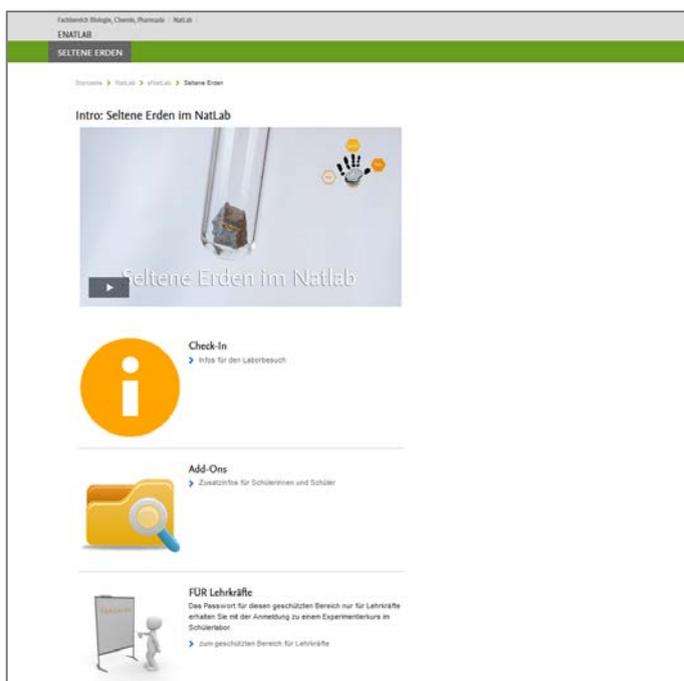


Abb. 15: Startseite *Seltene Erden*

5.2 Check-In – Vorbereitung des Laborbesuchs

In diesem Bereich befinden sich e-Learning Angebote, zu deren eigenständiger Bearbeitung die angemeldeten Schülergruppen von ihren Lehrkräften im Vorfeld des Besuchs im NatLab angehalten werden sollen:

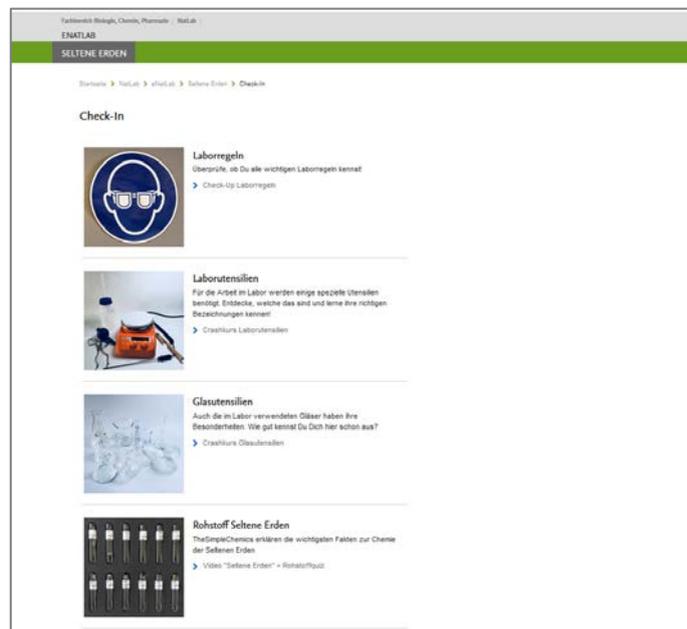


Abb. 16: Startseite Check-In

- **Lückentext zu den Laborregeln**

Durch das Auffüllen der Lücken die Kenntnis der wichtigsten Laborregeln überprüft wird.



Abb. 17: Online-Lückentext Laborregeln

- **Memorys und Dialogkarten**

Da der Versuchszyklus sowohl von SuS der Jahrgangsstufen 9/10 als auch der Oberstufe absolviert wird und bei den jüngeren SuS noch nicht die Kenntnis aller benötigten Laborutensilien und Glasgeräte vorausgesetzt werden kann, werden zur Überprüfung des eigenen Wissens Online-Memorys zu diesen Geräten angeboten.



Abb. 18: Memory Laborutensilien

Etwaige Wissenslücken können durch Dialogkarten rasch aufgefüllt werden.

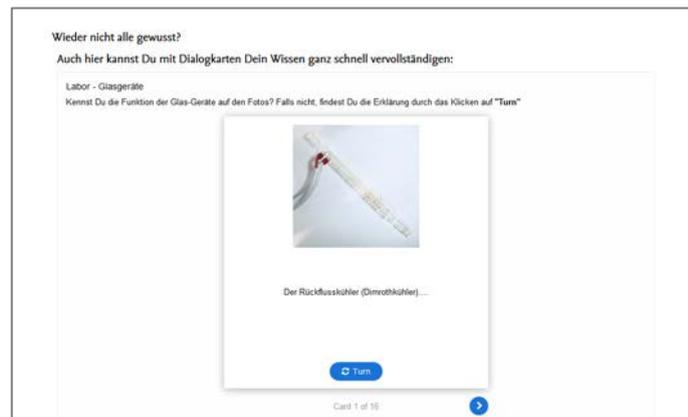


Abb. 19: Dialogkarten Glasgeräte

- **Lernvideo und Rohstoffquiz**

Zur Einführung in die Chemie der Seltenen Erden wurde auf Anregung von SuS aus der Zielgruppe ein Lernvideo der YouTuber *TheSimpleChemics* eingebunden. Durch die Verwendung dieser Open Educational Resources wurden einerseits eigene Ressourcen eingespart und gleichzeitig wurde den Präferenzen der Zielgruppe Rechnung getragen

In das Video wurden jedoch Fragen eingebunden, um die Aufnahme der Inhalte zu unterstützen bzw. abzufragen. Ergänzend können im Anschluss im „Rohstoff-Quiz“ die eigenen Kenntnisse getestet werden.

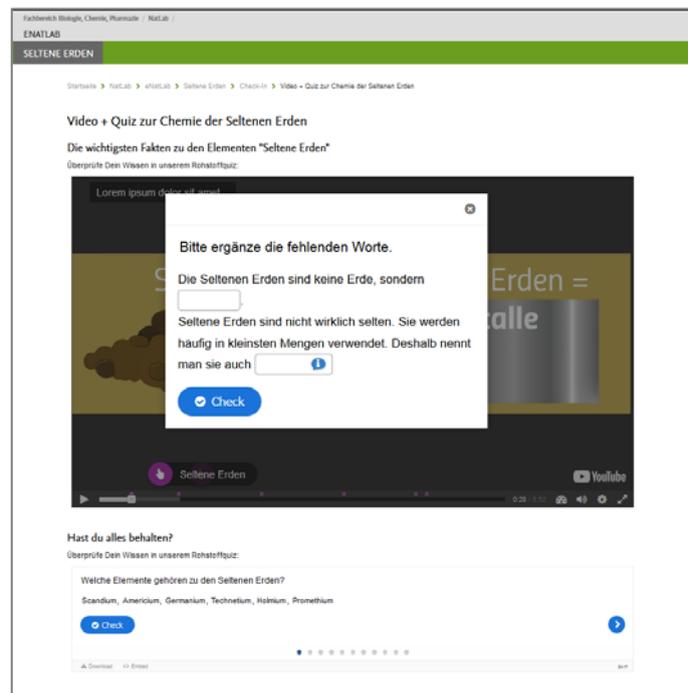


Abb. 20: SimpleChemics-Video

Zu Beginn eines Besuchstags einer Schülergruppe im NatLab werden diese Inhalte stichpunktartig durch das Online Class-Response-Tool *plickers* abgefragt, indem die SuS Fragen durch das Hochhalten eines ausgeteilten QR-Codes beantworten und die Ergebnisse anonym unmittelbar auf dem Smartboard dargestellt werden.

5.3 Nachbereitung

Zur Nachbereitung des Experimentierens im NatLab werden den SuS, die ihre Kenntnisse zum Thema vertiefen wollen oder sollen, weitere Angebote zur Verfügung gestellt.

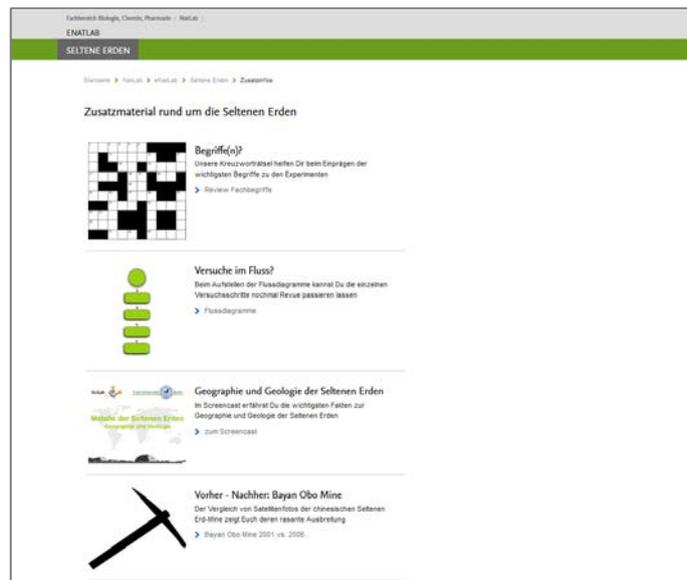


Abb. 21: Startseite Zusatzmaterial zur Nachbereitung

- **Kreuzwörtertsel zu allen Versuchsabläufen**

Da die SuS im Rahmen ihres Laborbesuchs in der Regel nur einen der fünf Versuche selbst durchführen, können der Versuchsablauf und die wichtigsten Begrifflichkeiten aller Experimente jeweils durch ein Kreuzwörtertsel rekapituliert werden.

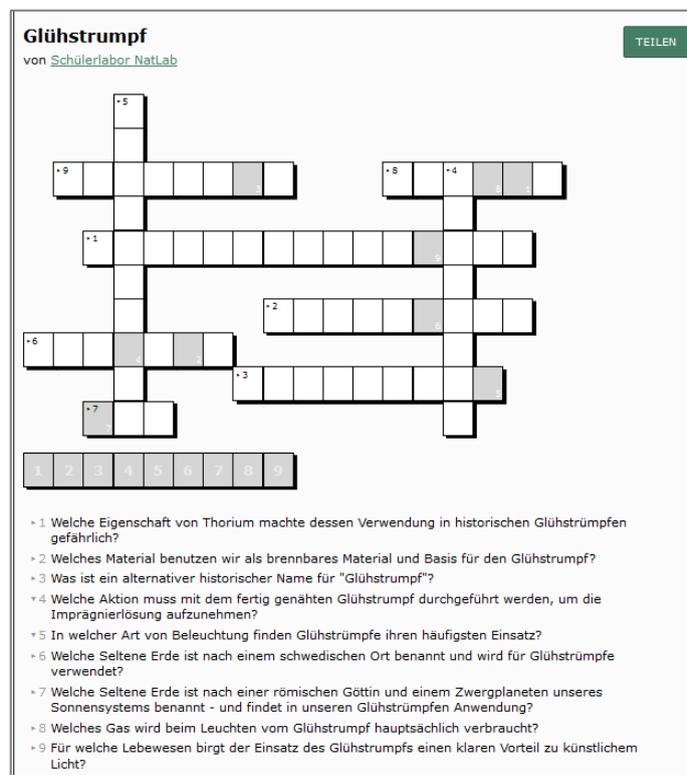


Abb. 22: Kreuzwörtertsel zu den Experimenten – Bsp. Glühstrumpf

- **Flussdiagramme zu den Versuchen**

Um den Ablauf der einzelnen Versuchsschritte nachträglich nochmal Revue passieren lassen zu können, gibt es zu den Versuchen zudem Flussdiagramme. Dazu müssen die Fotos von Versuchsdokumentationen (u.a. von den TN der Sommeruni 2017) durch Klicken in die richtige Reihenfolge gebracht werden.

Flussdiagramm Handy

Bitte ziehe die Bilder in die richtige Reihenfolge

Demontage des Handys

Abtrennung des Eisenoxids

Entmagnetisieren (Curie-Temp.)

Lösen des Neodymoxids

Entnahme der Lautsprecher

Auflösen des Metallgranulats

pH-Einstellung auf pH 2

Trocknen des Neodymophosphats

Mörsern der Legierung

Fällung der Oxalate

Fällung des Neodymophosphats

Glühen der Oxalate

Abb. 23: Flussdiagramme zu den Experimenten – Bsp. Handy

- **Screencasts zu interdisziplinären Aspekten**

Das Thema der Seltenen Erden begrenzt sich nicht auf das Fach Chemie, vielmehr hat es auch zahlreiche Bezugspunkte zu geographischen, physikalischen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten.

Um dies den SuS zu verdeutlichen, wurde als erster Schritt ein Screencast für den Teilaspekt der Geographie und Geologie produziert, der einen Bogen von der Entstehung der Elemente bis zur Förderung und den Abbau der Elemente durch den Menschen schlägt (http://www.bcp.fu-berlin.de/natlab/e-learning/Seltene-Erden/SuS_nachbereitung/index.html). Bei der Produktion wurde die AG NatLab von Dr. Jürgen Kirstein aus der Didaktik der Physik der FU Berlin unterstützt.



Abb. 24: Startseite Screencast zur Geographie und Geologie der Seltenen Erden

- Vergleich Minenbilder
Zur Veranschaulichung des – auch im Geo-Screencast angesprochenen – Voranschreitens der Umweltbelastung durch den Abbau der Metalle der Seltenen Erden, können die SuS mit Hilfe eines Reglers zwei übereinander gelegte Fotos der Bayan Obo Mine verglichen, die im Abstand von fünf Jahren aufgenommen wurden.

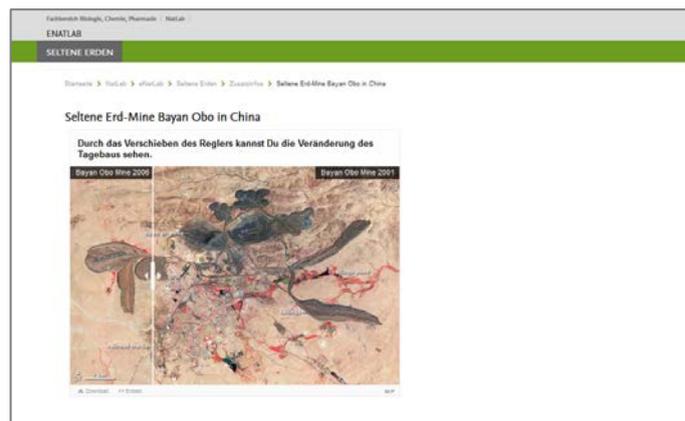


Abb. 25: Veranschaulichung Umweltbelastung

5.4 Geschütztes Angebot für Lehrkräfte

Der Zugang zum dritten Bereich des Lernraums ist Lehrkräften vorbehalten. Mit der Bestätigung ihrer Online-Anmeldung zu einem Kurstermin, erhalten sie das Passwort, um auf die Startseite zu kommen und die dort gesammelten Angebote nutzen zu können.



Abb. 26: Startseite Lehrkräfte

- **Video des Einführungsvortrags**

Zur eigenen Einarbeitung in die Thematik der Seltenen Erden können Lehrkräfte ein Video des Einführungsvortrags sehen, der den SuS üblicherweise zu Beginn des Besuchs im Schülerlabor gehalten wird. Für die fächerübergreifende Behandlung der Thematik, erleichtert dieses Angebot zudem die Einbeziehung von Kolleg*innen, die nicht selbst an einer Fortbildung im NatLab teilgenommen haben.

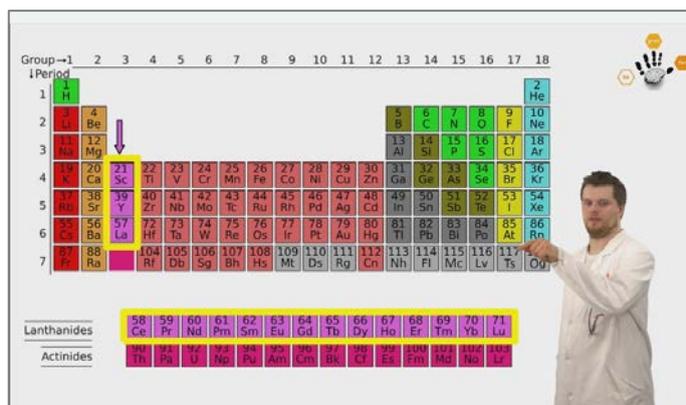


Abb. 27: Video Einführungsvortrag

- **Arbeitsbögen** (siehe Anhang)

Zur weiterführenden Behandlung des Kursthemas *Seltene Erden* im Unterricht wurden zu den Experimenten Arbeitsbögen entwickelt, anhand derer die durch das Experimentieren im Schülerlabor gewonnenen fachlichen Erkenntnisse rekapituliert und verfestigt werden sollen. Als zweites Dokument steht jeweils ein Lösungsbogen zur Verfügung, dem Lehrkräfte den Erwartungshorizont entnehmen können und auf dem auch die Bezüge zum Berliner Rahmenlehrplan aufgezeigt werden. Beide Dokumente können als PDF runtergeladen werden.

- **Linksammlung**

Damit Lehrkräfte sich nach ihrem individuellen Bedarf und Schwerpunkt weiter zur Thematik informieren können, gibt es schließlich noch eine Linksammlung, die in unterschiedlichen Kategorien auf weiterführendes Material und/oder Angebote verweist:

- Informationen zu den Seltenen Erden: Links zu Artikeln und Abhandlungen
- Unterrichtsmaterialien zur Bildung zur Nachhaltigkeit:
Link zur Unterrichtseinheit zur Problematik der Handyherstellung
- Videos: Links zu Dokumentationen und Kurzvideos zum Themenkreis
- Online-Spiele zum Lebenszyklus von Handys: Links zu einer virtuellen Erforschungstour der Smartphonebranche sowie einem Online-Planspiel zum Thema Arbeitsbedingungen beim Abbau von Seltenen Erden
- Apps- + Online-Angebote zum Chemie-Unterricht: Links zu Anwendungspaketen mit Hilfen und Trainern, Screencasts zu Schülerfragen sowie dem YouTube-Channel *TheSimpleChemics*.

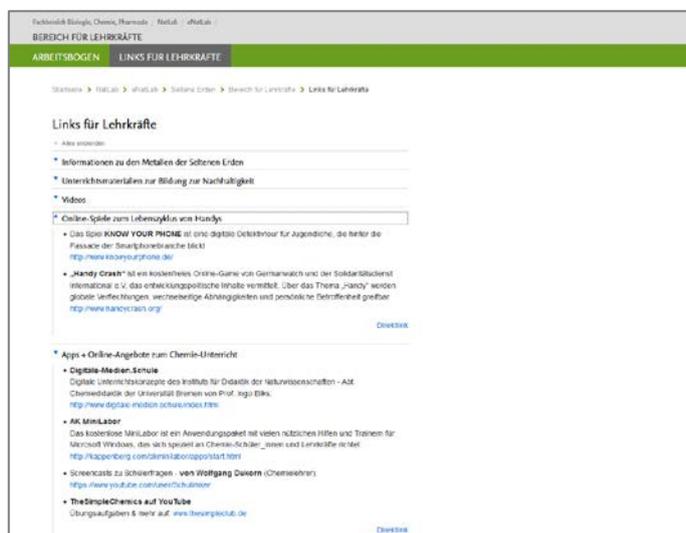


Abb. 28: Linksammlung

6 Kursangebote

6.1 Breitenförderung

6.1.1 Reguläre Kursbesuche

Ein regulärer Besuchstag im Schülerlabor NatLab läuft so ab, dass die SuS nach einer Sicherheitsbelehrung zum Verhalten im Labor in Kleingruppen mit 4-5 TN aufgeteilt werden, die jeweils von einem Studierenden betreut, einen Versuch des Experimentierzyklus durchführen. Während der letzten 35 min findet ein Museumsrundgang statt, in dem die Schülergruppen sich gegenseitig die Versuche vorstellen.

Über die Projektlaufzeit haben 33 Schülergruppen an regulären NatLab Kursen zum Thema *Seltene Erden* teilgenommen, vereinzelt kamen die Gruppen sogar aus weiter entfernten Bundesländern und nahmen das Angebot im Rahmen einer Klassenfahrt wahr.

Im Bereich der Breitenförderung war die Sekundarstufe I somit durch 332 Schülerinnen und Schüler vertreten, die Sekundarstufe II mit 162. Die überwiegende Mehrheit der Oberstufenkurse waren Chemie-Leistungskurse. Die Mittelstufenklassen kamen in der Regel aus der 9./10. Jahrgangsstufe, fünf Schülergruppen mit insgesamt 53 TN führten die Seltenerd-Experimente bereits in der 8. Jahrgangsstufe im Rahmen einer Berufsorientierung durch, wofür der Inhalt des Kurstages eigens auf das Kenntnissniveau der SuS angepasst war.

6.1.2 Girls' Days - Mädchen Zukunftstag

Immer am dritten Donnerstag im April findet bundesweit der Mädchen Zukunftstag *Girl's Day* statt, an dem sich die Freie Universität regelmäßig mit einer breiten Palette von Angeboten beteiligt, um Mädchen der 5. bis 10. Klasse Einblicke in die Praxis verschiedenster Ausbildungs- und Berufsbereiche zu gewähren. Im Mittelpunkt stehen dabei zukunftsorientierte naturwissenschaftliche, technische und technikahe Berufsfelder, da diese Karrierewege von Mädchen noch immer viel zu selten eingeschlagen werden.

Das NatLab beteiligt sich am *Girl's Day* seit 2015 für den Bereich Chemie mit einem Workshop zum Thema Seltene Erden. Voraussetzung für eine Teilnahme ist der Besuch der Klassenstufe 9 oder 10, um die Experimente fachlich nachvollziehen zu können. Das Angebot wird über die FU-Website zum *Girl's Day* veröffentlicht und ist in der Regel bereits am ersten Tag ausgebucht. Über die Projektlaufzeit haben 51 Schülerinnen an den *Girl's Day*-Workshops teilgenommen.

The screenshot shows the website for 'Girls' Day an der Freien Universität Berlin'. The main content area features a workshop titled 'HIGHTECH-METALLE' in the field of 'Biologie, Chemie, Pharmazie'. The workshop is led by Dr. Katharina Maria Kowal, a guest from Randor. The description explains that the workshop is for 10 to 12 students and focuses on the 'strategic metals' (rare earths, silver, gold, and platinum). It notes that due to the increasing demand for these metals, the workshop aims to provide practical experience and awareness of their sustainable use. The workshop is held at the ANCIET laboratory. On the right side, there are details for the 'LANGER WORKSHOP' (10:30 to 12:30 Uhr) and the 'KLASSENSTUFE' (9. bis 10. Klasse). A 'TREFFPUNKT' (Meeting Point) is listed as 'Chemie, Institut für Angewandte Chemie, Fabrikstr. 3a-3b, 14195 Berlin'.

Abb. 29: Kursbeschreibung auf der FU-Webseite zum Girls' Day 2018

6.2 Interessiertenförderung

6.2.1 Mint400 Hauptstadtforum

Der Verein *MINT-EC*, ein nationales Excellence-Netzwerk von Schulen mit Sekundarstufe II und ausgeprägtem Profil in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) hält Jedes Jahr im Februar das *Hauptstadtforum MINT400* ab: 400 Schülerinnen und Schüler sowie 100 Lehrkräfte von *MINT-EC*-Schulen treffen sich für zwei Tage zum Netzwerktreffen in Berlin.

Am zweiten Tag besuchen die Schülerinnen und Schüler sowie die Lehrkräfte Workshops an unterschiedlichen wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen in und um Berlin, um durch eigenes Experimentieren individuelle Fähigkeiten und Interessen zu entdecken und weiterzuentwickeln. Eine dieser Einrichtungen ist seit Jahren das NatLab, wo in den Jahren 2015 und 2018 ein Workshop zum Thema Seltene Erden angeboten wurde. 30 SuS haben in diesem Rahmen Experimente aus dem Seltenen Erden-Zyklus durchgeführt.

6.2.2 Osterferien-Workshops

In den Jahren 2015 und 2016 hat das NatLab in den Osterferien interessierten SuS der 9. und 10. Jahrgangsstufe Workshops zum Thema Seltene Erden angeboten. 23 SuS nahmen das zwei- bzw. dreitägige Angebot in Anspruch und führten die bis dahin entwickelten Experimente durch.

NatLab

OSTERFERIEN 2016

WORKSHOP I: NANO UND MULTIVALENZ
 ab 11. Klasse
 Mo 22.03. - Mi 23.03.2016 von 10 - 15 Uhr

WORKSHOP II: SELTENE ERDEN
 9./10. Klasse
 Mi 30.03. - Fr 01.04.2016 von 10 - 15 Uhr

Hast du in den Osterferien noch nichts vor? Und keine Lust zwei Wochen einfach nur zu Hause rumzusitzen? Bist du naturwissenschaftlich interessiert und hast Lust ein wenig Uni-Luft zu schnuppern?

Und nu?
 In unseren Workshops hast du die Möglichkeit, in Experimenten durchzuführen, im Chemielabor zu arbeiten und dich mit Studenten auszutauschen.

Voraussetzungen?
 Neugierde und Faszination an deiner Umwelt und der Chemie. Um fächliches Vorwissen musst du dir keine Sorgen machen, die theoretischen Hintergründe durchleuchten wir vorab im Detail.

Interesse?
 Dann schreibe bis zum 14.03.2016 eine E-Mail an: wrandowclara@zedat.fu-berlin.de
 Die Teilnahmegebühr beträgt 11€ je Workshop, die Anzahl an Teilnehmern ist auf 12 begrenzt.

Wo?
 Schülerlabor **NatLab**
 der Freien Universität Berlin
 Raum U 311
 Fabekstr. 34-36
 14195 Berlin
 (U-Bahnhof Dahlem Dorf)

In diesem Workshop zeigen wir Schülern der Oberstufe durch

- die Synthese eines Nanotransporters
- die Synthese von Nano-Gold-Partikeln und
- das Arbeiten mit einem Rastertunnelmikroskop

einige Facetten der Nanochemie.

**Kling alles total kompliziert?
 Macht aber einen Riesenspaß!!**

Im Seltene-Erden-Workshop setzen wir uns mit Schülern der Klassen 9 und 10 mit den interessantesten Metallen der nebulösen „Seltene Erden“ auseinander.

Wir werden

- einen historischen Glühstrumpf herstellen
- Handys auseinander nehmen
- einen Fluoreszenzfarbstoff kochen und
- eine Festkörpersynthese zur Herstellung eines Supraleiters durchführen.

Quelle: <http://www.dahlemlab.natlab.fu-berlin.de>

Weitere Infos:
www.natlab.de

Abb. 30: Einladungs-Flyer für die Osterferien-Kurse 2016

6.2.3 Sommeruni

Die Freie Universität Berlin veranstaltet seit 2004 alljährlich die *Sommeruni für Schülerinnen und Schüler*: SuS der 10. bis 13. Klassen sind in den letzten beiden Wochen der Berliner Sommerferien eingeladen, Vorträge und Workshops oder Experimentierkurse der Fachbereiche Physik, Mathematik und Informatik, sowie Biologie, Chemie, Pharmazie zu besuchen und einen Einblick in den universitären Alltag bekommen.

Seit 2015 bietet das NatLab den Kurs zu den Seltenen Erden im Rahmen der Sommeruni als einwöchigen chemischen Experimentierkurs an. Nach Vervollständigung des Experimentierzyklus ist der Kursablauf so gestaltet, dass die Kursteilnehmer in Kleingruppen von 3 SuS aufgeteilt werden und jeden Tag einen anderen von Studierenden betreuten Versuch aus dem Experimentierzyklus absolvieren. Parallel wird täglich ein Schritt

des Versuchs zum Supraleiter durchgeführt, der z. B. aufgrund des Backvorgangs eine zeitliche Aufteilung erfordert.

Zur Integration des neu geschaffenen Online-Lernraums hatten die SuS 2017 zusätzlich die Aufgabe, die Durchführung der Experimente mit iPads zu dokumentieren, unter anderem um Material für die Erstellung der Fließdiagrammen für die Nachbereitung zu schaffen. Zudem wurde ein iPad-Tag durchgeführt, an dem die SuS selbstständig zu den Seltenen Erden recherchieren und daraus ein kurzes Lernvideo erstellen sollten. Diese Aufgabenstellung fand jedoch nicht bei allen TN Anklang. Für 2018 wird dieses Konzept daher modifiziert, eine Idee ist die Durchführung des Online-Planspiels ‚Know Your Phone‘, um die Aspekte zur Nachhaltigkeit noch intensiver im Kurs zu berücksichtigen.

Am letzten Tag wird stets eine Exkursion zu einer zum Inhalt passenden Institution unternommen, bislang waren dies das Recycling-Unternehmen Remondis, das Institut für Technischen Umweltschutz der TU Berlin sowie die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

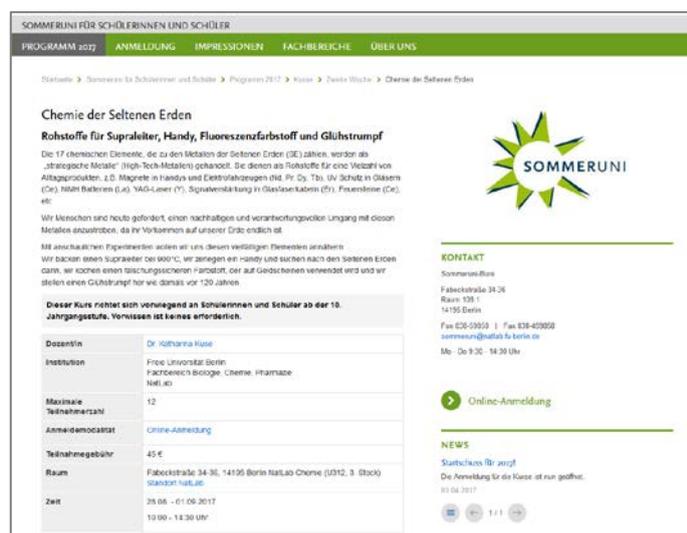


Abb. 31: Kursbeschreibung auf der Sommeruni-Webseite 2017

Nach der etwas zögerlichen Anmeldung von nur 6 TN im ersten Jahr, waren die 12 verfügbaren Plätze 2016 und 2017 schnell ausgebucht.

6.2.4 Mädchenseminar NATürlich

Die Seminarreihe NATürlich – Schülerinnen treffen Naturwissenschaftlerinnen führt das NatLab im Auftrag des Fachbereichs Biologie, Chemie, Pharmazie durch: An bis zu 10 Terminen im 14tägigen Rhythmus besuchen Schülerinnen Wissenschaftlerinnen an ihren Arbeitsplätzen, um individuelle Einblicke in unterschiedliche Berufszweige und verschiedene Werdegänge zu erhalten.

An einem der Nachmittage werden in jedem Durchgang chemische Experimente aus dem NatLab-Portfolio praktisch durchgeführt, in diesem Rahmen haben rund 90 Mädchen auch Versuche aus dem Zyklus zu den Seltenen Erden ausprobiert.

7 Fortbildung von Lehrkräften

Das NatLab hält seine begleitenden Lehrkräfte dazu an, vor einem Schüler-Experimentiertag eine Fortbildung zur entsprechenden Thematik zu besuchen, damit sie sich ein Bild von den Inhalten der Experimente machen und ihre SuS bestmöglich begleiten sowie den Besuch gut in den Unterricht integrieren können. Daher werden in unregelmäßigen Abständen Fortbildungen zu den Kursinhalten angeboten.

Da das Thema der Seltenen Erden nicht im Rahmenlehrplan enthalten ist, war es in diesem Fall besonders wichtig, Interesse bei den Lehrkräften zu wecken und für das neue Angebot zu werben. Dafür wurde der Experimentierzyklus an verschiedenen Stellen Lehrkräften präsentiert:

7.1 Studienreise aus Polen

Im Zusammenhang mit einem Projekt der Wirtschaftsuniversität Wroclaw/Breslau (Polen), einer Projektpartnerin der Alice-Salomon-Hochschule Berlin, führte Anfang 2015 eine Studienreise 30 polnische Lehrkräfte nach Berlin. Basierend auf der Idee Mathematik, Informatik, Technik und naturwissenschaftlichen Fächer im Unterricht an polnischen Schulen zu fördern, wurde den Gästen das Schülerlabor vorgestellt und ausgesuchte Schülerexperimente, u.a. der Glühstrumpfversuch präsentiert.

7.2 Workshop beim 13. MNU Kongresses Berlin Brandenburg 2015

Am 24./25. September 2015 richtete der MNU Landesverband Berlin-Brandenburg (Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts) einen Kongress an der Freien Universität aus, im Rahmen dessen diverse Workshops aus den Bereichen Mathematik, Physik, Chemie, Biologie, Informatik, Astronomie, Sachkunde und Naturwissenschaften angeboten wurden.

Donnerstag, 24. 9. 2015 13:30 - 17:00 Uhr
parallel zu vorgenannten Workshops
Schülerlabor NatLab, Fabeckstraße 34-36

Dr. Katharina Kuse, Schülerlabor NatLab an der FU Berlin
„Seltene Erden“

Innerhalb des Workshops werden Experimente angeboten, die sich mit den Fragen „Was sind Seltene Erden? Was steckt in einem Handy? Welche Eigenschaften besitzen sie?“ beschäftigen

Im Verlauf des Workshops werden 3 Versuche parallel durchgeführt:

- 1) die Herstellung eines historischen Gasglühstrumpfs,
 - 2) die Herstellung einer supraleitenden Keramik
 - 3) die Demontage eines Handys mit Isolierung der Seltenerdmetalle
- Diese Metalle haben zunehmend Bedeutung in Produkten der High-Tech-Branche, die den Schüler_innen aus dem Alltag sehr vertraut sind (Handy, Computer, etc.). Die Unterrichtsfächer Geochemie, Chemie und Physik geben sich hier die Hand!
Zielgruppe Schüler: Sekundarstufe I

Abb. 32: Kursbeschreibung im Abstract zu den Workshops des MNU Kongresses

Dr. Kuse stellte 12 Lehrkräften aus verschiedenen Berliner Schulen das NatLab-Angebot zu den Seltenen Erden vor: Nach einer Einführung mittels PowerPoint wurden die Lehrkräfte sicherheitsbelehrt und anschließend in vier Gruppen eingeteilt. Reihum hatten dann alle Lehrkräfte die Gelegenheit, jeden der vier Versuche – teilweise praktisch, teilweise demonstrativ - kennenzulernen. Die entsprechenden Skripten wurden ausgelegt.

7.3 Workshop beim Lehrerkongress „Ohne Chemie ist alles nichts“ 2015

Am 09.10.2015 richtete der Verband Nordostchemie mit Kooperationspartnern - z.B. Campus Berlin-Buch, dem Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin, Gläsernes Labor, dem NatLab und anderen Schülerlaboren des Berlin Brandenburgischen Netzwerks GenaU - einen Lehrerkongress für 250 Lehrkräfte aus dem Bereich Naturwissenschaften aus. Der Kongress richtete sich an Grundschullehrkräfte und Lehrkräfte der Sekundarstufe I und II und Lehrkräfte an allgemein- und berufsbildenden Schulen. In über 30 Workshops, Führungen und Vorträgen konnten die Teilnehmer*innen neue Impulse für einen attraktiven naturwissenschaftlichen Schulunterricht gewinnen.

Über 20 Lehrkräfte aus verschiedenen Berliner Schulen haben an dem Workshop *Seltene Erden* teilgenommen, der nach dem auf dem MNU-Kongress erfolgreich erprobtem Konzept durchgeführt wurde.



Abb. 33: Versuchs-Präsentation für Lehrkräfte im MDC 2015

7.4 Lehrkräftefortbildung Januar 2018

Am 15. Januar 2018 veranstaltete das NatLab in den eigenen Räumen eine Lehrerfortbildung für den Experimentierkurs Seltene Erden, in dem der vollständige Experimentierzyklus sowie die Online-Angebote zur Vor- und Nachbereitung vorgestellt werden. Angeboten wurden 25 Plätze, die rasch ausgebucht waren, aufgrund einer Grippewelle erfolgten jedoch am Veranstaltungstag sechs Absagen.

Eröffnet wurde die Veranstaltung mit einem Impulsvortrag zur Thematik der Seltenen Erden von Prof. Dr. Peter Roesky vom Karlsruher Institut für Technologie. Im Anschluss wurde den Lehrkräften der Vorbereitungsbereich des Online-Lernraums zum Kursthema vorgestellt und durch ausgeteilte iPads Gelegenheit gegeben, diesen eigenständig zu erforschen. Nach einer Sicherheitsbelehrung hatten die TN dann wiederum in einem Experimentier-Karussell die Möglichkeit, in jeweils 15 Minuten eine praktische Einführung in alle fünf Versuche des Zyklus zu erhalten. Dr. Kuse stellte daraufhin die Anknüpfungspunkte zum aktuellen Berliner Rahmenlehrplan vor. Abschließend wurden die digitalen Nachbereitungsmöglichkeiten für SuS sowie Lehrkräfte zur Vertiefung des Laborbesuchs präsentiert sowie der Einsatz des Classroom-Response-Tools *plickers* demonstriert.

7.5 Einbindung von angehenden Lehrkräften und Studierenden der FU-Berlin

Eine kontinuierliche Funktion als Multiplikatoren der Thematik der Seltenen Erden übernehmen zudem Studierende der FU Berlin, die als studentische Hilfskräfte bzw. angehende Lehrkräfte in der Durchführung der Experimente geschult werden und die SuS während ihres Besuchs im Schülerlabor betreuen. Besonders die

Lehramt-Studierenden tragen ihre Kenntnisse in die Schulen und helfen dabei, die Thematik im Studium bzw. später im Unterricht zu etablieren. Aufgrund des Studienfortschritts der Kursbetreuer wird dieser Pool zwangsläufig stetig erweitert.

8 Öffentlichkeitsarbeit

8.1 Lange Nacht der Wissenschaften

Unter dem Titel *Lange Nacht der Wissenschaften* öffnen in Berlin und Potsdam Anfang Juni alljährlich rund 70 wissenschaftliche und wissenschaftsnahe Einrichtungen ihre – sonst häufig verschlossenen - Türen für die Öffentlichkeit. Allein die Freie Universität Berlin bringt sich am Wissenschaftsstandort Dahlem regelmäßig mit mehr als 500 Einzelveranstaltungen ein: Ein interessantes und vielseitiges Veranstaltungsprogramm bietet Einblicke und neue Erkenntnisse über die grundlagen- und anwendungsorientierten Forschungsaktivitäten. Das NatLab präsentiert mit Auszügen aus seinen Experimentierzyklen sowie kleinen Showversuchen ein anschauliches Programm mit Einblicken in seine neuen Entwicklungen. Unter dem Aspekt der Bildung für nachhaltige Entwicklung wurde in diesem Rahmen auch der Seltenerd-Zyklus wiederholt interessierten Besuchern anhand von Postern und Anschauungsmaterialien wie z.B. dem Supraleiter vorgestellt. Als besonderer Besuchermagnet hat sich 2017 das neue Rohstoffquiz erwiesen.



Abb. 34: Quizrad bei der Langen Nacht der Wissenschaften 2017

Das Quiz besteht aus einem „Glücksrad“, für das eine Fahrradfelge abschnittsweise in drei Farben lackiert und auf eine Halterung montiert wurde, das von den Teilnehmer*innen angestoßen wird. Abhängig davon, in welchem Farbabschnitt das Rad zum Stehen kommt, bekommen die Kandidat*innen eigens entwickelte Fragen aus den Kategorien „Rohstoffe“ (rot), „nachwachsende Rohstoffe (grün) oder „allgemeine Fragen“ (gelb) Fragen zu Rohstoffen gestellt. Für drei richtige Antworten gab es einen Schmuckstein als Belohnung.

8.2 Arbeitsfrühstück bei Nordostchemie 2014

Bei einem von Nordostchemie initiierten Arbeitsfrühstück am 23.09.2014 wurden Vorschläge für Projekte zur Fortbildung von Lehrkräften gesammelt. In diesem Rahmen wurde der damals noch in der Entwicklung befindliche Experimentierzyklus *Seltene Erden* zum ersten Mal kurz vorgestellt und als Fortbildungsthema platziert.

8.3 Woche der Umwelt 2016

Auf Einladung des Bundespräsidenten und der Deutschen Stiftung Umwelt (DBU) fanden sich am 7./8. Juni 2016 rund 13.000 Besucher, Mitwirkende und Aussteller zur „Woche der Umwelt 2016“ im Park von Schloss Bellevue zusammen. Etwa 200 Aussteller stellten innovative Ideen und Projekte zur Nachhaltigkeit vor. Das NatLab beteiligte sich unter dem Dach des Schülerlabornetzwerks GenaU mit der Präsentation des unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit entwickelten Versuch „Rückgewinnung von Neodym aus einem Handy“. Zudem hielt Prof. Dr. Skiebe-Corrette im DBU-Fachforum *MINT-Umweltbildung und Nachhaltigkeitsbewertung* einen Pitchvortrag zu den Seltenen Erden.

8.4 GDCh-Wissenschaftsforum Chemie 2017

Die Gesellschaft Deutscher Chemiker beging im Rahmen des Wissenschaftsforums Chemie 2017 vom 11.-14. September 2017 den 150. Jahrestag ihres Bestehens mit einem Jubiläumskongress, der an der Freien Universität abgehalten wurde.

8.4.1 Schülertag

Teil des mehrtägigen Kongressprogramms war ein Experimentiertag für Schülerinnen und Schüler am Eröffnungstag. Dieser fand von 14:00 – 18:00 Uhr im Erdgeschoss des Instituts für Chemie und Biochemie der Freien Universität Berlin statt. Die Berliner Universitäten luden gemeinsam mit der Universität Potsdam SuS zum selbständigen chemischen Experimentieren ein.

Das Angebot richtete sich an nawi- und chemieinteressierte Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 5 bis 13. Unter Begleitung von Studierenden der Universitäten konnten die SuS in die Rolle einer Chemikerin bzw. eines Chemikers schlüpfen. Das NatLab war auch hier u.a. mit einem Experiment zu den Seltenen Erden vertreten und hat das Phänomen der Supraleitung präsentiert. Auch das bereits beschriebene Rohstoff-Quizrad kam erneut zum Einsatz. Insgesamt besuchten über 160 Schülerinnen und Schüler diesen Tag.

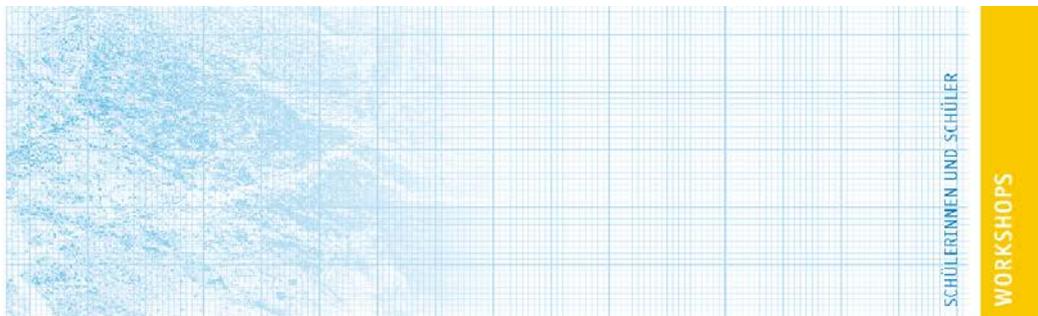
8.4.2 Poster-Wettbewerb

Im Rahmen dieser Tagung beteiligte sich Dr. Kuse zudem für das NatLab mit einem Beitrag zum *Seltenerd-Zyklus* an der Postersession der Fachgruppe Chemieunterricht und wurde mit einem der drei Posterpreise ausgezeichnet (siehe 9.4).

8.5 Veröffentlichungen

8.5.1 Dokumentation des MINT400 Hauptstadtforums 2015

Im Anschluss an das MINT400 Hauptstadtforum am 12./13.02.2015 in Berlin-Buch wurde folgende Beschreibung einer teilnehmenden Schülerin in der Dokumentation des MINT-EC veröffentlicht:



Seltenerdmetalle

SCHÜLERLABOR NATLAB,
FREIE UNIVERSITÄT BERLIN

Seltenerdmetalle: Diese mysteriösen Elemente im Periodensystem, die im Lehrbuch immer etwas ausgeschlossen unten am Rand stehen und unter dem Namen „Lanthanoide“ im Schulunterricht ignoriert werden, sollten also für den Tag unser Thema sein. Im Chemiegebäude der FU Berlin wurden wir herzlich empfangen und bekamen einen umfassenden Einblick in die Welt der Seltenerdmetalle. Die schwer zu isolierenden Elemente sind gar nicht so selten, wie der Name es vermuten lässt und werden heutzutage in verschiedenen Bereichen der Technik eingesetzt. Nachdem wir alle mit Laborkittel und Schutzbrille ausgestattet waren, begann der praktische Teil mit Nähen. Ja, nähen. Denn wir sollten einen Glühstrumpf herstellen, wie er sich in Campinglampen befindet. Die besten Glühstrümpfe wurden ausgewählt und in eine selbst hergestellte Lösung aus Yttriumoxid und Ceroxid getaucht. Anschließend stülpten wir die Glühstrümpfe über Reagenzgläser und föhnten sie trocken. Nun konnten wir die Strümpfe mit einem Brenner anzünden: Die Flamme wurde deutlich heller als normalerweise und der Strumpf blieb in schwarzen und weißen Resten zurück. Danach sortierten wir Metalle nach ihren Eigenschaften. Durch effektives Teamwork lösten wir diese Aufgabe optimal.

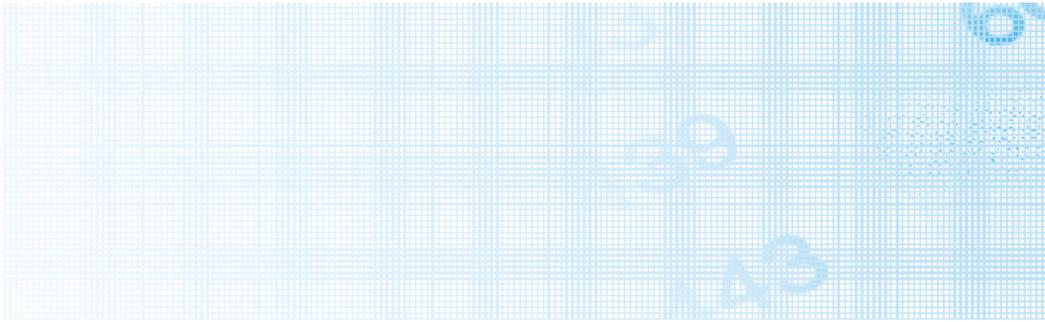
Auf der Suche nach dem Permanent-seltenerd-magneten im Lautsprecher durften wir alte Handys auseinandernehmen. Mit Feingefühl oder Gewalt, je nach Präferenz, kamen die Teilnehmer zum Ziel und legten den Magneten frei. Die Erfolgsquote hing allerdings stark von der Kons-

„Der Workshop war vor allem super organisiert, die Veranstalter waren motiviert und haben alle meine Fragen umfassend beantwortet. Alles, was unklar war, wurde erklärt und ich habe die Arbeit im Labor sehr genossen. Die anderen Schüler im Workshop waren supernett und wir haben uns alle – nicht nur über die Chemie – gut unterhalten. Ich muss jetzt immer, wenn ich Musik auf meinem Handy höre, an unsere lustige Handydestruktion und Lautsprechermagnetsuche im Workshop denken.“

Sibel Savas

truktion und Recyclingfreundlichkeit des Telefons ab. Nach diesen Erfolgen ließen wir unsere Kittel zurück und unternahmen einen Spaziergang zur FU Mensa, in der wir mit guten Gesprächen und gutem Essen die Mittagspause genossen. Danach ging es an den zweiten Teil des Workshops: wir stellten einen Supraleiter her. Zunächst mussten wir die Materialien sehr fein mörsern und vorgebackene Pulver anschließend pressen. Wie gut die Stärkung beim Mittagessen gewesen war, musste nun unter Beweis gestellt werden, da der Hebel der Presse, die unser Pulver zu einer kleinen Tablette formte, von Hand festgezogen werden musste. Nun hatten wir kleine gebackene Tabletten vor uns liegen. Was uns noch zur Fertigstellung des Supraleiters fehlte war Kälte. Denn ein Supraleiter muss bekanntlich eine bestimmte Temperatur erreichen, bevor er zum Supraleiter wird. Daher statteten wir dem flüssigen Stickstofftank einen Besuch ab und nahmen ein paar Liter davon mit ins Labor. Schließlich konnten wir nun die magnetischen Eigenschaften unserer schwarzen Tablette erleben: sie schwebte,

Seite 27



umgeben von flüssigem Stickstoff auf einer Bahn von Magneten. Am Ende wurde sogar noch der Laborschwamm geopfert: wir tauchten ihn in Stickstoff und konnten ihn anschließend mit einem Hammer zerschlagen. Das war der Abschluss unseres erfolgreichen Workshops, der uns einen

tollen Einblick in die große Welt der Seltenerdmetalle erlaubte.

Sibel Savas,
Helmholtz-Gymnasium Karlsruhe,
Baden-Württemberg

Abb. 35: Beschreibung des Seltene Erden-Kurses bei MINT400, MINT-EC Dokumentation 2015, S. 27/28

8.5.2 LeLa Broschüre MINT-Nachhaltigkeitsbildung in Schülerlaboren

In der Anfang 2018 erschienenen Broschüre *MINT-Nachhaltigkeitsbildung in Schülerlaboren* des Bundesverbands der Schülerlabore (LeLa) wurde eine detaillierte Beschreibung des Experimentierzyklus 'Seltene Erden' als Best-Practice-Beispiel aufgenommen (siehe nächste Seiten)

8.5.3 LeLa-Magazin – Ausgabe 20

Unter dem Titel „Schülerlabore und eLearning: Wie passt das zusammen?“ fand der Experimentierzyklus mit seinem Online-Lernraum Erwähnung in einem Artikel in der 20. Ausgabe des LeLa *magazins*, der Verbandszeitschrift des Bundesverbands der Schülerlabore.

„Seltene Erden“ – Chemie-Experimente und BNE im Schülerlabor

Seltene Erden – dieser im Rahmen eines DBU-Projekts vom Schülerlabor NatLab der FU Berlin entwickelte Experimentierzyklus beschäftigt sich mit den chemischen Elementen Yttrium, Cer, Neodym und Europium. Diese auch als Hightech-Metalle bezeichneten Elemente sind Bestandteil vieler moderner Konsumgüter und aus der heutigen Technik für Mobilität, Energiegewinnung oder Telekommunikation nicht mehr wegzudenken.

Auch deshalb stellt der nachhaltige Umgang mit den natürlichen Ressourcen unsere Gesellschaft vor große Herausforderungen: ihr Abbau und ihre Gewinnung betreffen Umwelt und Menschen in erheblichem Maß. Anhand von fünf chemischen Experimenten lernen Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I und II neben chemischen Methoden die Bedeutung der Seltenen Erden als Bestandteil heutiger Technologien kennen und ihr eigenes Konsumverhalten zu reflektieren.

Der Aspekt der Kreislaufwirtschaft zur Reduzierung der Abbaumengen steht bei den Experimenten daher besonders im Fokus. Jährlich landen in Deutschland pro Kopf 21,8 kg wertvolle Metalle im Elektroschrott (Ottaviani, 2014). Diese Rohstoffe zurückzugewinnen und im Sekundärkreislauf für eine Produktfertigung zur Verfügung zu stellen, ist ein zukunftsweisender Umgang mit endlichen Rohstoffen.

Die vielfältigen Einsatzbereiche und die Bedeutung der Seltenen Erden im Alltag lässt sich an vielen Beispielen verdeutlichen. Bei der Zusammenstellung der Experimente wurden Synthesen und Analysen von Produkten gewählt, in denen Seltene

Erden enthalten sind und die gleichzeitig einen Bezug zur Lebenswelt der Schüler haben:

Während der Herstellung eines traditionellen Glühstrumpfs, wie er in den Berliner Gaslaternen bis heute Verwendung findet¹, wird die Entwicklung des künstlichen Lichts erörtert. Die Herstellung des YBCO (Yttrium-Barium-Kupfer-Sauerstoff) Hochtemperatur-Supraleiters wird von der Diskussion von Energieverlusten beim elektrischen Stromfluss bis hin zur aktuellen Grundlagenforschung begleitet (Buckel und Kleiner, 2013). Anwendungsbeispiele sind die Magnetresonanztomographie (MRT) in der Medizin oder Kabel-Pilotstrecken im Ruhrgebiet, auf denen bereits Supraleiterkabel verlegt sind². Die Demontage eines Handys zeigt einerseits die Vielfalt der enthaltenen Stoffe auf und bildet durch die (Rück-)Gewinnung des Neodyms gleichzeitig eine Verknüpfung zur heutigen Recyclingtechnologie. Auch die chemische Synthese von Europiumacetylacetonat, dessen fluoreszierende Eigenschaft als Farbstoff für Ausweise und Banknoten genutzt wird, zeigt eine aktuelle Anwendung. Paracetamol® schließlich ist den meisten Jugendlichen als Schmerzmittel schon seit ihrer Kindheit bekannt. Zur quantitativen Bestimmung des in einer Tablette enthaltenen Wirkstoffs wird die im Europäischen Arzneibuch³ beschriebene Cerimetrie herangezogen, bei der das Seltene Erdmetall Cer Verwendung findet.

Besonders der Versuch zur Rückgewinnung von Neodym ermöglicht durch die im Alltag der Jugendlichen omnipräsenten Smartphones einen niedrigschwelligen Einstieg in das chemische Arbeiten in einem Labor. Die Schüler lernen Aufbau

¹ <http://www.gaslicht-kultur.de/Gaslaternen.html> (Aufruf am 15.06.2017)

² RWE testet in Essen High-Tech-Stromkabel, Wirtschaftswoche 09. April 2014

³ Europäisches Arzneibuch Ph. Eur. 8. Ausgabe, Grundwerk 2014 – 7. Nachtrag

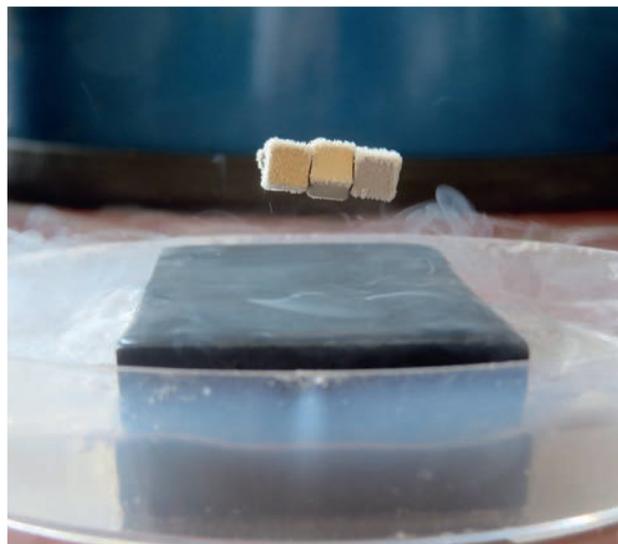
MODUL

und Durchführung von chemischen Synthesen kennen und erhalten einen realistischen Einblick in die Tätigkeit eines Chemikers. Sie erfahren, dass die Stoffe in Konsumgütern einen Ursprung in der Natur haben und die Ressourcen für diese Stoffe begrenzt sind. Die Wichtigkeit der Rückgewinnung bereits verbrauchter Stoffe in Konsumgütern wird aufgezeigt. Ziel ist, die Schüler nicht nur zum analytischen, sondern auch zum systemischem Denken zu animieren. Sie sollen erfassen, wie intensiv Naturwissenschaften und Technik unsere materielle, intellektuelle und kulturelle Umwelt formen.

Am Beispiel der Seltenen Erden werden daher nicht nur die vielfältigen Auswirkungen der Metallgewinnung auf die Umwelt (Gesteinslaugung, Bodenerosion, Grundwassergefährdung) aufgezeigt, sondern auch Fragen der globalen Gerechtigkeit wie Arbeitsbedingungen (Gesundheitsschutz, Löhne) und das aktuelle politische Konfliktpotenzial (Zugriffsrechte, Verteilungsgerechtigkeit) diskutiert. Zudem wird dem Anspruch der Industriegesellschaft auf eine ausreichende Versorgung für die Verwendung in Nachhaltigkeitstechnologien (Windkraftanlagen, Hybridfahrzeuge, Energiesparlampen) nachgegangen.

Unterstützt wird dieser Prozess durch eine derzeit noch im Aufbau befindliche Lernplattform nach dem Inverted Classroom Modell⁴ (Bergmann und Sams, 2012), auf der die Schüler zukünftig zur Vor- und Nachbereitung auf Hintergrundinformationen zu den chemischen Sachverhalten als auch den sozioökonomischen Kontexten zugreifen können. Diese Aspekte konnten bislang nur in den mehrtägigen Workshops der Interessierten-Förderung vertieft werden.

Anhand der zur Verfügung gestellten Materialien können die Schüler üben, verschiedene Perspektiven einzunehmen und Prioritäten zu setzen. Die Schüler gewinnen damit Bewertungskompetenz und werden an den gesellschaftlichen Diskurs he-



Schwebender Supraleiter.

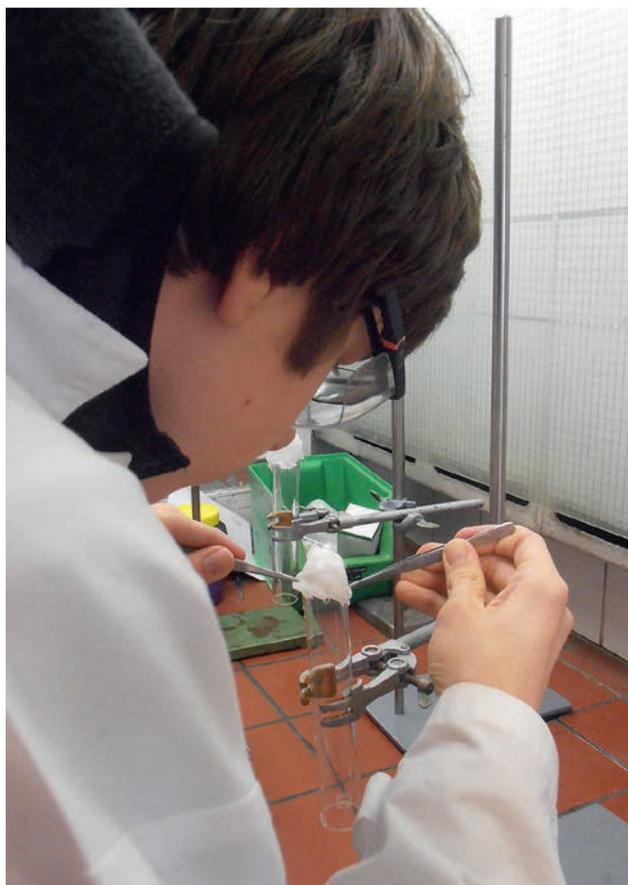
rangeführt. Es werden Lösungsansätze aufgezeigt, die den Einsatz von Seltenen Erden effizienter gestalten, das Recycling vorantreiben und den nachhaltigen und fairen Abbau primärer Rohstoffe fordern.

Dieses Themengebiet findet sich durchaus auch in der aktuellen Forschung wieder: Beispielsweise forschen das Max-Planck-Institut für Chemie und die Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz an der Supraleiter-Technologie, das Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie in Freiberg sowie die Firma Novis in Tübingen am Recycling der Seltenen Erden; das BMBF-Projekt SECUDIS widmet sich Sicherheitsmerkmalen für künftige Ausweis- und Wertdokumente.

Zum Themenkreis Seltene Erden wurden fünf chemische Versuche entwickelt, die unabhängig voneinander je nach Zeitrahmen, Präferenzen sowie Gruppengröße und Alter der besuchenden Schülergruppe parallel angeboten werden.

Je vier bis fünf Schülerinnen und Schüler füh-

⁴ Der Begriff „flipped classroom“ wurde von Bergmann und Sams (2012) geprägt. Der Begriff „Inverted Classroom“ wurde von J. Handke, J. Loviscach und C. Spannagel geprägt: <http://www.uni-marburg.de/aktuelles/news/2012b/invertedclassroom> (Aufruf am 22.06.2017)



Aufziehen eines Glühstrumpfs zum Trocknen.
(Fotos: NatLab)

ren unter Anleitung einen Versuch durch. Abschließend werden in einem „Rundgang“ gegenseitig die Arbeitsprozesse und das Ergebnis präsentiert.

1. Herstellung eines historischen Gasglühstrumpfs (Yttrium, Cer)

Zunächst schneiden die Schüler aus Baumwollstoff einen Strumpfaus und nähen ihn von Hand zusammen. Anschließend fertigen sie eine yttriumhaltige Lösung an und imprägnieren ihren Strumpf damit. Nach einem Trocknungsvorgang wird der Glühstrumpf erhitzt und seine Funktionsfähigkeit über dem Bunsenbrenner erprobt.

2. Herstellung eines Hochtemperatursupraleiters (Yttrium, Neodym)

Die Schüler wiegen die Ausgangsstoffe für die Synthese eines YBCO-Supraleiters auf einer Feinwaage ab und mörsern diese intensiv im Achatmörser. Mit einer hydraulischen Presse stellen sie dann ein Pellet her, das anschließend in einem Rohröfen bei 950 °C gebacken wird. Nach dem Backvorgang wird der Meißner-Ochsenfeld-Effekt demonstriert. Das schwarze Pellet schwebt unter Kühlung mit flüssigem Stickstoff (-196 °C) über einer Fläche aus neodymhaltigen Permanentmagneten.

3. Rückgewinnung von Neodym aus Handys (Neodym)

Im ersten Schritt zerlegen die Schüler ein defektes Mobiltelefon und entnehmen den Lautsprecher, der meist aus einem neodymhaltigen Magneten besteht. Dieser wird auf die Curie-Temperatur erhitzt und so entmagnetisiert. Die poröse Keramik wird dann zerkleinert, gemörsert und in Mineralsäure aufgelöst. Nach einigen nass-chemischen Reaktionsschritten und dem Glühen des Neodym phosphats auf der Magnesiumrinne gewinnt man das fliederfarbene Neodym(III)-oxid.

Der Versuch ist eine ideale Gelegenheit zu vermitteln, dass Handys wegen ihrer komplexen Bauweise getrennt von anderem Elektroschrott gesammelt werden sollten.

4. Synthese eines Fluoreszenzfarbstoffs (Europium)

Zuerst bauen die Schüler eine chemische Syntheseapparatur aus Dreihalskolben, Rückflusskühler, Tropftrichter und Thermometer auf. Anschließend wiegen sie die Ausgangsmaterialien ab und geben sie – teilweise gelöst – zueinander. Die Reaktionsmischung wird erhitzt bis sich ein farbloser Niederschlag bildet. Die Reaktionsmischung wird erhitzt bis sich ein farbloser Niederschlag bildet und anschließend zentrifugiert. Dadurch erhält man einen fluoreszierenden Farbstoff, der unter einer UV-Lampe leuchtet. Abschließend wird der Einsatz

des Farbstoffs auf Banknoten oder Personaldokumenten demonstriert.

5. Bestimmung des Gehalts an Paracetamol® mittels Cerimetrie (Cer)

Zunächst bauen die Schüler eine chemische Apparatur zur Spaltung der chemischen Verbindungen mit Wasser (Hydrolyse) auf. Dann verdünnen sie Säuren mit Hilfe des Mischungskreuzes, stellen Maßlösungen für die Titration – einschließlich Titerstellung – her und titrieren die jeweiligen Substanzen unter Verwendung eines Indikators. Parallel werden die Reaktionsgleichungen in den Redox-titrationen besprochen. Zum Schluss wird der experimentell ermittelte Analysewert mit der Angabe auf der Packungsbeilage verglichen.

Der praktische Schwerpunkt der Experimente liegt auf der Chemie. Durch die Thematisierung der Rohstoffe ist die Geographie ebenso eingebunden, wie auch die Physik. Physikalische Phänomene

werden im Glühstrumpf-, im Fluoreszenz-Versuch (Was ist farbiges Licht?) sowie beim Supraleiter (widerstandslose Leitung von Strom) und auch im Handyversuch (Magnetismus) behandelt. Durch die cerimetrische Analyse von Paracetamol® findet auch die Pharmazie Berücksichtigung. Darüber hinaus ist das Thema Seltene Erden untrennbar mit ethischen, ökonomischen und politischen Fragen verbunden.

Literatur

- Ottaviani, J. (2014). Die Elektronikschrottrepublik. SpiegelOnline – <http://www.spiegel.de/wirtschaft/elektroschrott-in-afrika-recyclingmethoden-schaden-a-1085773.html> (Aufruf am 15.06.2017).
- Buckel, W. und Kleiner, R. (2013). Supraleitung: Grundlagen und Anwendungen, 7. Auflage, Wiley VCH-Verlag, Weinheim.
- Bergmann, J, Sams, A. (2012). Flip your classroom: reach every student in every class every day. Washington, DC: International Society for Technology in Education.

Schülerlabor NatLab

Freie Universität Berlin
Fabeckstraße 34–36 | 14195 Berlin | Berlin



Kontakt: Dr. Katharina Kuse, Ulrike Henriette Jeggler, Prof. Dr. Petra Skiebe-Corrette

Schülerlabor-Kategorie: SchülerLabor^{KLU}

Klassenstufen und Schulart(en): Allgemeinbildende Schulen, Sekundarstufe I + II
(ab Klasse 9)

Fachrichtung: Chemie

Angebot für: ganze Schulklassen/Gruppen

Zeitaufwand: 4 Stunden

Didaktische Methoden: ● Rezeptives Experimentieren ● Die didaktisch entwickelten Kurse/ Module werden von den Schüler_innen in der Regel vollständig nach Anleitung durchgeführt ● „hands-on“-Exponate zum Ausprobieren wie im Museum oder Science Center ● Einblicke in die Berufswelt durch Exkursionen z. B. in die Recycling Branche Filme & Comics/Spiele sind in der Entwicklung

9 Posterveröffentlichungen auf Tagungen

9.1 LernortLabor: 10. Jahrestagung TU Berlin, 08.-10.03.2015

Vom 8.-10. März 2015 nahm das NatLab an der 10. LeLa Jahrestagung an der TU Berlin teil und präsentierte zum Projekt *Seltene Erden* ein Poster, das die bisherigen Ergebnisse zusammenfasst.



NatLab
MITMACH- & EXPERIMENTIERLABOR
FACHBEREICH BIOLOGIE, CHEMIE, PHARMAZIE
FREIE UNIVERSITÄT BERLIN



Freie Universität Berlin

Neuer Experimentierzyklus „Seltene Erden“

Katharina-Maria Kuse (katharina.kuse@fu-berlin.de), Petra Skiebe-Corrette (petra.skiebe@fu-berlin.de)

Freie Universität Berlin - Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie, NatLab - Mitmach- & Experimentierlabor für Schüler/innen, Fabeckstr. 34/36, 14195 Berlin

Ein chemischer Experimentierzyklus für die Sekundarstufe I (9./10. Klasse)

Methoden: Versuch 1

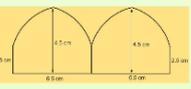
Traditioneller Gasglühstrumpf



- Studienreise polnische MINT Lehrer aus Wroclaw (Polen)
- 7 SuS MINT400 Workshop (MINT-EC)
- Natürlich Mädcheninjekt (17 SuS)
- 20 SuS Einstein-Gymnasium, Detmold

Versuch vorgestellt und durchgeführt

1) Herstellen einer Glühstrumpfkuppel




Schnittmuster: Schneiden und Nähen

2) Anfertigen der Imprägnierlösung



Wiegen auf Feinwaage
Pipettieren mit Peleusball
Lösen und Verdünnen

$$2 Y_2O_3 + 12 HNO_3 + 24 H_2O \longrightarrow 4 Y(NO_3)_3 \cdot 6 H_2O + 6 H_2O$$

3) Anwendung



Demonstration des Gasglühstrumpfs

$$2 Y(NO_3)_3 \xrightarrow{\Delta T} Y_2O_3 + 6 NO_2 + 15 O_2$$

Ytriumnitrat Ytriumoxid

$$2 Ce(NO_3)_3 \xrightarrow{\Delta T} Ce_2O_3 + 6 NO_2 + 15 O_2$$

Ceriumnitrat Ceriumoxid

Versuch 2

Keramischer Hochtemperatur-Supraleiter



- 7 SuS MINT400 (MINT-EC)

Versuch vorgestellt und durchgeführt

1) Präparieren der Reaktionsmischung



Feinpulverisieren im Achatmörser

2) Festkörpersynthese Supraleiter



Backen im Rohr
Hydraulische Presse

$$Y_2O_3 + 4 BaCO_3 + 6 CuO \xrightarrow{\Delta T} 2 YBa_2Cu_3O_{7-x} + 4 CO_2$$

Keramischer Supraleiter

3) Anwendung



Demonstration des Meißner-Ochsenfeld Effekts

Versuch 3

Mobiletelefon Recycling · Seltene Erden



1) Präparieren eines Magneten



Handy - Demontage und Ausbau der Magnete

2) Isolieren des Neodym aus dem Magneten



Auflösen des Magneten

$$Nd_2Fe_{14}B + 34 HCl \longrightarrow 2 Nd^{3+} + 6 Cl^- + 14 Fe^{2+} + 28 Cl^- + B + 17 H_2$$

reakt. Magnet gelöste Ionen versäuert

Oxidation: Fe → Fe²⁺
Reduktion: Nd → Nd³⁺
Reduktion: H⁺ → H₂

3) Anwendung





Oxidation des störenden Eisens (II) pH-Wert einstellen Fällung als Neodymoxalat

$$2 Fe^{2+} + H_2O_2 + 2 H^+ \longrightarrow 2 Fe^{3+} + 2 H_2O$$

Redoxreaktion

$$2 Nd^{3+} + 3 C_2O_4^{2-} \longrightarrow Nd_2(C_2O_4)_3$$

Fällungsreaktion Neodymoxalat

Zusammenfassung:
Wir haben drei neue Schülerversuche (1, 2, 3) zum Thema „Seltene Erden“ entwickelt. Diese Versuche erweitern das Angebot des Schülerlabors NatLab an der Freien Universität Berlin für die Chemie-Mittelstufe.

Danksagung:
Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Förderung des Projektes wie auch dem Fonds der Chemischen Industrie (FCI) für die Sachmittel.

Ausblick:
Der Experimentierzyklus wird zukünftig um einen 4. Versuch vervollständigt, der sich mit dem Thema der Seltenen Erden in Leuchtstoffröhren befasst wird. Auch hier liegt der Fokus, wie beim Mobiltelefon, auf dem Thema Recycling.




geplant durch

Abb. 37: Poster *Neuer Experimentierzyklus Seltene Erden*, 2015

9.3 Woche der Umwelt - 07./08.06.2016

Auf der Woche der Umwelt 2016 wurde der Experimentierzyklus und besonders die Rückgewinnung von Neodym aus dem Handy als ein Beispiel für praktizierte BNE in einem Schülerlabor vorgestellt.



Abb. 39: Poster Wiedergewinnung der Seltenen Erde Neodym aus einem Handy, 2016

9.4 GDCh-Tagung: Postersession der Fachgruppe Chemieunterricht – 12.09.2017

Anlässlich der GDCh-Jahrestagung 2017 beteiligte sich Dr. Kuse für das NatLab mit einem Poster zum *Selten-erd-Zyklus* an der Postersession der Fachgruppe Chemieunterricht und wurde mit einem der drei Posterpreise ausgezeichnet.



NatLab
NACHHALTIGES EXPERIMENTIERLABOR
CHEMIEUNTERRICHT, LEHRKRAFT, PHARMAZIE
FREIE UNIVERSITÄT BERLIN



Freie Universität Berlin

„Seltene Erden“ - Chemieexperimente und BNE im Schülerlabor

Katharina-Maria Kuse (katharina.kuse@fu-berlin.de), Petra Skiebe-Corrette (petra.skiebe@fu-berlin.de)

Freie Universität Berlin - Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie, NatLab - Mitmach- & Experimentierlabor für Schüler/Innen, Fabekstr. 34/36, 14195 Berlin

Zielgruppe Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I und II

Einleitung:
„Die nachhaltige Nutzung der Seltenen Erden (SE) und der Edelmetalle Silber, Gold und Platin“ ist ein Projekt, das seit 2014 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert wird. Rohstoffgewinnung, Ressourcen und Reserven sind Begriffe die eng mit den Metallen der Seltenen Erden verknüpft sind. Als Kunde auf dem globalen Rohstoffmarkt importiert Deutschland in großem Maße Seltene Erden. Diese zählen zu den High Tech Metallen, die sich in modernen Produkten und Anwendungen wiederfinden, z.B. Smartphones, Plasma/LCD-Bildschirmen, Grüne Technologie Produkte, LED- & Energiesparlampen, Kopfhörer etc. Rohstoffe, die in geringen Ländern in abbaubarer Menge vorkommen, wie auch Länder, die politisch oder wirtschaftlich kritisch bewertet werden, gelten hinsichtlich einer zukünftigen Verfügbarkeit von Rohstoffen als unsicher. Der Experimentierzyklus mit Inhalt „Seltene Erden“ besteht aus insgesamt vier Versuchen. Wir möchten mit diesen Versuchen das Interesse junger Menschen an Umweltschutz und nachhaltiger Entwicklung fördern. Der unmittelbare Zusammenhang zwischen dem eigenen Konsumverhalten und den für die Alltags-Produkte benötigten Rohstoffen wird aufgezeigt. Mit Blick auf die Schlüsselkompetenzen ist es Ziel, die SuS in der Urteilsfindung zu fördern, themenbezogene Diskussionen anzuregen und ihre eigene Handlungsfähigkeit bewusst zu machen. Dieses Projekt ist ein Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE). Ein Experimentierzyklus für ein Schülerlabor wurde entwickelt und in das Experimentierangebot des Schülerlabors implementiert.

SE Produkt Herstellung

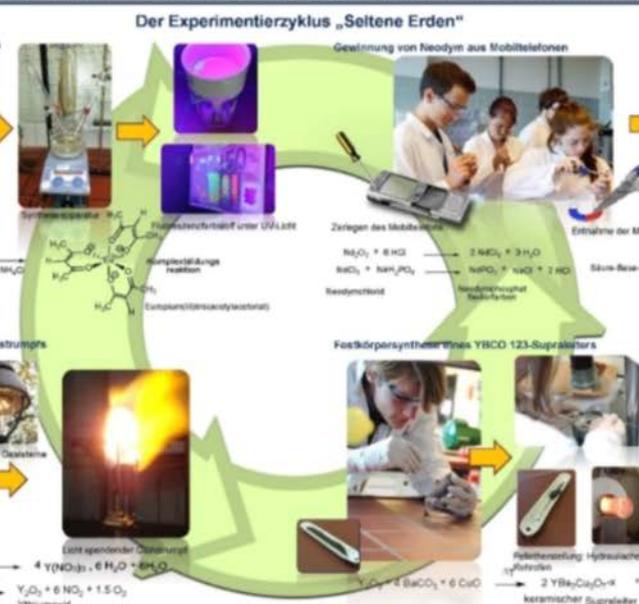
Synthese eines Fluoreszenzfarbstoffs



$EuCl_2 + 3 H_2C_2O_4 \rightarrow Eu(C_2O_4)_3 + 3 H_2O$

Europiumchlorid Ammoniumoxalat

Der Experimentierzyklus „Seltene Erden“



SE Recycling

Wiedergewinnung von Neodym aus Mobiltelefonen



Auflösen → Ausfällen → Abfiltrieren

SE Verarbeitung

Herstellung eines traditionellen Glühstrumpfes



$2 Y_2O_3 + 12 HNO_3 \rightarrow 4 Y(NO_3)_3 + 6 H_2O + 6 H_2O$

$2 Y(NO_3)_3 \xrightarrow{NT} Y_2O_3 + 6 NO_2 + 1.5 O_2$

Yttriumnitrat Yttriumoxid

SE Aktuelle Forschung

Festkörpersynthese eines YBCO 123-Supraleiters



$Y_2O_3 + BaCO_3 + 6 CuO \rightarrow 2 YBa_2Cu_3O_{7-x} + 4 CO_2$

Yttriumoxid Bariumcarbonat Kupferoxid

Evaluation des Experimentierzyklus durch SuS und Lehrkräfte



Zusammenfassung:
Dieser aus vier Schülerversuchen bestehende Experimentierzyklus zum Thema „Seltene Erden“ wird vorgestellt. Die Versuche wurden passend zum vierstündigen Konzept des Schülerlabors NatLab an der FU Berlin entwickelt. Das Angebot des Schülerlabors für die Mittel- und Oberstufe in Chemie (Sek I/II) wurde erweitert. Mit dem Ziel SuS die Voraussetzungen unseres Konsums zu vergegenwärtigen nämlich den Abbau von Rohstoffen, und den damit einhergehenden Folgen, wird der Begriff „Nachhaltigkeit“ und ein ressourcenschonender Konsum diskutiert. Mögliche Aspekte können beispielweise eine längere Nutzungsdauer oder vermehrtes Recycling elektronischer Geräte wie Mobiltelefone sein.

Ausblick:
Vor- und Nachbereitungsinhalte für SuS und Lehrkräfte um die Durchführung des Experimentierzyklus ist eine Online-Plattform mit E-Learning Materialien in Planung. SuS werden sich seitlich unabhängig und in ihrem eigenen Lerntempo auf einen Besuch in unserem Schülerlabor vorbereiten können.



DBU
Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Danksagung:
Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Förderung des Projektes wie auch dem Fonds der Chemischen Industrie (FCI) für die Bereitstellung der Sachmittel.



FCI
Fonds der Chemischen Industrie

Abb. 40: Prämiertes Poster *Seltene Erden - Chemieexperimente und BNE im Schülerlabor, 2017*

Seite 42

9.5 DBU-Workshop MINT-Nachhaltigkeitsbildung – 24.11.2017

Auf Einladung von LeLa präsentierte das NatLab beim Workshop *Von der MINT-Umweltbildung zur MINT-Nachhaltigkeitsbildung* - der Abschlusskonferenz des DBU-Projekts „NTU in Schülerlaboren“ - den komplettierten Versuchszyklus sowie die Verknüpfung mit dem eNatLab mit einem Poster. Zur Veranschaulichung hielten Dr. Kuse und Frau Jeggle iPads bereit, auf denen der Online-Lernraum selbst erforscht werden konnte.



NatLab
MITMACH- & EXPERIMENTIERLABOR
FACHBEREICH BIOLOGIE, CHEMIE, PHARMAZIE
FREIE UNIVERSITÄT BERLIN



Freie Universität Berlin

„Seltene Erden“ - BNE in Schülerlabor und Flipped Classroom

Katharina-Maria Kuse (katharina.kuse@fu-berlin.de), Ulrike Henriette Jeggle (ulrike.jeggle@fu-berlin.de), Petra Skiebe-Corvette (petra.skiebe@fu-berlin.de)

Freie Universität Berlin | Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie | NatLab - Mitmach- & Experimentierlabor für Schüler_innen | Fabeckstr. 34-36 | 14195 Berlin

Zielgruppe: Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I und II

Projektbeschreibung

Die Metalle der „Seltene Erden“ (SE) sind eine Gruppe von 17 chemischen Elementen, zu denen neben Yttrium, Scandium und Lanthan die 14 Lanthanide zählen. Sie sind wie die prominentesten Elemente Silber, Gold und Platin - aufgrund ihrer großen Bedeutung für die „strategischen Metalle“ - global die nächstgrößte verfügbare Rohstoffe gilt an. Inwiefern die natürlichen Vorkommen in Abhängigkeit von wachsenden Nachfrage auch und können sich nicht künstlich erschaffen werden. Die Lagerstätten befinden sich zudem hauptsächlich in Ländern, die politisch untereinander wirtschaftlich als kritisch bewertet werden. Gleichzeitig sind die auch als High-Tech-Metalle bezeichneten Seltene-Erden-Metalle unverzichtbarer Bestandteil vieler moderner Produkte und Anwendungen, wie z.B. Smartphones, Plasma-LCD Bildschirme, diverse technologische Produkte, LED- & Laserlampen, Katalysatoren, Kupfer etc. Im Rahmen des Projekts „Die nachhaltige Nutzung der Seltenen Erden und der Edelmetalle Silber, Gold und Platin“ wurde ein Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) ein fächerübergreifender Experimentierzyklus für das Schülerlabor NatLab entwickelt und in das Versuchsprotokoll aufgenommen. Über Abfallgegenstände wird mit den Schülerinnen und Schülern ein fächerübergreifender Bogen von Anwesenheitsfragen zur aktuellen Forschung gezogen. Ergänzend zum praktischen Experimentieren wurde zur theoretischen Vertiefung und Nachbereitung des Laborbesuchs eine Online-Plattform nach dem Flipped-Classroom-Modell eingerichtet. Die darin enthaltenen digitalen Werkzeuge dienen einer der stetig wachsenden Semibildung der Besucher. Ideen für das Thema, haben ermöglicht das Nachhaltigkeits-Modell zum anschließenden Reflektion der Versuchsergebnisse. Mit Blick auf die Förderung von Fach-, Sach- und Medienkompetenzen werden Interaktivitätsfunktionen zur Verfügung gestellt, mit Hilfe derer sich der unmittelbare Zusammenhang zwischen eigenem Konsumverhalten und dafür benötigten Rohstoffen vertiefend erörtern werden kann.

Der Experimentierzyklus „Seltene Erden“

SE Aktuelle Forschung
Postkatalysatoren eines WNGO 123-Supratorale



Hydrothermale Prozess
Postkatalysator
Müllton
Dünnschicht-Elektrolyse

$Y_2O_3 + NaClO_4 + CO_2 \xrightarrow{470^\circ C} 2YNaO_2 + CO_2$
Kationischer Supratorale

SE Analyseverfahren
Pharmazeutische Bestimmung eines Wirkstoffes mittels Ceriverte



Pharmazeutische Bestimmung
Bestimmung der Konzentration
Zufügen der Droge
Phosphorsäure
Phosphorsäure
Phosphorsäure
Phosphorsäure

$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$
 $CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^-$
 $CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^-$

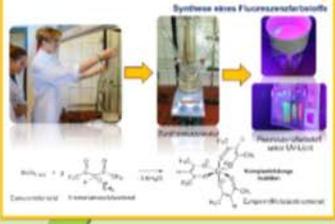
SE Recycling
Gewinnung von Neodym aus Mobiltelefonen



Physisches Trennen
Zerlegen der Mobiltelefone
Auflösen
Kühen
Kühen
Kühen

$2NdCl_3 \cdot 6H_2O + 3Ca \rightarrow 2Nd + 3CaCl_2 + 6H_2$
 $2NdCl_3 \cdot 6H_2O + 3Ca \rightarrow 2Nd + 3CaCl_2 + 6H_2$

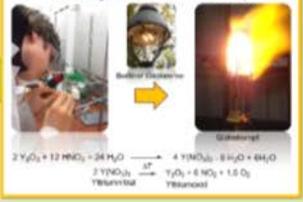
SE Produkt Herstellung
Synthese eines Fluoreszenzfarbstoffes



Synthese eines Fluoreszenzfarbstoffes
Phosphorsäure
Phosphorsäure
Phosphorsäure
Phosphorsäure

$2C_6H_5N_2Cl + 2C_6H_5N_2Cl \rightarrow 2C_6H_5N_2 + 2C_6H_5N_2$
 $2C_6H_5N_2 + 2C_6H_5N_2 \rightarrow 2C_6H_5N_2 + 2C_6H_5N_2$

SE Verarbeitung
Herstellung eines traditionellen Getränks



Herstellung eines traditionellen Getränks
Herstellung eines traditionellen Getränks
Herstellung eines traditionellen Getränks

$2Y_2O_3 + 12HNO_3 + 24H_2O \xrightarrow{470^\circ C} 4Y(NO_3)_3 + 8H_2O + 6H_2O$
 $2Y_2O_3 + 12HNO_3 \xrightarrow{470^\circ C} 4Y(NO_3)_3 + 8H_2O + 6H_2O$



Online-Angebote (in Entwicklung)

Check-Ins: Infos zur Vorbereitung des Laborbesuchs

- Intro-Video
- Check-Up Labormregeln
- Übersicht über Dreieckarten und Memori
- zu benötigten Laborutensilien und Glasgeräten
- TheSimpleChemists Video mit Stopper Fragen
- Rohstoffpass

Add-Ons: Zusatzmaterial rund um die Seltenen Erden

- Kreuzworträtsel zum Review der Fachbegriffe
- Flussdiagramme zur Reflexion der Versuchsschritte
- Visualisierung der Umweltbelastung durch SE-Abbau
- Interdisziplinäre Science-artikel: Geologie, Physik, Ökonomie...
- FAQs mit Antworten aus Vortrags-Videoschneipseln
- Versuchskarte im Lückentext + QR-Codes mit Verweis auf Infografiken
- Lerntool Kreislaufwirtschaft

Lehrkräfte (geschützter Bereich)

- Video des Einführungsvortrags
- Linksammlung mit weiterführenden Informationsquellen
- Arbeitsblätter
- Planung

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) sowie dem Fonds der Chemischen Industrie (FCI) für die finanzielle Förderung des Projekts bzw. die Bereitstellung der Sachmittel.




Abb. 41: Poster Seltene Erden – BNE in Schülerlabor und Flipped Classroom, 2017

10 Evaluationen

Der Experimentierzyklus wurde über den Projektzeitraum wiederholt und bei verschiedenen Veranstaltungsformen evaluiert. Auch von den Lehrkräften wurde nach den Fortbildungen ein Feedback eingeholt.

In die im Folgenden vorgestellte, zusammenfassende Evaluation sind die Ergebnisse folgender Befragungen eingeflossen:

- MINT400 Hauptstadtforum, 13.02.2015
- Girl's Day, 23.04.2015
- Willi-Graf-Gymnasium, 06.07.2015
- Sommeruni 2015
- Osterferien-Workshop 2016
- Girl's Day, 21.04.2016
- Sommeruni 2016
- MINT400 Hauptstadtforum, 23.02.2018

- Lehrerfobi 09.10.2015
- Lehrerfobi 15.01.2018

Da nicht immer derselbe Fragebogen verwendet wurde, werden nur die Ergebnisse zu den Fragen wiedergegeben, die in allen Befragungen enthalten waren.

10.1 Evaluation durch SuS

Insgesamt wurden die Antworten von 93 SuS der Klassenstufen 9-12 berücksichtigt. Von diesen TN waren 52 weiblich und 29 männlich; zwölf TN machten keine Angaben zu ihrem Geschlecht. Zwischen den Bewertungen der Geschlechter sind keine Unterschiede aufgefallen.

Von welchen Schultypen die teilnehmenden SuS stammen, zeigt Abbildung 42:

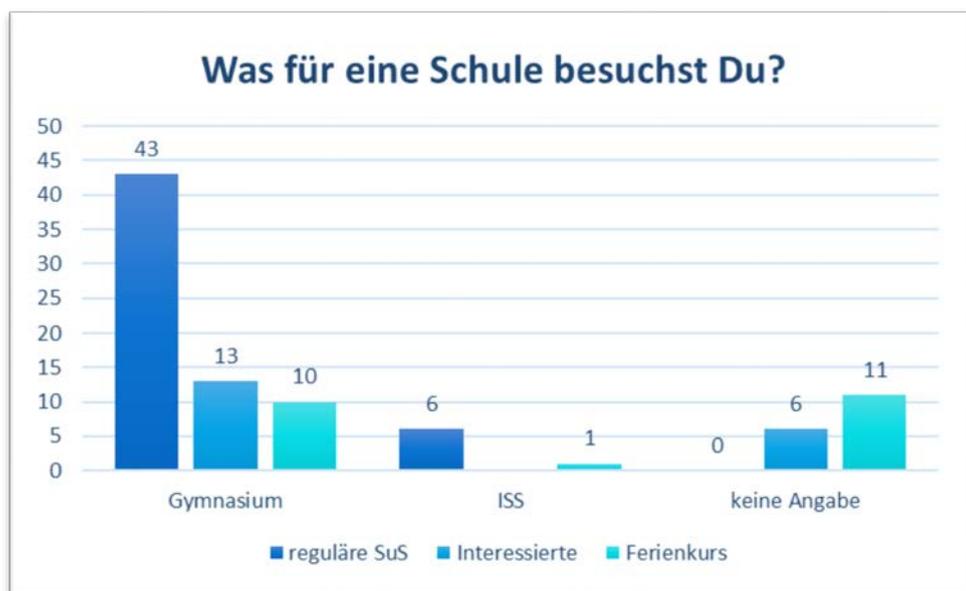


Abb. 42: Verteilung der TN auf Schultypen

Es zeigt sich, dass SuS von Sekundarschulen das Angebot nur im Rahmen der regulären Experimentiertage oder des Girl's Day in Anspruch nehmen, die überwiegende Mehrheit der TN besucht ein Gymnasium.

Zunächst wurden alle SuS befragt, wie ihnen der Kurs oder Workshop im NatLab insgesamt gefallen hat. Wie in Abb. 43 dargestellt, bewerteten über 90% den *Seltenenerd*-Kurs mit „gut“ oder „sehr gut“. Es ist kein Unterschied zwischen SuS, die mit ihrer Schulklasse zu einem regulären Experimentiertag kamen und SuS zu erkennen, die den Kurs im Rahmen der Interessiertenförderung oder von Ferienworkshops besuchten. Allerdings gehörten alle TN, denen der Kurs nicht gefallen hat, Gruppen im Klassenverband an; sie hatten sich also nicht selbst für die Teilnahme und/oder das Thema entschieden.



Abb. 43: Allgemeine Bewertung des Workshops durch SuS

Für eine detailliertere Rückmeldung wurde zudem eine Bewertung der einzelnen Experimente abgefragt. Da nicht jeder Versuch bei jedem Experimentiertag angeboten wird bzw. die Cerimetrie erst später dazukam, variiert die Anzahl der Beurteilungen je Versuch stark:

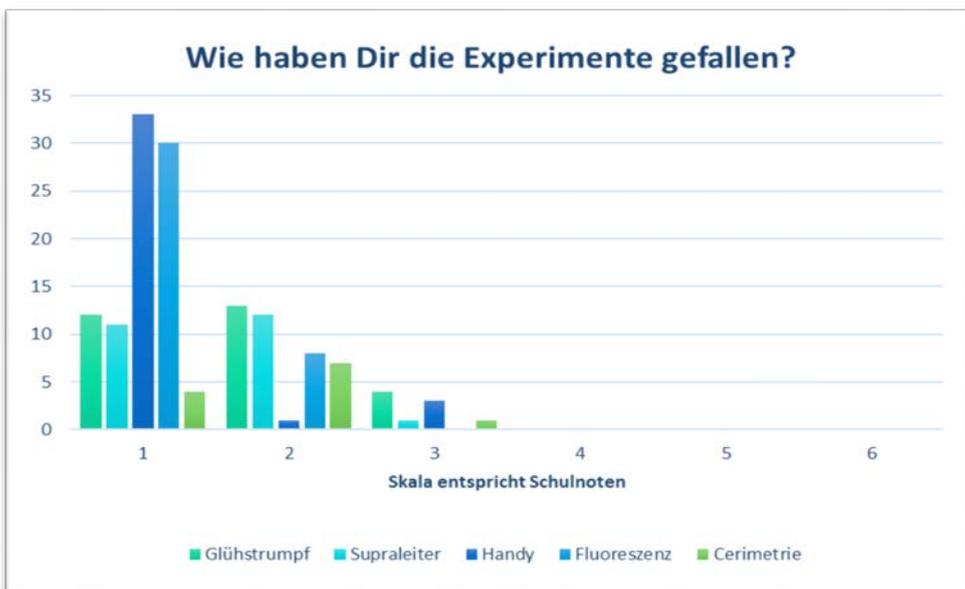


Abb. 44: Bewertung der Experimente durch SuS

Insgesamt wurden auch die einzelnen Versuche sehr positiv bewertet. Besonders gut gefielen den SuS die Experimente zum Handy und der Fluoreszenz, die drei anderen Experimente schnitten im Durchschnitt jedoch ebenfalls gut ab.

Weiterhin wurden die SuS zu verschiedenen Aspekten der Gestaltung und Durchführung des Workshops befragt:



Abb. 45: Bewertung der Gestaltung des Workshops durch SuS

Die SuS befanden die Zeiteinteilung des Kurses überwiegend als „sehr gut“. Ebenfalls sehr gut fand der überwiegende Teil der Befragten, wie die Betreuer*innen die Inhalte erklärten und auf Fragen eingingen. Auch unabhängig von den Fragebögen wurde die Qualität der Betreuung von den SuS immer wieder hervorgehoben. Ebenfalls sehr gut bewerteten die TN die Skripte zu den Versuchen.

Lediglich bei der Bewertung des Niveaus waren die Bewertungen nicht so eindeutig wie bei den anderen Aspekten. Es hat sich gezeigt, dass die Bewertungen der Sekundarschüler*innen hier von denen der Gymnasiast*innen abwichen: besonders die TN aus Klassenstufe 9 fanden den Kurs zu schwer. Zutreffend, dass der Kurs langweilig sei, fanden einige TN, dies wiederum im Klassenverband einen Experimentiertag im regulären Kursbetrieb absolviert hatten, sich also nicht aktiv für die Teilnahme und/oder das Thema entschieden hatten.

Schließlich wurden die SuS noch gefragt, was sie durch die Absolvierung des Kurses über die Seltenen Erden gelernt haben. Fast alle gaben an, etwas Neues zu den Aspekten Gewinnung/Recycling, Nutzung und Umweltbezug der Seltenen Erden erfahren zu haben. Rund ein Drittel fand es sogar zutreffend, viel darüber gelernt zu haben.

Auch an dieser Stelle war erneut festzustellen, dass diejenigen SuS, die für sich keinen Erkenntnisgewinn angaben, Teil einer Schulklasse im regulären Kursbetrieb waren.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass der Experimentierkurs *Seltene Erden* den SuS in jeder Hinsicht gut gefällt. In den Kommentarfeldern wurde zudem von mehreren TN angegeben, dass sie durch den Kurs dazu angeregt wurden, sich weiter mit dem Thema zu beschäftigen.



Abb. 46: Bewertung des Erkenntniszuwachs' zu den SE

10.2 Evaluation durch Lehrkräfte

Die Lehrkräfte wurden nach zwei der drei Fortbildungen zu ihrer Meinung zum *Seltenerd*-Zyklus befragt.

Der Fragebogen zur Fortbildung in Berlin-Buch am 09.10.2015 (vgl. 7.3) wurde von 15 TN ausgefüllt, 8 von ihnen unterrichteten zu diesem Zeitpunkt an Gymnasien, drei an Integrierten Sekundarschulen, zwei an Gesamtschulen und zwei an anderen Schulformen.

Wie den SuS gefielen den Lehrkräften die Experimente zum Handy und der Fluoreszenz besonders gut, knapp gefolgt von den Versuchen zu Supraleiter und Glühstrumpf; die Cerimetrie war zu diesem Zeitpunkt noch nicht im Angebot. Auch zur Gestaltung und Durchführung der Themeneinheit gab es wie von den SuS positive Rückmeldungen:



Abb. 47: Bewertung der Gestaltung des Workshops durch Lehrkräfte

Vermisst wurde von einigen TN das Aufzeigen des Bezugs der Experimente zu dem im Schuljahr 2017/18 in Kraft tretenden Rahmenlehrplan für Berlin-Brandenburg. Diese Anregung wurde für die Fortbildung am 15. Januar 2018 (vgl. 7.4) aufgegriffen und der Bezug in Form einer Kurzpräsentation von Dr. Kuse vorgestellt.

In der abschließenden Befragung dieser Fortbildungsveranstaltung - die gleichzeitig eine Demonstration des Classroom-Response-Tools *plickers* war - wurden die Lehrkräfte vor allem zum neu geschaffenen Flipped Classroom befragt. Einstimmig befanden die 12 an der Befragung teilnehmenden Lehrkräfte den Online-Lernraum für eine sinnvolle Ergänzung des Besuchs im Schülerlabor. Dies gilt sowohl für die Vor- als auch die Nachbereitung, da die meisten TN dem Thema Seltene Erden im Unterricht nur 3-4 Stunden einräumen können. Die interdisziplinäre Behandlung des Themas könnten sich die Lehrkräfte durch die zur Verfügung gestellten Arbeitsmaterialien gut vorstellen.

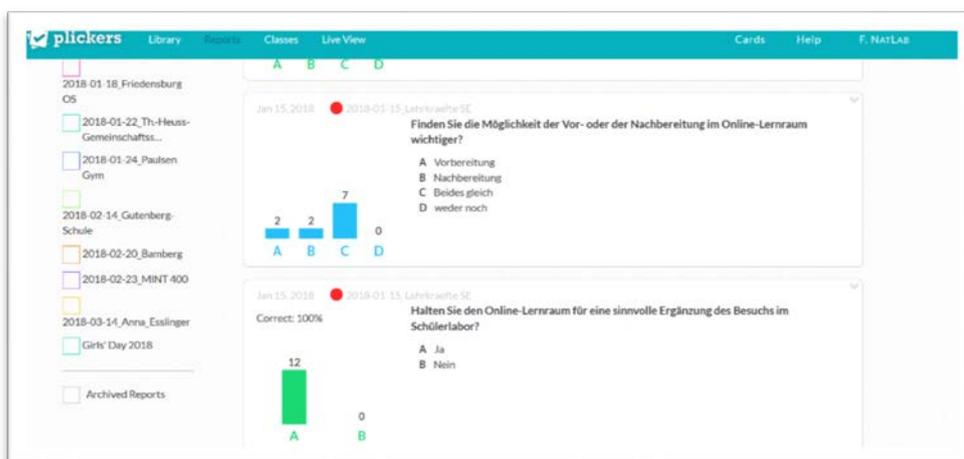


Abb. 48: plickers-Abfrage zum Online-Lernraum

11 Sachmittel

Da die haushaltsrechtlichen Vorgaben der Freien Universität nach der Antragsbewilligung durch die DBU geändert wurden, so dass an die studentischen Kursbetreuer wegen der Sozialversicherungspflicht nicht wie geplant Werkverträge zur Kursbetreuung vergeben werden durften, hat das NatLab die Kursbetreuung aus dem eigenen Budget finanziert. In Absprache mit der DBU konnten diese Mittel 2017 in Sachmittel umbudgetiert werden.

Im Projektverlauf hatte sich herausgestellt, dass mit der Neueinrichtung und attraktiven Gestaltung des Pilotprojekts des Flipped Classrooms zum Zeitpunkt der Antragsstellung nicht kalkulierbare Kosten für den technischen und gestalterischen Support verbunden waren, die das Schülerlabor nicht aus seinem Budget aufbringen konnte. Auf diese Weise konnte in Zusammenarbeit mit dem Center für Digitale Systeme (CeDiS) ein Introvideo (siehe 5.1) produziert sowie Software (Camtasia) für die Erstellung von Screencasts (Präsentationsvideos) angeschafft werden.

Weiterhin wurden sechs iPads angeschafft. Diese sollen zum einen sicherstellen, dass alle Besucher*innen an der Nutzung digitaler Tools teilhaben können, auch wenn sie kein eigenes mobiles Gerät mitbringen. Bei Veranstaltungen wie Ferienworkshops sollen sie zudem – wie in der Sommeruni 2017 mit einem von CeDiS ausgeliehenen Exkursionspaket getestet - zur Foto- und/oder Video-Dokumentation von Experimenten eingesetzt werden, so dass kontinuierlich Material zur Aktualisierung und dem Ausbau der Flipped Classroom-Tools entstehen kann. Zukünftig sollen die Geräte zukünftig aber auch als Messgeräte in die Versuchsabläufe im Labor integriert werden, um den SuS diese Einsatzmöglichkeiten nahe zu bringen. Denkbar ist weiterhin die Nutzung zur Erstellung eines Laborbuches oder zur Produktion von Lernvideos.

12 Förderung

12.1 Fonds der Chemischen Industrie

Ergänzend zum bewilligten Antrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) wurden beim Fonds der Chemischen Industrie (FCI) innerhalb des Mentoring Programms (Unterstützung einer Kooperation von Schule und Hochschule) erfolgreich Mittel beantragt. Durch die Förderung in Höhe von 9.500 € konnten in der Pilotphase Geräte, Materialien und Chemikalien für die Entwicklung und den Ausbau des *Seltenerd*-Experimentierzyklus angeschafft werden.

Für die Lehrkräftefortbildung im Januar 2018 übernahm der Fonds der Chemischen Industrie e.V. zudem die Reisekosten des Gastdozenten Prof. Dr. Roesky sowie die Kosten für die Arbeitsmaterialien und die Verpflegung der TN in den Pausen.

12.2 Rohstoff-Boxen

Dr. Britta Bookhagen stellte dem NatLab zwei Exemplare der sogenannten Rohstoffboxen zur Verfügung. Diese Boxen wurden vom Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) Potsdam für das Projekt *Die Rohstoff-Expedition*⁸ eigens entwickelt, das im Rahmen des Wissenschaftsjahrs *Zukunftprojekt Erde* 2012 vom BMBF gefördert war.

Die Boxen, die Proben von neun in der Handyproduktion verwendeten Rohstoffen in ihrer naturbelassenen Form enthalten, lassen die unterschiedlichen Bestandteile eines Handys „begreifbar“ werden und sind als kontextbezogenes Anschauungsmaterial für SuS besonders geeignet.

12.3 Osram / Narva

Sowohl die Firma Osram (Berlin) als auch die Firma NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG (Brand-Erbisdorf) stellten dem NatLab in der Entwicklungsphase quecksilberfreies Leuchtstoffpulver für Schülerversuche zur Verfügung. Aufgrund der Implosions- und Quecksilber-Problematik beim selbstständigen Öffnen der Leuchtstoffröhren wurde zum Aspekt von Seltenerd-Leuchtstoffen alternativ jedoch der Entwicklung des Experiments mit fluoreszierender Tinte der Vorzug gegeben.

12.4 Exkursionen Sommeruni: Remondis / TU Berlin / BGR

An den zu den Kursen der Sommeruni für Schülerinnen und Schüler gehörenden Exkursionstagen haben uns externe Institutionen mit Einladungen unterstützt:

- Die Firma Remondis stellte den Teilnehmerinnen und Teilnehmer 2015 ihren Vorgang zum Elektroaltgeräte-Recycling vor.
- Am Institut für Technischen Umweltschutz der Technischen Universität Berlin hielt Prof. Dr. Vera Rotter 2016 einen Vortrag zum Thema Fachgebiet Kreislaufwirtschaft und Recyclingtechnologie für die Kursteilnehmer*innen und zeigte zudem Beispiele für das Recycling eingesetzter technischer Geräte, wie zum Beispiel eine Hammermühle

⁸ <http://www.die-rohstoff-expedition.de/>

- Im Sommer 2017 besuchte der Kurs die im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms GEOTECHNOLOGIEN entwickelte Ausstellung „Wertvolle Erde“ in der Außenstelle der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Berlin-Spandau.

Dr. Angela Ehling von der Bundesanstalt hat die Öffentlichkeitsarbeit für den Experimentierzyklus zudem wiederholt mit der Leihgabe von Gesteinsproben als Anschauungsmaterial unterstützt.

12.5 Freie Universität Berlin

Die Freie Universität unterstützte die Durchführung des Projekts mit ihren technischen Einrichtungen, wie z.B. die Feinmechaniker-Werkstätten sowie durch Dauerleihgaben und/oder die Mitnutzungsmöglichkeit von größeren Geräten:

- Rohrofen (Backen der Supraleiter)
- Fluoreszenzphotometer (Messung von Nd und Eu Fluoreszenz)
- UV/VIS Spektrometer (Messung von Nd und Eu Absorption)
- Hydraulische Presse (Pressen der YBCO Pellets)

13 Ausblick: Kooperationen

Der Experimentierzyklus *Seltene Erden* wird nicht nur ein Angebot des Schülerlabors NatLab an der Freien Universität Berlin bleiben. Vielmehr sollen die Versuche sukzessive auch anderen Schülerlaboren zur Verfügung gestellt werden. Eine erste Kooperation mit dem *School_Lab A³* der Universität Augsburg wurde bereits vereinbart. Als weitere konkrete Interessenten für die Adaption der Experimente haben sich das *teutolab* der Universität Bielefeld sowie das Schülerlabor des Instituts für Didaktik der Naturwissenschaften der Universität Bremen angemeldet.

14 Anhang: Schülerskripte und Arbeitsbögen



NatLab

MITMACH- & EXPERIMENTIERLABOR
FACHBEREICH BIOLOGIE, CHEMIE, PHARMAZIE
FREIE UNIVERSITÄT BERLIN

NatLab – FU Berlin
FB Biologie, Chemie, Pharmazie
Fabeckstraße 34-36
14195 Berlin

Leitung:
Prof. Dr. Petra Skiebe-Corrette
petra.skiebe@fu-berlin.de +49 (0)30 838-54905
www.natlab.de

Koordination Chemie +49 (0)30 838-72896
Dr. Katharina Kuse: katharina.kuse@fu-berlin.de

StR' Carolin Garbe: c.garbe@fu-berlin.de
Abgeordnete Lehrkraft Dreilinden Gymnasium

Schülerskript

Herstellung eines Glühstrumpfs



Abb. 1 Aufsatzleuchte seit den 1920er Jahren in Berlin

Einleitung:

Noch heute sieht man im Stadtbild die alten formschönen Gaslaternen, die mit einem brennbaren Gas (Stadtgas) als Energiequelle betrieben werden. Das Stadtgas allein verbrennt nur mit einer schwach leuchtenden Flamme. Leitet man das Gas bei der Verbrennung über den farblosen Glühstrumpf, so erhält man ein warmes helles Licht, das zur Straßenbeleuchtung ausreicht.

Erfunden wurde das Gasglühlicht („Auerlicht“)¹ im Jahre 1885 von Carl Auer von Welsbach (1858-1929), einem österreichischen Chemiker und Unternehmer, der auch als der Entdecker der Seltenen Erden Neodym, Praseodym, Ytterbium und Lutetium gilt. Er erkannte, dass die Oxide der Seltenen Erden in der Lage sind, helles Licht zu emittieren. Die nahezu nicht-leuchtende Flamme des Bunsenbrenners bringt eine mit Seltenen Erden getränkte Textilie auf Weißglut, die dann die Lichtquelle bildet. Sein Glühstrumpf² bestand zu 98-99 % aus radioaktiven Thoriumoxid (Th_2O_3) und 1-2 % Ceroxid (CeO_2). Thorium gehört zur Gruppe der Aktiniden, Cer ist ein Seltenerdmetall. Th_2O_3 liefert durch radioaktiven Zerfall ein wiederum radioaktives Gas Radon (^{220}Rn). Es darf daher heute aufgrund seiner Gesundheitsgefährdung nicht mehr verwendet werden. Thorium wird durch die nichtradioaktive Seltenerdverbindung Yttriumoxid (Y_2O_3) ersetzt, wodurch die Lichtausbeute jedoch um 20 % reduziert wird.³ Durch Zugabe von $\text{Ce}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$ wird auch mit Yttriumoxid eine maximale Lichtstärke erreicht.⁴

Versuchsdurchführung

1. Herstellen eines Glühstrumpfs



Abb. 2 industrieller Glühstrumpf (links) - Textilie aus Verbandsmull (rechts).

a) Herstellung eines feinmaschigen Strumpfs

Materialien:

Mullkompresse/Verbandsmull (100 % Baumwolle), Bleistift, Schere, Nähnadel, Baumwollgarn, Schablone

¹ Welsbach, C.A., Ger. Patent 39,162, 1885.

² engl.: "gas mantle"

³ US Patent 6.August 1985, The Coleman Company Inc., US4533317 A

⁴ auch heute noch werden Glühstrümpfe in Campinggas-Laternen und Petroleumlampen verwendet

Durchführung:

Sie fertigen aus der Mullkompressen bzw. Verbandsmull ein feinmaschiges kuppelförmiges Gewebe indem Sie nachfolgendes Schnittmuster zur Vorlage nehmen.

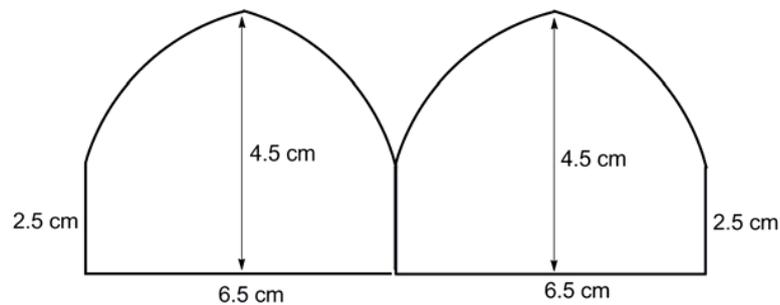


Abb. 3 Schnittmuster für einen Glühstrumpf

b) Herstellung der Imprägnier-Lösung**Materialien:**

Spatel, Präzisionswaage ($\pm 0.01\text{g}$), Wägeschälchen, kleiner Pulvertrichter, Messzylinder (50 ml), Becherglas 50ml, Pipette/Peleusball, 3 Siedesteinchen, Dreifuß, Drahtnetz, Bunsenbrenner, Feuerzeug, Pinzette, großes Reagenzglas, Föhn

Chemikalien:**Yttriumoxid (Y_2O_3)**

($M = 225.81 \text{ g/mol}$)

Cernitrat [$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$]

($M = 434.23 \text{ g/mol}$)

6 M Salpetersäure (HNO_3)

($M = 63.02 \text{ g/mol}$)



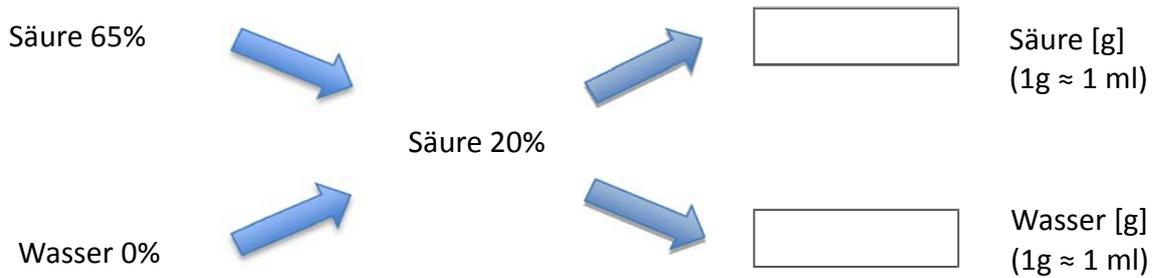
H: 272-314

P: 220-280-305+351+338-310

➤ **Verdünnen der 65 %igen Salpetersäure (HNO_3) auf 20 %**

Konzentrierte und verdünnte Säuren oder Laugen werden oft in Massenprozenten angegeben. Aus konzentrierten Lösungen lassen sich die verdünnten Lösungen unter Zuhilfenahme des Mischungskreuzes (Andreaskreuzes) verdünnen. Aus der 65 %igen Salpetersäure soll durch Verdünnen mit Wasser eine 20 %ige Salpetersäure hergestellt werden.

Man bilde die Differenz aus der bekannten Konzentration links oben (65) und der gewünschten Zielkonzentration in der Mitte (20). Das Ergebnis wird in das Feld rechts unten eingetragen. Dann bildet man die Differenz aus der bekannten Konzentration links unten (0) und der gewünschten Zielkonzentration in der Mitte (20). Dieses Ergebnis fügt man rechts oben ein.



Schema für das Mischungskreuz zum Verdünnen einer Säure

Korrekte Berechnung der Säurekonzentration unter Berücksichtigung der Dichte ρ :

Aus der 65%igen HNO_3 soll eine 20%ige HNO_3 hergestellt werden. Berechnen Sie die **Molarität** der konzentrierten HNO_3 (Mol_{65}) und der gewünschten HNO_3 (Mol_{20}) mit a). Berechnen Sie die Anzahl der Milliliter ($x_1 \text{ ml}$), die der konzentrierten Säure entnommen werden müssen um eine 4.44-molare Säure herzustellen mit b). Wie viele Milliliter ($x_2 \text{ ml}$) müssen letztlich der 65%igen Säure entnommen werden um nur 25 ml der 20%igen Säure herzustellen c)? ($M_{\text{HNO}_3}=63.01 \text{ g/mol}$; $\rho_{65}=1.3913 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{20}=1.115 \text{ g/cm}^3$ bei 20°C)?

$$a) \text{Mol}_{65/20} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] = 10 \cdot \text{Konzentration } \text{HNO}_3 [\%] \cdot \frac{\text{Dichte} \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]}{\text{Molmasse} \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]}$$

$$b) x_1 [\text{ml}] = \frac{\text{Mol}_{20} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right]}{\text{Mol}_{65} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right]} \cdot 1000 \text{ml}$$

$$c) \frac{x_1 [\text{ml}]}{1000 \text{ml}} = \frac{x_2 [\text{ml}]}{25 \text{ml}}$$

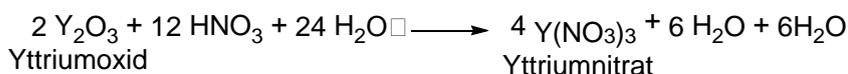
Die entsprechende Anzahl an Millilitern (x_2) werden mit einer Pipette vorsichtig entnommen und in einen Messzylinder gegeben. Dieser enthält bereits eine Menge von 10 ml destilliertem Wasser. Nach Zugabe der Säuremenge wird der Messzylinder mit destilliertem Wasser auf 25 ml aufgefüllt.



Merksatz: *Erst das Wasser, dann die Säure, sonst geschieht das Ungeheure!*

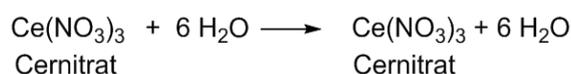
➤ **Auflösen des Oxids und des Nitrats in der hergestellten Säure**

2.71g Y_2O_3 und 0.072g $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ werden abgewogen, in das Becherglas gegeben und in 25ml der hergestellten 4.44 M HNO_3 gelöst. Bauen Sie Dreifuß, Drahtnetz und Bunsenbrenner auf und stellen Sie das Becherglas darauf ab, nachdem Sie diesem ca. 3 Siedesteinchen hinzugefügt haben. Öffnen Sie vorsichtig den Gashahn und zünden Sie den Bunsenbrenner mit der leuchtenden Flamme an. Nach einer Weile sollten sich die beiden Salze der Seltenen Erden gelöst haben. Die nach dem Abkühlen erhaltene Lösung ist die Imprägnier-Lösung für den Baumwollstrumpf.



Yttriumoxid

Yttriumnitrat



Cernitrat

Cernitrat

H: 272-315-319-335

P:220-261-

305+351+338



Gl. 1 Auflösen des Yttriumoxids in Salpetersäure (Cernitrat bleibt unverändert)

c) Imprägnieren des Strumpfs mit der Seltenerdmetall-Lösung

Der von Ihnen hergestellte Strumpf wird vollständig in die Imprägnier-Lösung getaucht, so dass er sich vollsaugt. Nach dem Abtropfen wird er über den Boden eines großen Reagenzglases gestülpt und getrocknet. Der Trocknungsvorgang kann mit einem Föhn beschleunigt werden. Dieser Vorgang wird ein weiteres Mal wiederholt.

d) Verbrennen der Baumwolle und Bildung des Oxidgerüsts

Nehmen Sie nun den Glühstrumpf vorsichtig mit der Pinzette von der Halterung herunter und stülpen Sie ihn geschickt über den mit einem Draht präparierten Bunsenbrenner. Danach zünden Sie Ihre imprägnierte Textilie an. Dabei verbrennen/verschärfen Sie das Baumwollgewebe ca. 5 Min in der leuchtenden Bunsenbrennerflamme. Das zunächst entstehende Nitratgerüst wird im Folgenden in der nichtleuchtenden (heißen) Brennerflamme zum festen aber fragilen Oxidgerüst verglüht.



Abb. 4 Bunsenbrenner mit Drahtvorrichtung und Glühstrumpf.



Gl. 2 Oxidbildung aus den Nitraten unter Abgabe von nitrosen Gasen (NO_x) und Sauerstoff (O_2)

e) Verwendung des Glühstrumpfs

Die Leuchtkraft kann durch Steigerung der Gaszufuhr erhöht werden. Auch nach dem Ausschalten des Brenners können Sie den Glühstrumpf noch nach Stunden oder Tagen wieder zum Leuchten bringen (Lebensdauer eines kommerziellen Glühstrumpfs ca. 2 Jahre). Da die Glühstrümpfe sehr zerbrechlich sind, müssen sie sehr vorsichtig bewegt und nicht erschüttert werden.

Fügen Sie den verwendeten Glühstrumpf am Schluss dem Sammelbehälter zu.

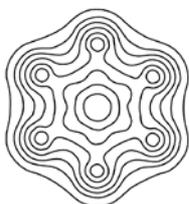


Schülerskript

Herstellung eines Supraleiters



Abb. 1: Keramischer Hochtemperatur-Supraleiter (\varnothing 1 cm).



Einleitung:

Vor mehr als 100 Jahren, am 8. April 1911, entdeckte der Niederländer Heike Kamerlingh Onnes¹ das physikalische Phänomen der Supraleitung. Ein Stoff ist supraleitend wenn er keinen messbaren elektrischen Widerstand besitzt. Die Supraleitung hat das Potenzial die Technik zu revolutionieren. Eine im Jahr 1987 entdeckte Gruppe von keramischen Hochtemperatur – Supraleitern (HTS), die aus den chemischen Elementen Yttrium, Barium, Kupfer und Sauerstoff (YBCO-123, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) bestehen, verfügen über eine Sprungtemperatur von -181°C (92 K). Die Sprungtemperatur ist die Temperatur, bei der innerhalb des Supraleiters widerstandslos (verlustlos) elektrischer Strom fließt. Die Entdeckung der keramischen Supraleiter erfolgte durch die Forscher Karl Alexander Müller und Johannes Georg Bednorz, die 1987 dafür den Nobelpreis für Physik erhielten. Eine Supraleitung bei Zimmertemperatur (20°C , 293 K) scheint derzeit (noch) nicht möglich zu sein.

Obwohl die HTS auch heute als nicht vollständig verstanden gilt, gibt es bereits zahlreiche Anwendungen: von supraleitenden Kabeln über Strombegrenzer und Transformatoren bis hin zu Generatoren und Motoren. Supraleiter können zukünftig auch reibungsfreien Transportsystemen dienen.

Versuchsdurchführung

1. Herstellen des keramischen HTS: YBCO 123

a) Herstellung der Ausgangsmischung



Abb. 2: Für die Herstellung des Supraleiters verwendete Chemikalien.

Chemikalien:

Yttriumoxid (Y_2O_3)

$M = 225.81 \text{ g/mol}$

$m = 0.225 \text{ g}$



GHS 07

Bariumcarbonat (BaCO_3)

$M = 197.34 \text{ g/mol}$

$m = 0.79 \text{ g}$



GHS 07
H 302
P 301+312

¹ Dirk van Delft, Peter Kes: "The Discovery Of Superconductivity" in *Physics Today*, Vol. 63, Issue 9, September 2010, S. 38–43

Kupfer(II)oxid (CuO)

M=79.545 g/mol

m = 0.475 g

GHS 07 GHS 09
H 302-410
P 260-273**Materialien:**

Wägeschälchen, Spatel, Präzisionswaage (± 0.01 g), Achat-Mörser, Achat-Pistill, Verbrennungsschiffchen aus Porzellan



Bitte arbeiten Sie mit Einweg-Handschuhen im Abzug!

Durchführung:

Wiegen Sie die einzelnen Substanzen ab, geben Sie diese zusammen in den Achatmörser und zermahlen Sie ganz gewissenhaft die Mischung mit einem Pistill zu einem homogenen Pulver (mindestens 15 Min). Mit dem bloßen Auge darf man keine Inhomogenitäten erkennen.



Abb. 3: Achatmörser, homogene Mischung, Porzellanschiffchen.

Überführen Sie mit dem Spatel das Gemisch in ein Porzellanschiffchen und schieben sie dieses mit einer großen Pinzette in das Quarzrohr des Rohrofens. Überprüfen Sie das eingestellte Temperaturprogramm und schalten sie den Ofen ein. Die Betreuer nehmen die Programmierung des Ofens vor.

a) 1. Backen der Reaktionsmischung**Materialien:**

Pinzette (XL), Rohofen mit Quarzrohr (heizbar bis 950 °C) mit programmierbarem Temperaturregler

Durchführung:

Die drei Segmente (Heizen, Halten, Abkühlen) werden im Temperaturregler einprogrammiert und nach dem Einschieben des Porzellanschiffchens wird bei offenem Quarzrohr das Ofenprogramm gestartet.

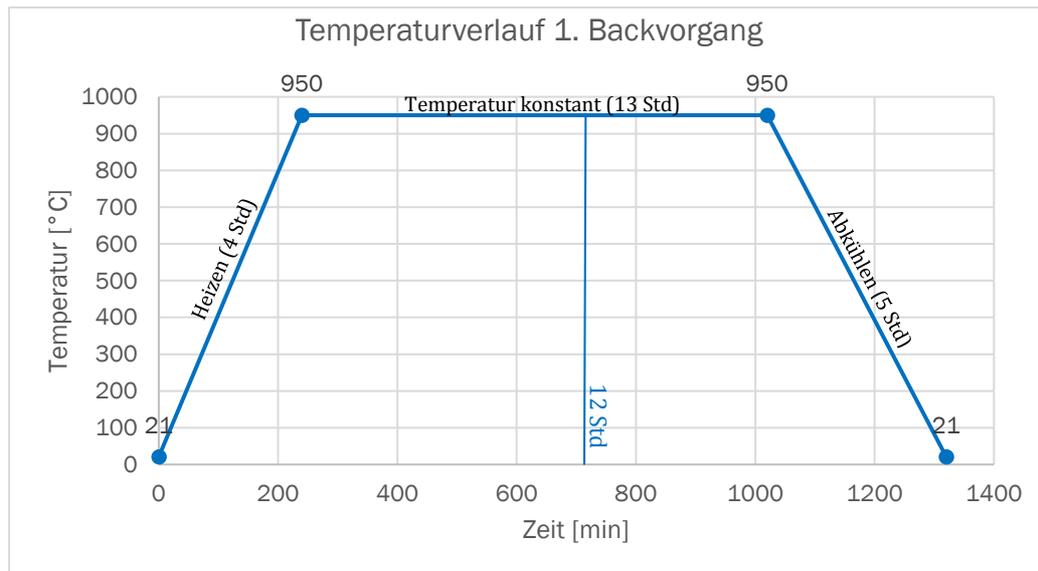


Diagramm 1: Temperatur/Zeit Profil für den ersten Backvorgang

b) Verreiben des Produktes und Pressen zum Pellet (\varnothing 1cm)

Material:

Achat-Mörser, Achat-Pistill, Spatel, Schnappdeckelgläschen, Hydraulische Presse, Wägeschälchen

Durchführung:

Der gewonnene anthrazit farbene Feststoff wird in den gesäuberten Achatmörser gegeben und erneut 15 min zu einem feinen Pulver verrieben. Dieses wird in ein Rollrandgläschen überführt und mit der hydraulischen Presse bei einem Druck von ungefähr 80kN zu einem tablettenförmigen Pellet gepresst. Dieses ist äußerst porös und brüchig. Also große Vorsicht bei Herausnahme des Pellets!

c) 2. Backen des Pellets unter Sauerstoffzufuhr

Materialien:

Rohröfen, Sauerstoffflasche (O_2), Porzellanschiffchen

Durchführung:

Das gewonnene Pellet wird vorsichtig auf ein Porzellanschiffchen gelegt und in den Ofen geschoben. Das Quarzrohr wird den beiden Kernoliven verschlossen und der Sauerstoffstrom mit der Gasflasche auf 1Blase/2 s eingestellt. Spätestens nach 660 min (11h) muss mit dem Überleiten des Sauerstoff-Gasstroms begonnen werden.

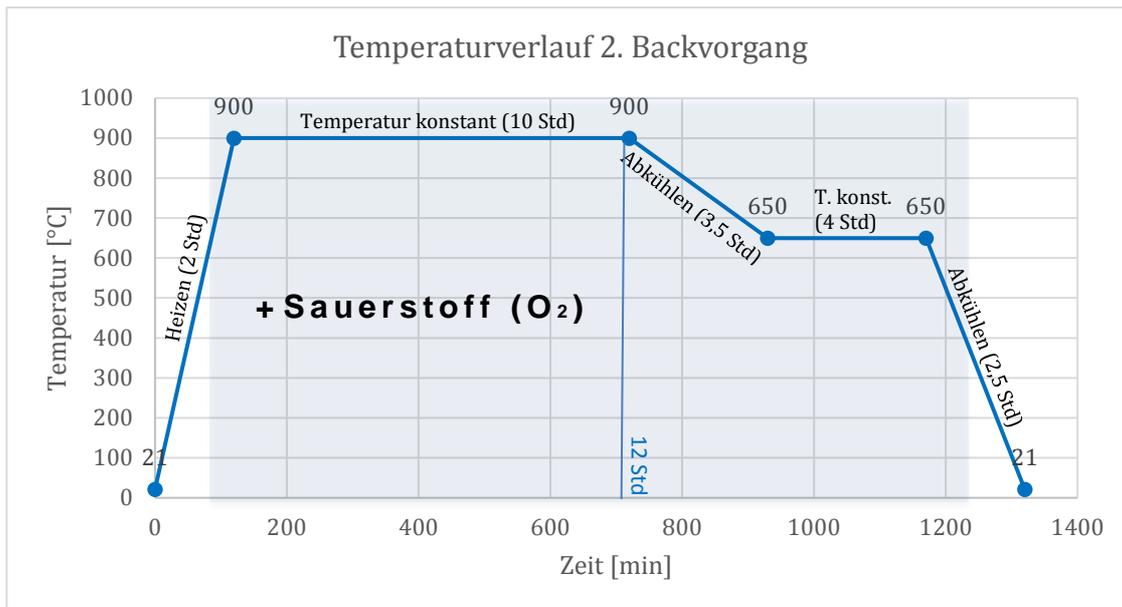


Diagramm 2: Temperatur/Zeit Profil für den zweiten Backvorgang mit Sauerstoff (O₂)

Festkörperreaktion Reaktionsgleichung:



d) Demonstration des Meißner-Ochsenfeld-Effekts

Material:

Nd₂Fe₁₄B Magneten, flüssiger Stickstoff (N₂), Dewar-Gefäß, Tiegelzange, Lederhandschuhe

Sicherheitshinweise:

Wie Thermoskannen beim Eingießen von heißem Wasser platzen können, besteht auch beim Einfüllen von flüssigem Stickstoff in ein Dewargefäß Implosionsgefahr. Beim Hantieren mit Dewargefäßen muss deshalb unbedingt eine Schutzbrille getragen werden. Stickstoff ist als Hauptbestandteil der Atemluft völlig ungiftig. Eine Gefahr könnte sich trotzdem in geschlossenen Räumen durch das Verdampfen größerer Mengen ergeben, etwa durch Bersten eines gefüllten 25 l Gefäßes. Vorsicht ist aufgrund der niedrigen Temperatur geboten. Niemals in flüssigen Stickstoff hineingreifen und gekühlte Gegenstände nicht mit bloßen Händen anfassen. Schutzhandschuhe tragen. Hautkontakt ist zu vermeiden.

Durchführung:

Nach dem zweiten Backvorgang kann das jetzt etwas robustere Pellet, der keramische Supraleiter YBCO-123, so wie er vorliegt für die Anwendung zur Verfügung stehen. Der flüssige Stickstoff wird in ein Dewar-Gefäß gefüllt. Mit der Tiegelzange wird der Supraleiter aufgehoben, in dem Stickstoff auf -196°C gekühlt und zügig über den Magneten in die Schwebel gebracht.



NatLab

MITMACH- & EXPERIMENTIERLABOR
FACHBEREICH BIOLOGIE, CHEMIE, PHARMAZIE
FREIE UNIVERSITÄT BERLIN

NatLab - FU Berlin
FB Biologie, Chemie, Pharmazie
Fabeckstraße 34-36, 14195 Berlin
Homepage: www.natlab.de

Leitung
Prof. Dr. Petra Skiebe-Corrette
+49 (0)30 8385-4905
petra.skiebe@fu-berlin.de

Koordination Chemie
+49 (0)30 838-72896

Dr. Katharina Kuse
katharina.kuse@fu-berlin.de

StR Carolin Garbe
Abgeordnete Lehrkraft
Dreilinden Gymnasium
c.garbe@fu-berlin.de

Schülerskript

Recycling · Seltene Erden · Mobiltelefon



Dr. Katharina Kuse



Evolution der Mobiltelefone: Motorola 8900X-2, Nokia 2146 orange 5.1, Nokia 3210, Nokia 3510, Nokia 6210, Ericsson T39, HTC Typhoon, iPhone 3G, Samsung Galaxy S4, Samsung Galaxy S4 mini, iPhone 5s, iPhone 6 Pl © Wikipedia Jojhnyoy

Einleitung

Entwicklung:

Auch wenn das Konzept ein kabelloses Telefon zu erschaffen schon auf das Jahr 1947 zurückgeht, dauerte es 26 Jahre bis zu dessen Realisierung. Das erste ortsunabhängige, mobile Telefon (Mobiltelefon, Handy, Natel) wurde 1973 von John F. Mitchell und Dr. Martin Cooper von Motorola vorgestellt. Sie verwendeten ein Mobilteil, das um die 2 kg wog¹. 1983 konnte das erste Mobiltelefon von der Firma Motorola, das DynaTAC 8000x, kommerziell für 4000 \$ erworben werden. Von 1983 bis 2014 kletterte die Zahl der Mobilfunkverträge weltweit auf über 7 Milliarden (2011 gab es in Deutschland rund 114,13 Mio). Im Jahr 2014 sind Die größten Handy Hersteller im Jahr 2014 sind Samsung, Nokia, Apple, und LG.² Seit 1995 gibt es den Short-Message-Service (SMS).

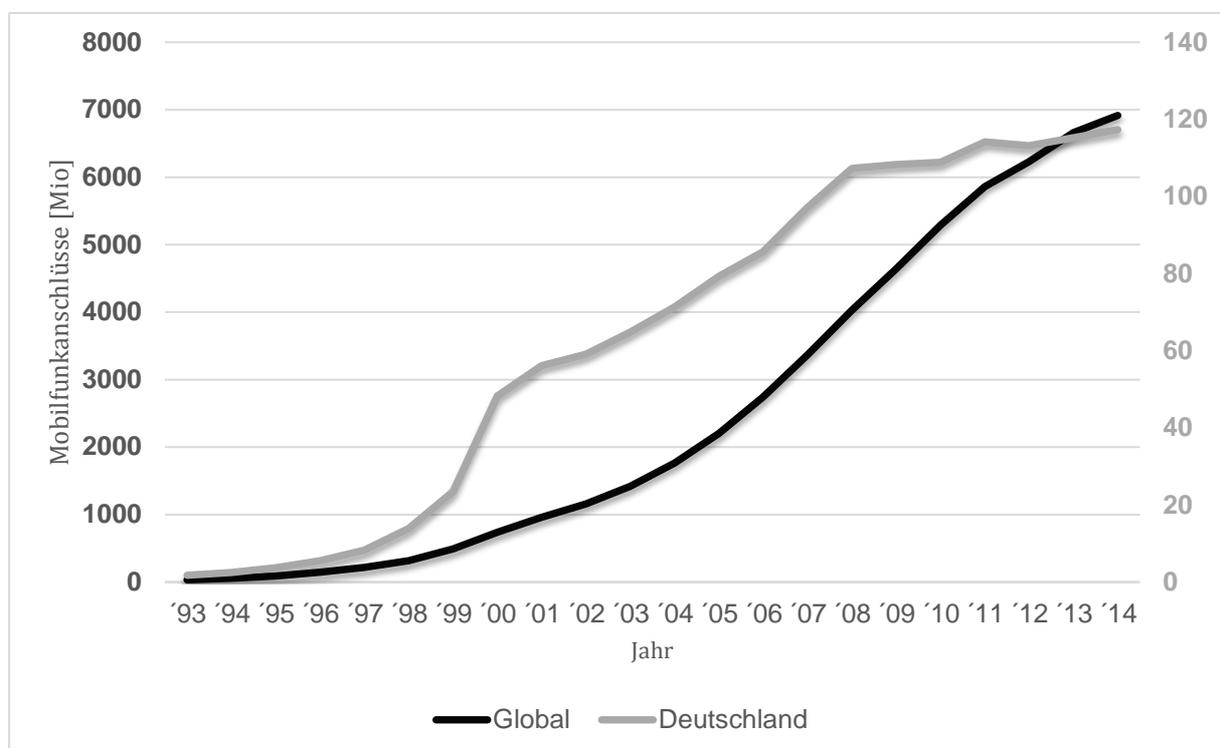


Abb. 1 Anzahl der Mobilfunkanschlüsse weltweit (grau) und in Deutschland (schwarz) von 1993 bis 2014 (in Mio); Quelle: 2015 Gartner, Inc - Statistisches Bundesamt

Die starke Zunahme der Anzahl an Mobiltelefonen bzw. Smartphones führt unweigerlich auch zu einer zunehmenden Anzahl alter und kaputter Geräte, die entsorgt werden müssen.

Rohstoffe:

Die Herstellung dieser Geräte findet unter großem Einsatz von Energie und Rohstoffen statt. Rohstoffe, die aus der Erde abgebaut und vor ihrem Einsatz teilweise unter großem Einsatz von Chemikalien gereinigt werden müssen. Es handelt sich hier um nicht nach-

¹ Heeks, Richard (2008). "Meet Marty Cooper - the inventor of the mobile phone". BBC 41 (6): 26-33.

² <http://www.topteny.com/top-10-best-selling-mobile-phone-brands-in-the-world-2014/>

wachsende Rohstoffe. In einem Mobiltelefon befinden sich über 45 verschiedene chemische Elemente, davon 30 Metalle für Akku, Leiterplatte und Kabel. Den größten Anteil haben Kupfer, Silizium und Aluminium.

Seltene Edelmetalle wie Gold, Silber, Palladium und Platin wie auch die „Seltene Erden“ sind nur in sehr geringen Mengen im Mobiltelefon enthalten. Daher werden sie auch „Gewürzmetalle“ genannt. Ein altes Mobiltelefon/Smartphone ist daher auch selbst eine Rohstoffquelle und weltweit wird an der Optimierung von Recyclingprozessen gearbeitet. Das Recycling von „Seltene Erden“ ist aktuell noch in der Entwicklung.

Recycling:

Pro recyceltem Mobiltelefon lassen sich ca. 150 mg Silber, 25 mg Gold und 9 Gramm Kupfer zurückgewinnen. Die 1,5 Milliarden Handys, die 2010 weltweit verkauft wurden, enthalten zusammen etwa 14 Tonnen Palladium, 36 Tonnen Gold und 375 Tonnen Silber.

Vorteile des Recyclings sind:

- Keine radioaktiven Abfälle in der Sekundärproduktion
- Reduzierte Umweltbelastungen in Bezug auf Luftemissionen, Grundwasserschutz, Versauerung, Eutrophierung und Klimaschutz
- Die Sekundärproduktion der Seltenen Erden kann in Europa stattfinden
- Geringere Abhängigkeit von ausländischen Lieferanten
- Aufbau von Know-how auf dem Gebiet der Verarbeitung von Seltenen Erden

Voraussetzung für gutes Recycling sind gute Sammelsysteme. Auch wenn Recycling die Umwelt entlastet, so sind die gewonnenen Rohstoffe nicht als „geschenkt“ zu bezeichnen, da auch das Recycling Energie kostet und damit wiederum den Einsatz anderer Rohstoffe.

Versuchsdurchführung

1. Zerlegen des Mobiltelefons, Entnahme der Magneten, Entmagnetisierung

Material:

Torx Schraubendreher, Pinzette, Tiegelfange, Bunsenbrenner, Feuerzeug

Durchführung:

Das Mobiltelefon wird durch Lösen der Schrauben in seine Einzelteile zerlegt. Dazu sind i.d.R. Torx Schraubendreher nötig. Das Seltenerdelement Neodym ist in den Permanentmagneten der Lautsprecher zu finden. Der Stoff aus dem die Magnete sind besteht aus Neodym, Eisen und Bor. Es handelt sich um die Legierung $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$.

Wenn Sie den/die Magneten gefunden haben, nehmen Sie diese aus dem geöffneten Gerät und Erhitzen Sie diesen zum Glühen. Nach überschreiten der Curie-Temperatur (T_c) verschwindet der Magnetismus. Trennen Sie den Magneten von den Metallscheibchen aus Edelstahl.

2. Lösen Sie den Magneten in Salzsäure (HCl 25%) auf

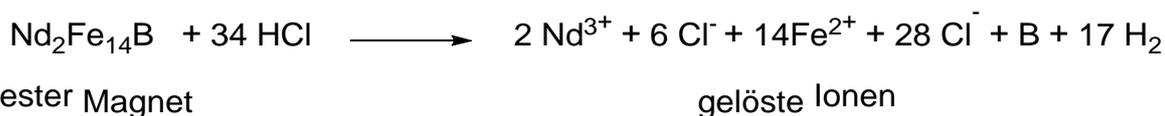
Material/Chemikalien:

Waage, Mörser, Pistill, Erlenmeyerkolben (50ml), Bunsenbrenner, Dreifuß, Drahtnetz, Pasteur-Pipette, Feuerzeug

Salzsäure (HCl, 25%)		GHS 05 GHS 07
----------------------	---	------------------

Durchführung:

Notieren Sie das Gewicht des Magneten und geben Sie diesen in den Mörser. Mit dem Pistill zerkleinern Sie den porösen Magneten zu einem feinen Pulver. Geben Sie dieses in den Erlenmeyerkolben und fügen Sie langsam (Abzug! Tropfenweise!) die 25%ige HCl zu dem grauen Pulver. Während sich der Feststoff auflöst entwickelt sich ein Gas. Welches ist das? Formulieren Sie die Redox-Teilgleichungen für Neodym und Eisen in HCl!



Berechnen Sie den Gewichtsanteil von Nd, Fe und Bor in $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$!

Bor reagiert nicht mit HCl. Es bleibt als schwarzer Feststoff ungelöst.

Steht die Lösung lange an der Luft reagiert das Fe^{2+} mit dem Luftsauerstoff zu Fe^{3+} .

Woher stammt die grüne Färbung der Lösung?

3. Stellen Sie a) den pH-Wert der Lösung auf $\text{pH} \cong 2$ ein und fällen Sie b) das Nd^{3+} , Fe^{2+} und Fe^{3+} mit Natriumhydrogenoxalat (NaHC_2O_4)

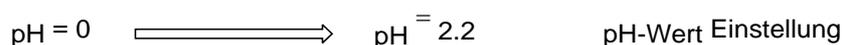
Material/Chemikalien:

pH-Papier, Glasstab, Magnesiumrinne, Tiegelzange, Bunsenbrenner

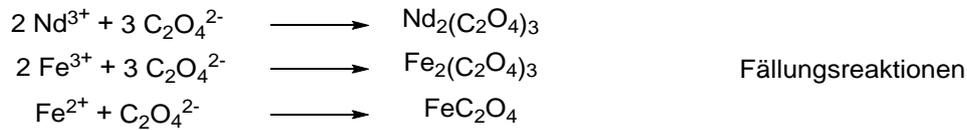
Natriumhydroxid-Lösung 20% NaOH-Lsg.		GHS 05
Natriumhydrogenoxalat-Lösung NaHC ₂ O ₄ -Lösung (ges., 1.3%)		GHS 05 GHS 07

Durchführung:

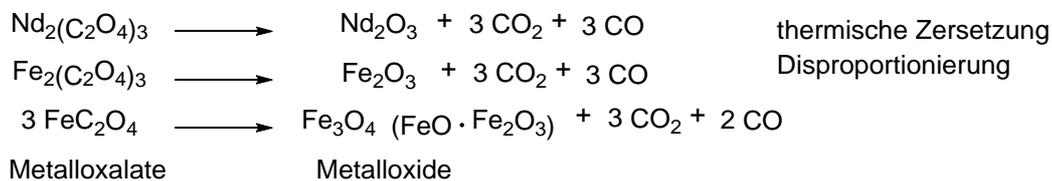
Geben Sie mit einer Pasteur-Pipette vorsichtig einige Tropfen der Natriumhydroxid-Lösung zu der salzsauren Reaktionsmischung. An der Eintropfstelle entsteht vorübergehend ein flockiger Niederschlag, worum handelt es sich? Die Farbe der Lösung ändert sich von gelb auf hellorange, wenn der pH auf ca. 2 eingestellt ist.



Zu der Lösung wird 15ml der gesättigten Natriumhydrogenoxalat-Lösung gegeben. Anschließend erwärmen Sie die Mischung einmal zum Sieden und lassen sie wieder abkühlen.



Die überstehende Lösung dekantiert man ab, überführt den Feststoff in Zentrifugenröhrchen und zentrifugiert für 2 min bei 3600 Umdrehungen. Wieder wird abdekantiert und der Niederschlag auf eine Magnesiumrinne gegeben. Die Magnesiumrinne wird mit einer Tiegelfzange in die Flamme des Bunsenbrenners gehalten und die Metalloxalate in Metalloxide durch den Kalziniervorgang überführt:



4. Gewinnung von Neodymphosphat (NdPO₄) durch Fällung mit NaHPO₄ – Lsg.

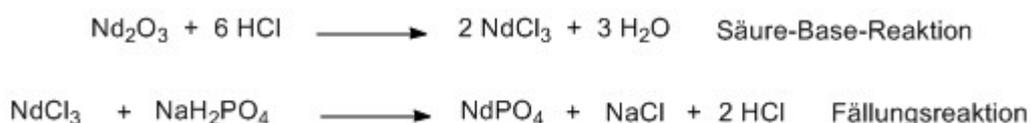
Material/Chemikalien:

pH-Papier, Glasstab, Zentrifugenröhrchen, Magnesiumrinne, Tiegelfzange, Bunsenbrenner

Salzsäure (1M HCl) 3.6%		GHS 05 GHS 07
Natriumdihydrogenphosphat-Lösung (NaH ₂ PO ₄ 30%)	keine	keine

Durchführung:

Die geglühten Oxide werden mit einem Spatel in einen Erlenmeyerkolben gegeben und in 1M Salzsäure für 5min bei r.t. gerührt, dabei löst sich das Nd₂O₃ unter Bildung von NdCl₃ auf. Die Eisenoxide lösen sich nicht. Erneut wird zentrifugiert und die überstehende Lösung wird gesammelt. In diese wird nun das Hydrogenphosphat gegeben. Es bildet sich schnell ein rosafarbener Niederschlag, der abzentrifugiert und auf der Magnesiumrinne in der Bunsenbrennerflamme getrocknet wird ($L_{\text{NdPO}_4}: 1.35 \cdot 10^{-10}$).



Man gewinnt NdPO₄. Vergleichen Sie das Aussehen mit den Verbindungen Neodymchlorid und Neodymoxid. Diskutieren Sie die Ursache der Farbigkeit und die Menge!



Schülerskript

Fluoreszenzfarbstoff



Abb. 1: Synthese des UV aktiven Fluoreszenzfarbstoffs.

Einleitung:

Einige Elemente der Seltenen Erden (SE) haben die Eigenschaft unter Einstrahlung von Licht bestimmter Wellenlänge, meist UV Licht, zu fluoreszieren. Abhängig von ihrer chemischen Umgebung leuchten die Seltenerdionen rot, blau, grün oder gelb. Derartige Substanzen sind sehr interessant für Wirtschaft und Wissenschaft. Die Industrie setzt solche fluoreszierenden Farbstoffe bspw. für LED-, Leuchtstoffröhren- Lichttechnik, Fotovoltaik und Sicherheitspigmente¹ ein. Auch in Biochemie, Biologie und Medizin finden sie u.a. in der Mikroskopie, Umweltanalytik, bei Wirkstoffscreenings und in der Diagnostik Anwendung. Die auf Seltenen Erden basierenden Farbstoffe sind i.d.R. sehr lichtresistent, d. h. sie bleichen unter UV-Einstrahlung nur wenig aus.

Ein besonderer Einsatzbereich der fluoreszierenden Farbstoffe findet sich bei den Sicherheitsmerkmalen für Identitätsdokumente (Reisepässe, Visa) und Banknoten. Um Fälschungen zu verhindern werden fluoreszierende Spezialtinten verwendet. Die Fluoreszenz ist ein Photolumineszenzprozess bei dem der Farbstoff Licht kurzer (hohe Energie) Wellenlänge (UV 200 - 380 nm) aufnimmt (Absorption) und Licht im sichtbaren Bereich des Spektrums (VIS 400 - 800 nm, niedrigere Energie) wieder abgibt (Emission).

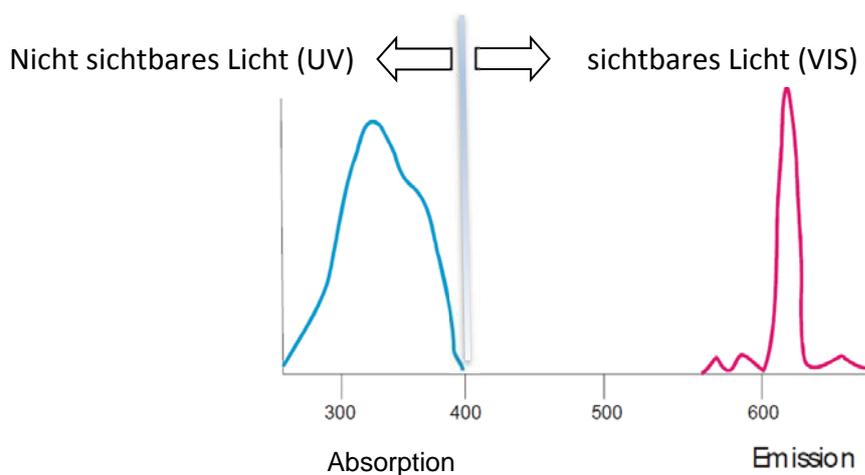


Abb. 2 Anregungs- und Emissionsprofil von Europium

Sicherheitsfarben auf Banknoten enthalten u.a. Europiumverbindungen, welche eine rotviolette Fluoreszenz im UV-Licht zeigt. Daher werden bestimmte Motive auf den Euro-Banknoten mit dieser Verbindung imprägniert. Auf der 20 €- bzw. 50 €-Note beispielsweise befindet sich ein Sternenkranz in der Mitte.

¹ Findeisen, Anna Maria/Aigner, Stephan (2012). Seltene Erden und deren Anwendung im Hochsicherheitsdruck. Sicherheitspigmente aus Seltenen Erden und die Anti-Stokes-Lumineszenz bei Seltenen Erden im Hochsicherheitsdruck der OeSD, SIAK-Journal-Zeitschrift für Polizeiwissenschaft und polizeiliche Praxis (3), 70-79, Online: http://dx.doi.org/10.7396/2012_3_G



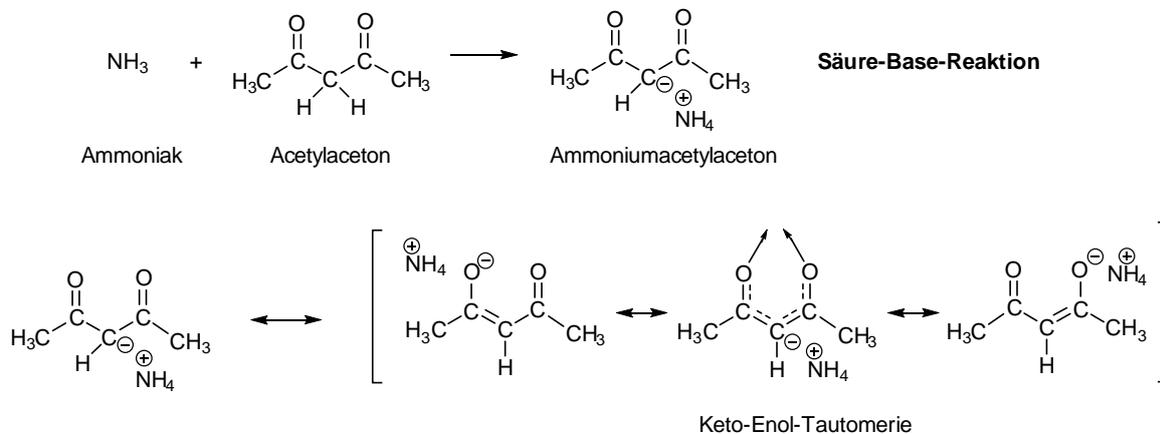
Abb. 3 Eurobanknoten; Sicherheitsfarben leuchten unter UV-Licht (rechts).

Mit UV Licht der Wellenlänge $\lambda = 366\text{nm}$ (Schwarzlicht) lassen sich diese europiumhaltigen Farbstoffe zum Leuchten bringen.

In diesem Versuch wird eine der Verbindungen hergestellt, die sich als Sicherheitsfarbstoff auf Banknoten befindet. Es handelt sich um eine dreistufige Synthese bei der erst zwei Ausgangsstoffe geschaffen werden müssen, welche dann in einem dritten Schritt zum Fluoreszenzfarbstoff Europium(III)tris(acetylacetonat) $[\text{Eu}(\text{acac})_3]$ umgesetzt werden.

Versuchsdurchführung

1. Säure/Base Reaktion zum Liganden



Gl. 1 Darstellung des Liganden mit Keto-Enol-Tautomerie.

Chemikalien:

Acetylaceton ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$)

($M = 100,12 \text{ g/mol}$)



H: 226-302

P: keine P-Sätze

Wässriger Ammoniak (25%

$\text{NH}_3 \cdot \text{aq}$) $\rho = 0,9069 \text{ g/cm}^3$

($M = 63,02 \text{ g/mol}$)



H 314, 335, 400

P 260, 273, 280.1-3+7,

303+361+353, 304+340,

305+351+338, 310

Materialien:

Stativmaterial, Magnet-Heiz-Rührer, Einhalskolben (50 ml), Rührfisch, Kunststoffstopfen, Spritze (V = 1 ml), kleiner Messzylinder (5 ml);

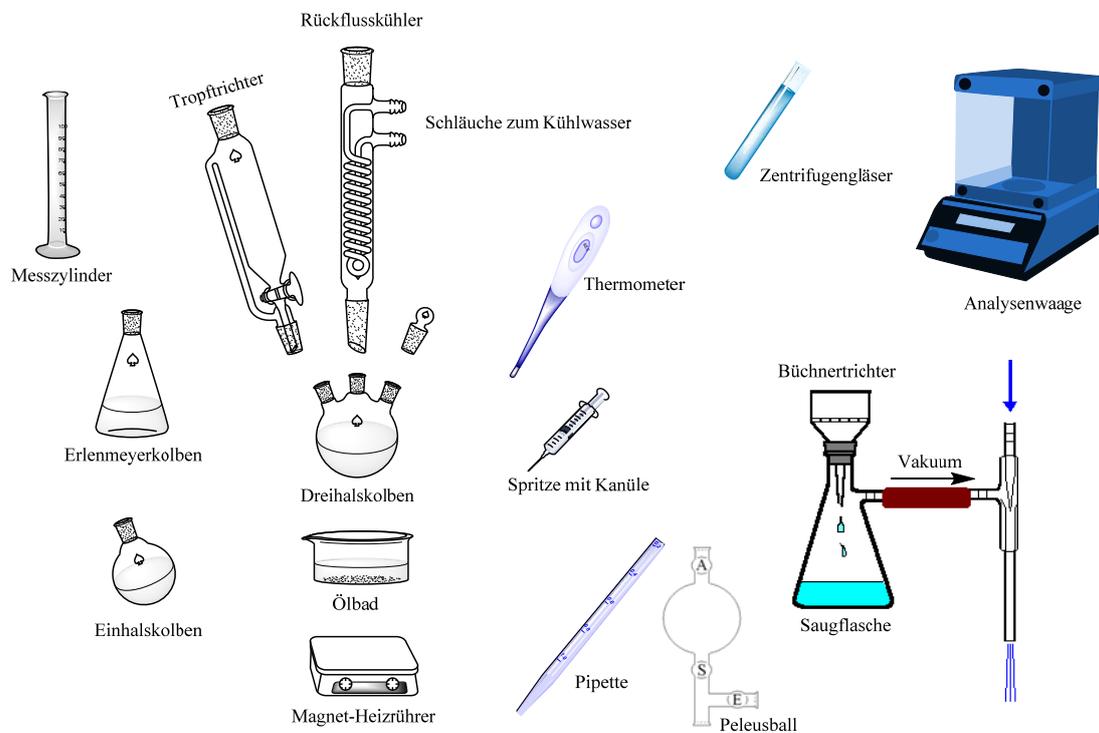
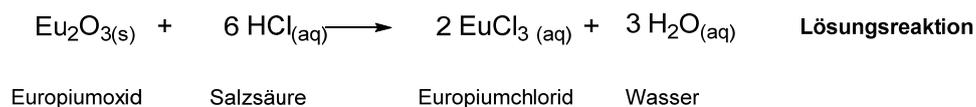


Abb. 4 Bestandteile zum Aufbau der Reaktionsapparatur und verwendete Materialien.

In einem Einhalskolben (50 ml) werden zu 0,451 g (4,5 mmol / 0,46 ml) Acetylaceton 3 ml Wasser gegeben (es bilden sich 2 Phasen aus). Dazu werden mit einer Spritze 0,28 g (4,5 mmol, 0,31 ml) einer Ammoniaklösung (25%) unter Rühren zugetropft ($\approx 0,07$ g NH_3). Beim Zutropfen der Base fällt ein farbloser Niederschlag aus, der sich beim Rühren wieder auflöst. Man erhält schließlich eine klare Lösung.

2. Bildung des löslichen Europiumions $\text{Eu}^{3+}(\text{aq})$



Gl. 2 Reaktion von Europiumoxid (Eu_2O_3) mit Salzsäure (HCl).

Chemikalien:**Europiumoxid (Eu₂O₃)**

(M= 351,92 g/mol)

H: 315-319-335
P: 261-305+351+338**Salzsäure (1M, 3,6% HCl)**

(M = 63,02 g/mol)

H: 290-314-335
P: 234-260-304+340-303+361+353
305+351+338-309+311-501**Verdünnter wässriger Ammoniak (3% NH₃·aq)**

(M = 63,02 g/mol)

 $\rho = 0,985 \text{ g/cm}^3$ H 314, 335, 400
P 260, 273, 280.1-3+7,
303+361+353, 304+340,
305+351+338, 310**Materialien:**

Feinwaage, Wägeschälchen, Dreifuß, Drahtnetz, Bunsenbrenner, Erlenmeyerkolben (50 ml), Spritze (V = 1 ml), pH-Indikatorpapier (Lackmus), Pipette (1 ml), Peleusball, Messzylinder (15 ml), Becherglas (50 ml)

Durchführung:

In einem Erlenmeyerkolben (50 ml) werden 0,352 g (1 mmol) Europiumoxid in 4-5 ml verdünnter Salzsäure unter Erwärmen über dem Bunsenbrenner gelöst. Der pH Wert wird ganz vorsichtig und mit verdünnter Ammoniaklösung (3%) auf pH 4-5 eingestellt (ca. 0,5 ml). Die Herstellung der dafür benötigten Base erfolgt über das Mischungskreuz:

Die Anzahl an Millilitern „Base“ wird mit einer Pipette vorsichtig der Vorratsflasche des wässrigen NH₃ (25%) entnommen und in ein Becherglas gegeben. In einem Messzylinder wird die Anzahl an Millilitern „Wasser“ mit destilliertem Wasser abgemessen und ebenfalls in das Becherglas gegeben.

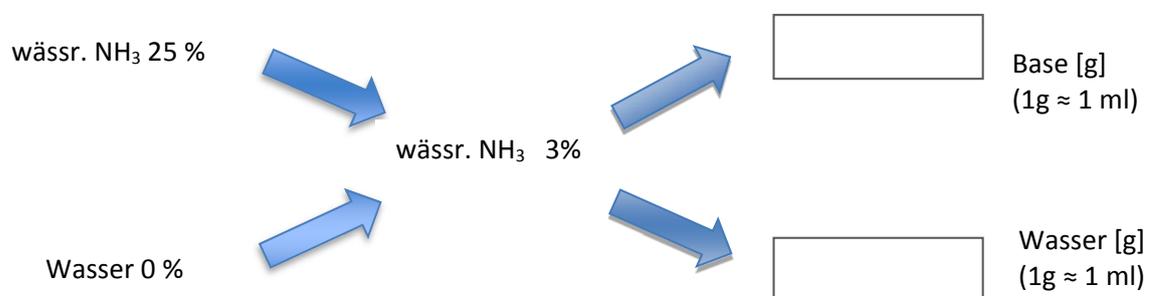
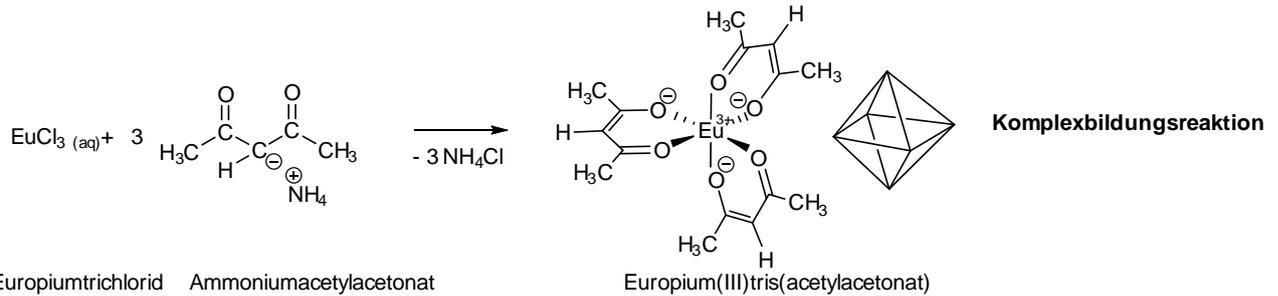


Abb. 5 Schema für das Mischungskreuz zum Verdünnen von Ammoniak.

3. Komplexbildung von Europiumchlorid mit Acetylacetonat



Gl. 3 Darstellung des Fluoreszenzfarbstoffs $\text{Eu}(\text{acac})_3$; $\text{C}_{15}\text{H}_{21}\text{EuO}_6$, CAS-Nr. 14284-86-7.

Chemikalien:

Europiumoxid (Eu_2O_3)

(M= 351,92 g/mol)



H: 315-319-335
P: 261-305+351+338

Salzsäure (1M, 3,6% HCl)

(M = 63.02 g/mol)



H: 290-314-335
P: 234-260-304+340-303+361+353
305+351+338-309+311-501

Wässriger Ammoniak (3%

$\text{NH}_3\text{-aq}$) $\rho = 0,985 \text{ g/cm}^3$

(M = 63.02 g/mol)



H 314, 335, 400
P 260, 273, 280.1-3+7,
303+361+353, 304+340,
305+351+338, 310

Materialien:

Magnetheiz-Rührer, Ölbad, Badthermometer, Dreihalskolben 100 ml, Rührfisch, pH-Papier, Rückflusskühler, Tropftrichter 25 ml, Innenthermometer, Stopfen; Spritze 1 ml, Kanülen, Zentrifugengläser, Spatel, Membranpumpe, Büchnertrichter (\varnothing 4cm), Rundfilter (\varnothing 4cm), Saugflasche (100ml);

Durchführung:

Die Lösung des Ammoniumacetylacetonats wird langsam (1 Tr/s) über einen Tropftrichter unter Rühren zur Europiumchlorid-Lösung getropft. Wichtig ist, dass der pH-Wert der Reaktionsmischung stets unter pH 5 gehalten wird (Warum?). Nach beendeter Zugabe wird die Reaktionsmischung auf 80°C (innen) für 1,5 Std. erhitzt. Es bildet sich ein weißer Niederschlag. Man lässt die Mischung auf RT abkühlen, überführt die Suspension in Zentrifugengläser und zentrifugiert bei 2400 U/min für 2 min. Der Überstand wird dekantiert, das Sediment zwei Mal mit Wasser gewaschen (aufrühren, zentrifugieren, dekantieren). Erneut wird die Suspension mit Wasser aufgenommen und der Feststoff über den Büchnertrichter abfiltriert. Man lässt für 3 min Trockensaugen und betrachtet die farblosen Kristalle unter der UV-Lampe (Anregungswellenlänge $\lambda = 366 \text{ nm}$). Die fluoreszierende Farbe wird mit den Europa-Sternen auf der 20 €- bzw. 50 €-Banknote verglichen.



NatLab

MITTMACH- & EXPERIMENTIERAROR
FACHBEREICH BIOLOGIE, CHEMIE, PHARMAZIE
FREIE UNIVERSITÄT BERLIN

Freie Universität  Berlin

NatLab - FU Berlin
FB Biologie, Chemie, Pharmazie
Fabeckstraße 34-36, 14195 Berlin
Homepage: <http://www.natlab.de>

Leitung
Prof. Dr. Petra Skiebe-Corrette
+49 (0)30 838-54905
p.skiebe@fu-berlin.de

Koordination Chemie
+49 (0)30 838-72896

Dr. Katharina Kuse
katharina.kuse@fu-berlin.de

StR Carolin Garbe
Abgeordnete Lehrkraft
Dreilinden Gymnasium
c.garbe@fu-berlin.de

Schülerskript

Cerimetrie - Redox titration



Abb. 1: Maßanalyse



FCI
FONDS DER
CHEMISCHEN
INDUSTRIE

Verfasserin: Dr. Katharina Kuse



gefördert durch

DBU

Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

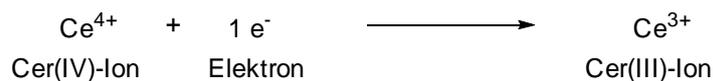
Medikamente enthalten Wirkstoffe. Wirkstoffe sind Substanzen, die in einem Organismus eine spezifische Wirkung haben und eine spezifische körperliche Reaktion hervorrufen. Ein Wirkstoff ist der arzneilich wirksame Bestandteil eines Arzneimittels.

Um sicher zu gehen, welche Menge eines Wirkstoffs in einer Dosis (Menge eines Stoffes, die einem Organismus zugeführt wird) enthalten ist, und ob dieser über eine ausreichende Reinheit verfügt, gibt es analytische Verfahren, die sich neben der Identität auch mit dem Gehalt und der Reinheit eines Arzneimittels beschäftigen.

Ein bekanntes analgetisches (schmerzstillendes) und antipyretisches (fiebersenkendes) Medikament ist *Paracetamol*[®]. Der Wirkstoff *Paracetamol*[®] wirkt im zentralen Nervensystem (Rückenmark und Gehirn). Dort hemmt der Wirkstoff eine bestimmte Unterform eines Enzyms (COX-3), welches für die Produktion von Prostaglandinen sorgt. Das sind Gewebshormone, die bei Entzündungsprozessen, Fieber und der Schmerzvermittlung eine Rolle spielen.

Zur Bestimmung des Wirkstoffgehalts, der in einer Tablette *Paracetamol*[®] (N-(4-Hydroxyphenyl)acetamid) vorliegt ist im Europäischen Arzneibuch¹ eine valide Methode beschrieben, die **Cerimetrie**.

Die Cerimetrie ist ein chemisches Analyseverfahren, dem eine Redoxreaktion zugrunde liegt:



Sie dient der quantitativen Bestimmung eines Reduktionsmittels. Die Titration läuft in flüssiger Phase ab. Der Titrant (Ce^{4+} - Lösung mit bekannter Konzentration) wird sukzessive in eine Lösung mit dem Analyten (Stoff unbekanntes Gehalts) zugetropft. Ce^{4+} ist ein starkes Oxidationsmittel und oxidiert den Analyten.

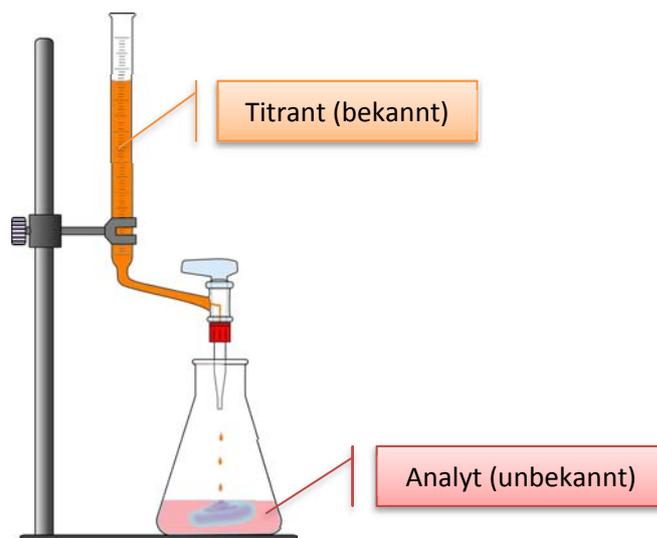


Abb. 2 Titrant und Analyt in der Maßanalyse

¹ Europäisches Arzneibuch Ph. Eur. 8. Ausgabe, Grundwerk 2014 - 7. Nachtrag

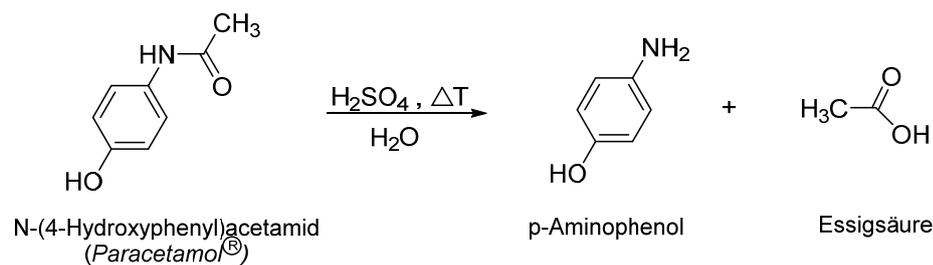
Mit Ce^{4+} -Lösungen wird stets in stark saurer Lösung (1-2M) gearbeitet um das Ausfallen basischer Cersalze zu verhindern. Das Europäische Arzneibuch¹ verwendet für die Gehaltsbestimmung von *Paracetamol*[®], Ce^{4+} -sulfatlösung. Es eignen sich jedoch auch andere Ce^{4+} -Salzlösungen dafür, wie z.B. das Ammoniumcer(IV)-sulfat.

Um den exakten Punkt zu erkennen, wann der Analyt vollständig oxidiert wurde, setzt man ihm einen Indikator zu, der durch einen Farbumschlag diesen Punkt genau anzeigt. Bei der Bestimmung des Gehalts an *Paracetamol*[®] verwendet man den Indikator Ferroin. Ferroin ist ein Chelatkomplex (siehe S. 6). Das Gegenion ist in der Regel das Sulfat-Ion (SO_4^{2-}). Ferroin dient in der Cerimetrie als Redoxindikator. Seine Farbe in reduzierter Form (rot: Fe^{2+} , Ferroin) unterscheidet sich von der in oxidierten Form (blau: Fe^{3+} , Ferriin). Das Standardredoxpotential E_0 bei pH = 7 beträgt +1,06 Volt.²

Experimente:

Der Gehalt an *Paracetamol*[®] kann mittels Cerimetrie nicht direkt bestimmt werden, wohl aber das Hydrolyseprodukt des Wirkstoffs, das p-Aminophenol. Das *Paracetamol*[®]-Molekül muss vor der Analyse chemisch gespalten werden. Das geschieht durch Erhitzen der zermahlene Tablette in verdünnter Schwefelsäure. Die saure Hydrolyse des Carbonsäureamids liefert 4-Aminophenol und Essigsäure.

1. Saure Hydrolyse des Paracetamol[®]



Material:

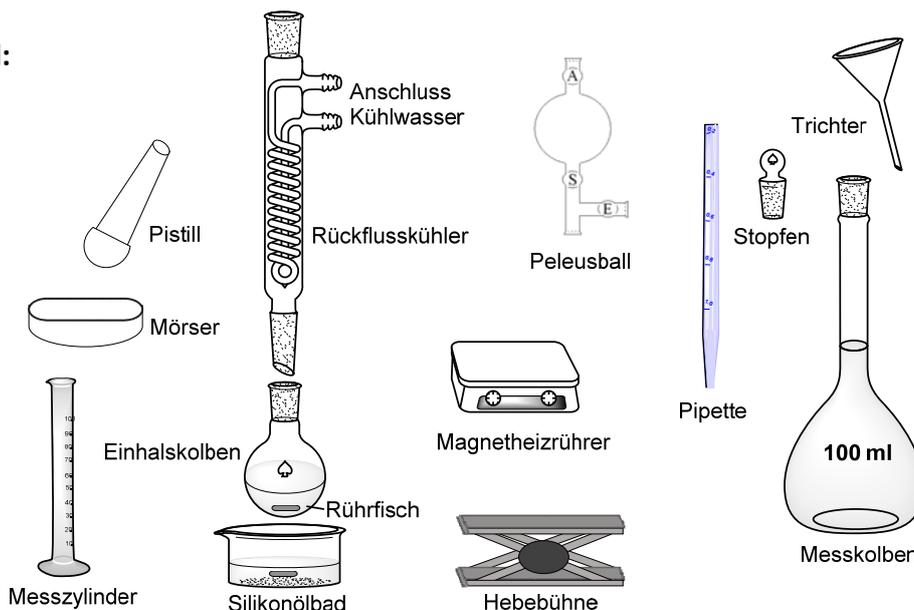


Abb. 3 Labormaterial zum Aufbau der Apparatur

² H.-D.- Jakobke, Ruth Karcher (Hrsg.): Lexikon der Chemie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2001.

Chemikalien:

N-(4-Hydroxyphenyl)acetamid (Paracetamol®) (M= 151,20 g/mol)		H: 302-412 P: 260-273
Verdünnte Schwefelsäure (1,1 M, ~10% H₂SO₄) (M = 98.08 g/mol)		H: 290-314 P: 280-301+330+331-305+351+338-309+310
Verdünnte Salzsäure (2M, ~7% HCl_{aq}) (M = 36.46 g/mol)	 	H 314-335-290 P:234-260-304+340-303+361+353-305+351+338-309+311-501

Durchführung:

Für diesen Versuch müssen insgesamt 600 ml einer 10%igen Schwefelsäure hergestellt werden. Das erfolgt durch Verdünnung einer 50%igen Schwefelsäure³ $\rho = 1,3951 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ($\rho = \text{m}/\text{V}$).

Bedenke: Erst das Wasser, dann die Säure, sonst geschieht das Ungeheure!

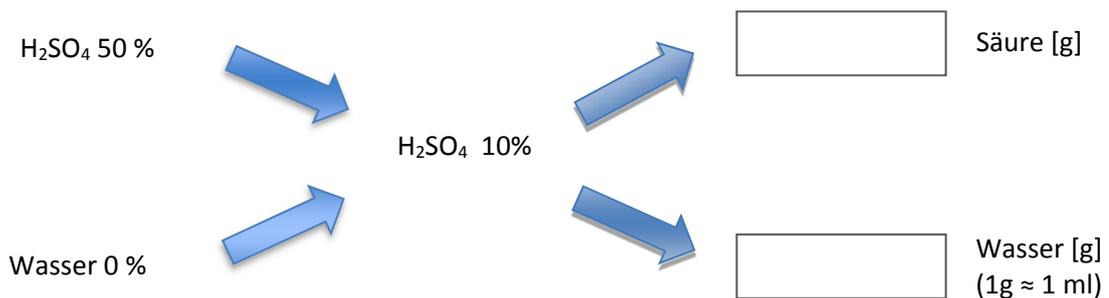


Abb. 4 Schema für das Mischungskreuz zum Verdünnen von Schwefelsäure.

Eine Tablette *Paracetamol*® wird in einem Mörser zerrieben und das Pulver in einem 100 ml-Rundkolben mit 50 ml Schwefelsäure (10%) übergossen und nach Aufsetzen eines Rückflußkühlers für 1 Stunde in einem Silikonölbad (125°C) erhitzt, so dass die Mischung leicht siedet. Nach Ablauf der Zeit kühlt man durch Eintauchen des Kolbens in kaltes Wasser ab, spült den Kühler mit etwas Wasser ab und überführt den Kolbeninhalt vollständig in einen 100 ml-Messkolben.

Der Meßkolben wird mit Wasser bis zur Eichmarke aufgefüllt, gut umgeschüttelt und verschlossen stehen gelassen, bis sich die unlöslichen Hilfsstoffe (Titandioxid, Simeticon, Stearinsäure,...) weitgehend abgesetzt haben.

³ Chemische Tabellen und Rechentafeln für die analytische Praxis von K. Rauscher (u.a.), R. Friebe. 8. Aufl.- Leipzig. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1986

2. Herstellung der 0,1M Cer(IV)-Maßlösung⁴

Materialien:

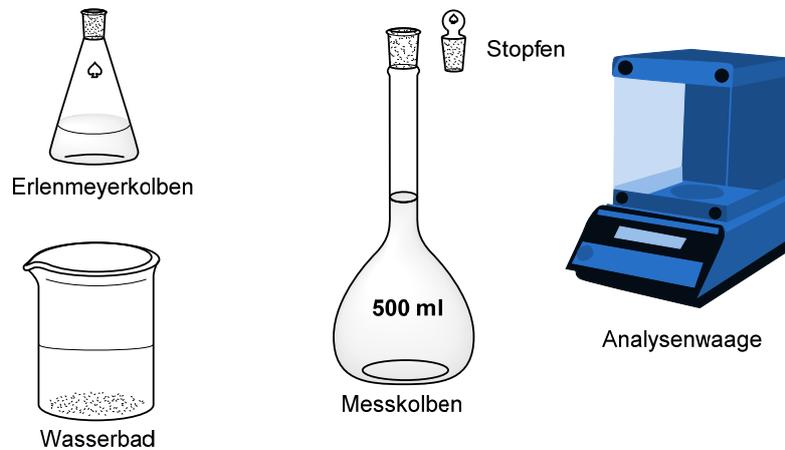


Abb. 5 Labormaterial zur Herstellung der Cersulfat-Maßlösung

Chemikalien:

Ammoniumcer(IV)sulfat Dihydrat $(\text{NH}_4)_4\text{Ce}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

$M = 632,55 \text{ g/mol}$

Durchführung:

32,5 g Ammoniumcer(IV)sulfat Dihydrat werden abgewogen und in einen 500 ml Erlenmeyerkolben gegeben. Dazu werden 250 ml Schwefelsäure (10%) gegeben. Unter mäßigem Erwärmen im Wasserbad (Becherglas 1000ml) wird das orangefarbene Salz vollständig gelöst. Nach dem Abkühlen wird die Flüssigkeit in einem Meßkolben auf das exakte Volumen von 500 ml mit Wasser aufgefüllt.

3. Titerstellung der Cer-Maßlösung mit Kaliumiodid (KI)

Ein Ur-titer ist notwendig zur Bestimmung der genauen Konzentration einer Maßlösung. Um optimale Ergebnisse zu liefern muss eine Maßlösung vor Gebrauch eingestellt werden. Die Titerstellung der Ce^{4+} -Maßlösung erfolgt mit Kaliumiodid. Das Iodid-Ion im Kaliumiodid ist leicht oxidierbar. Damit die Masse des abgewogenen KI auch der genauen Stoffmenge an Iodidionen entspricht (und nicht Wasser aus der Luftfeuchtigkeit anhaftet) verwendet man bei 250°C getrocknetes - also wasserfreies - Kaliumiodid.

Aufbewahrt wird das Salz über einem Trockenmittel (z.B. Silikagel orange) in einem Exsikkator.

⁴ Jander/Jahr, Maßanalyse, 15. Aufl. Walter de Gruyter Berlin-New York 1989, S. 176.

Material:

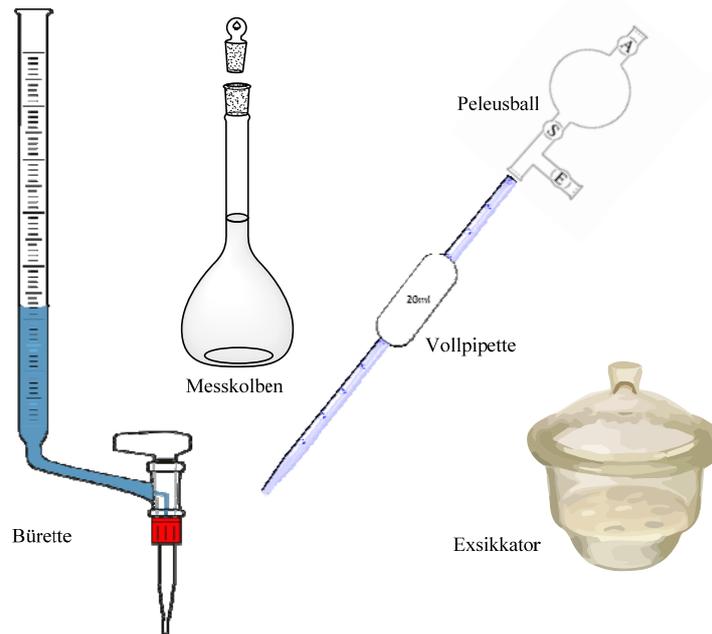


Abb. 6 Labormaterial zur Einstellung der Cersulfat-Maßlösung mit Kaliumiodid

Chemikalien

Kaliumiodid (KI) (M = 166,003 g/mol)

Schwefelsäure (H₂SO₄ ; 1,1M; 10%)

(M = 98,08 g/mol)

Ferriin-Lösung (C₃₆H₂₄FeN₆²⁺; 0,1mol/l)



H: 290-314

P: 280-301+330+331-305+

351+338-309+310

H:411; P: 273

Der in der Titration verwendete Redoxindikator ist eine 1,10-Phenanthrolin-eisen(II)-salz-lösung, genannt Ferriin. Der Farbumschlag von rot nach blau ist reversibel (umkehrbar). Die Farbänderung lässt sich mit dem Übergang (Oxidation) des Eisen(II)-hexammin-Komplexes in einen Eisen(III)-hexamminkomplex erklären. Die oxidierte Form heißt "Ferriin". Im Bereich pH 2,5 und pH 9 ist der Indikator stabil.

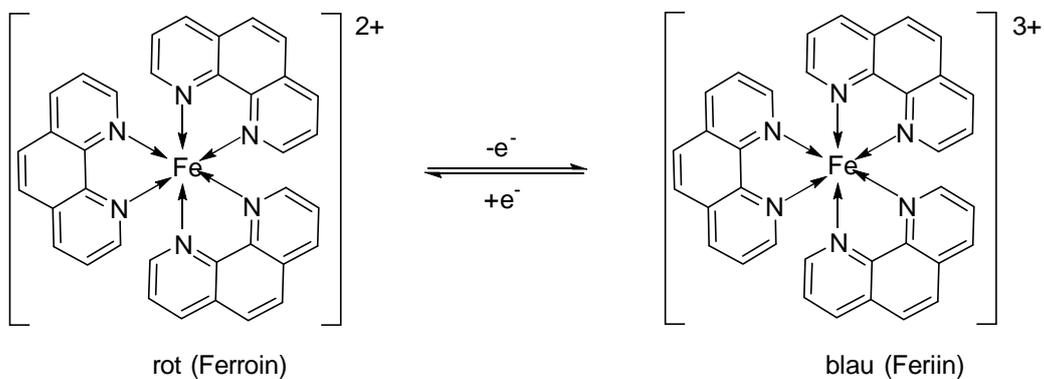
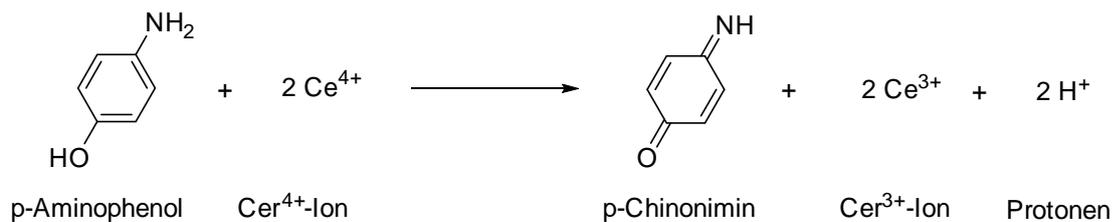


Abb. 7 reversible Reduktion / Oxidation des Indikators Ferriin mit Farbwechsel von rot nach blau

Obwohl eine 0.1M Maßlösung von Ammoniumcersulfat hergestellt werden sollte, liegt durch exakte Bestimmung eine Konzentration von _____ mol vor.

4. Bestimmung der Masse an p-Aminophenol⁵ bzw. Paracetamol[®]

Reaktionsgleichungen und Stoffmengenverhältnis der Redox titration von p-Aminophenol mit Ce^{4+} :



Chemikalien:

Ammoniumcer(IV)sulfat Dihydrat-Maß-

lösung $(\text{NH}_4)_4\text{Ce}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

M = 632,55 g/mol)

Verdünnte Salzsäure (2M, ca. 7% HCl_{aq})

(M = 36.46 g/mol)

(1,10 Phenanthrolin)eisen(II)sulfat Fer-

roin $([\text{C}_{36}\text{H}_{24}\text{FeN}_6]^{2+})\text{-Lsg}$

(M= 596,46 g/mol)



H 314-335-290
P:234-260-304+340-303+361+353
305+351+338-309+311-501

H: 290-314-335
P: 234-260-304+340-303+361+353
305+351+338-309+311-501

Durchführung:

20 ml der auf 100 ml verdünnten Lösung aus der Hydrolyse des *Paracetamols*[®] werden in einen Erlenmeyerkolben gegeben, mit 40 ml Wasser, 40 g Eis, 15 ml verdünnter Salzsäure und fünf Tropfen Ferroin-Lösung versetzt und mit Ammoniumcer(IV)sulfatlösung titriert. Man titriert bis zu einem Farbumschlag nach grünlich-gelb.

⁵ Europäisches Arzneibuch Ph. Eur. 7. Ausgabe, Grundwerk 2011

Auswertung:

Pro Molekül *Paracetamol*[®] ist durch saure Hydrolyse ein Molekül 4-Aminophenol entstanden, das mit Ce^{4+} -Lösung titriert wird. Während der Titration reduziert das Aminophenol das Ce^{4+} zu Ce^{3+} :

Bekannt:

$$n_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} : n_{\text{Ce}^{4+}} = 1 : 2$$

$$n_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} = 0,5 \cdot n_{\text{Ce}^{4+}}$$

$$n_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{mol}] = \frac{m_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{g}]}{M_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{g/mol}]}$$

$$n_{\text{Ce}^{4+}} = c_{\text{Ce}^{4+}} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] \cdot V_{\text{Ce}^{4+}} [\text{l}]$$

$$\frac{m_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{g}]}{M_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{g/mol}]} = 0,5 \cdot c_{\text{Ce}^{4+}} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] \cdot V_{\text{Ce}^{4+}} [\text{l}]$$

Gesucht:

$$m_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{g}]$$

$$m_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{g}] = 0,5 \cdot c_{\text{Ce}^{4+}} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] \cdot V_{\text{Ce}^{4+}} [\text{l}] \cdot M_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$$

$$m_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{g}] = 0,5 \cdot \text{_____} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] \cdot \text{_____} [\text{l}] \cdot 151,2 \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$$

$$m_{\text{Paracetamol}^{\text{®}}} [\text{g}] = \text{_____} \text{ g bzw. } \text{_____} \text{ mg}$$

Da mit nur jeweils $\frac{1}{5}$ der gesamten Lösung titriert wurde, muss das Ergebnis mal 5 genommen werden. Dann erhält man einen Wert von _____ mg.

Laut Packungsbeilage enthält eine Tablette *Paracetamol*[®] 500 mg des Wirkstoffs.



Aufgabe 1

Ergänze die folgende Tabelle nach Deiner Recherche im Internet.

Chemisches Symbol	Name des Elements (Entdeckungsjahr)	Ursprung des Namens
140,12 Ce 58		
	Neodym (1885)	
88,91 Y 39		
		Name des Kontinents Europa

Aufgabe 2

Was genau versteht man unter dem Begriff „Seltene Erden“ und wofür werden sie verwendet?

Aufgabe 3

Warum wird momentan so viel über „Seltene Erden“ gesprochen?
Was für Probleme gibt es?



Erwartungshorizont

Aufgabe 1

Chemisches Symbol	Name des Elements (Entdeckungsjahr)	Ursprung des Namens
140,12 Ce 58	Cer (1803)	Nach Ceres (entdeckt 1803) kleinster Zwergplanet, größtes Objekt im Asteroidengürtel – römische Göttin des Ackerbaus
144,24 Nd 60	Neodym (1885)	ἄεος <i>neos</i> ‚neu‘ und δίδυμος <i>didymos</i> ‚Zwilling‘ (Zwilling von Lanthan) vorher Didym (das aber aus 2 Elementen bestand Praseodym und Neodym)
88,91 Y 39	Yttrium (1794)	Mineral Ytterbit – Grube Ytterby in Schweden
151,96 Eu 63	Europium (1901)	Name des Kontinents Europa

Aufgabe 2

Was genau versteht man unter dem Begriff „Seltene Erden“ und wofür werden sie verwendet?

Allgemein werden die 17 Elemente mit den Ordnungszahlen 58 bis 71 zusammen mit den Elementen Y, Sc, La als „Seltene Erden“ definiert. Es handelt sich um Metalle. Der Name der Gruppe stammt aus der Zeit der Entdeckung dieser Elemente und beruht auf der Tatsache, dass sie zuerst in seltenen Mineralien gefunden und aus diesen in Form ihrer Oxide (früher „Erden“ genannt) isoliert wurden. Die auch als High-Tech-Metalle bezeichneten Seltenerdmetalle sind unverzichtbarer Bestandteil vieler moderner Produkte und Anwendungen, wie z.B. Smartphones, Plasma/LCD-Bildschirme, Grüne Technologie Produkte, LED- & Energiesparlampen, Kopfhörer etc..

Aufgabe 3

Warum wird momentan so viel über „Seltene Erden“ geredet? Was für Probleme gibt es?

China hat eine Monopolstellung auf die Seltenen Erden, da in diesem Land 97 % der weltweit gehandelten Seltenen Erden abgebaut werden. Es wird befürchtet, dass es zu Engpässen im Export der Metalle kommen könnte, die für jede Art von High-Tech gebraucht werden. Gerade für Deutschland sind die Seltenen Erden so wichtig wie Erdöl oder Erze, da kaum ein Hightech-Gerät ohne sie hergestellt werden kann. SE wachsen nicht nach, ihr Vorkommen ist limitiert auf der Erde. Große Probleme bereitet der Abbau der Seltenen Erden in den Lagerstätten, da Menschen und Umwelt unter den Abbaubedingungen leiden.



Arbeitsblatt zur Nachbereitung des Versuchs „Herstellung eines Supraleiters“

Aufgabe 1

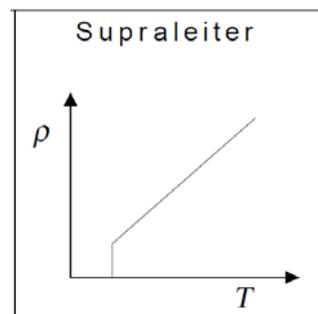
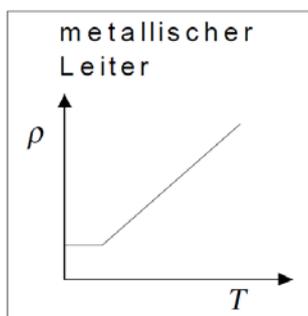
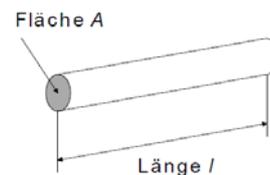
Keramiken sind eigentlich als elektrische Isolatoren bekannt. Du hast in Deinem Experiment die Keramik Yttriumbariumcuprat hergestellt, die besondere elektrische Eigenschaften besitzt. Die Supraleitung hat das Potenzial die Technik zu revolutionieren.

- Welches Seltenerd-Metallion spielt in der Synthese die „zentrale“ Rolle? _____
- Definiere die Begriffe Supraleiter, Hochtemperatursupraleiter (HTS) und Sprungtemperatur.

Aufgabe 2

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Begriff, den Du aus der Physik kennst. Der Widerstand R eines leitfähigen Drahtes verhält sich proportional zur Länge l [m] und umgekehrt proportional zu seiner Querschnittsfläche A [mm²]; der Proportionalitätsfaktor heißt spezifischer Widerstand „rho“ ρ [Ω·m] und ist für jeden Stoff unterschiedlich. In diesem steckt die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit:

$$R [\Omega] = \rho [(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}] \frac{l [\text{m}]}{A [\text{mm}^2]}$$



Verhalten des spezifischer Widerstands ρ von Metall und Supraleiter bei tiefen Temperaturen T



- a) Die elektrische Leitfähigkeit hängt vom elektrischen Widerstand ab. Wie lautet der Name des empirischen Gesetzes und die physikalische Gleichung, die diesen Zusammenhang beschreibt?

- b) Berechne den elektrischen Widerstand R der beiden folgenden Kabel: Kupferkabel (Cu) und Yttriumkabel (Y) bei 20°C : Querschnitt $A = 1 \text{ mm}^2$, Länge $l = 110 \text{ m}$, spezifischer el. Widerstand bei 20°C von Cu $\rho = 0,0178 [(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}]$, von Yttrium $\rho = 0,596 [(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}]$.

- c) In welchen Bereichen gibt es ein Potenzial Supraleitung zukünftig einzusetzen?

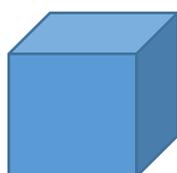
- d) Welche zwei Wissenschaftler haben als erste ein supraleitendes kupferhaltiges Oxid hergestellt und welchen Preis haben wurde ihnen dafür verliehen?

Aufgabe 3

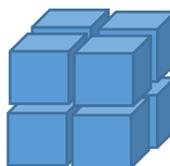
Um ein möglichst homogenes Pulver für die Reaktion im Ofen herzustellen wurden die Substanzen erst gut gemischt und dann ausgiebig gemörsert.

- a) Warum wurde so ausgiebig und intensiv gemörsert?

- b) Berechne die Oberflächen und Volumina der Würfel und vergleiche die Werte:



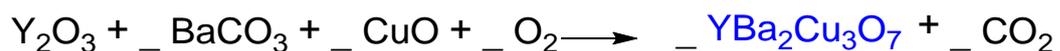
1 Würfel
mit einer Kantenlänge
1 cm



8 Würfel
mit einer Kantenlänge
0,5 cm

**Aufgabe 4**

- a) Bestimme die Oxidationszahlen in den Edukten und Produkten und notiere sie über den Elementen. Welches Element kann im Supraleiter in unterschiedlichen Oxidationsstufen vorliegen? Diskutiere.



- b) Stelle die Gleichung stöchiometrisch richtig.

Aufgabe 5

Bei der Reaktion zur Herstellung des Supraleiters entsteht Kohlenstoffdioxid - ein Treibhausgas.

- a) Welches weitere Treibhausgas ist Dir noch bekannt?
- b) Skizziere die Lewis-Formel von Kohlenstoffdioxid und einem weiteren Treibhausgas.



Arbeitsblatt zur Nachbereitung des Versuchs „Herstellung eines Supraleiters“

Lehrplanbezug: Schätze der Erde, Treibhausgase, Laborgeräte, Bindungsmodelle, Teilchen, Struktur, Ionenbindung, chemisches Rechnen.

Aufgabe 1

Keramiken sind eigentlich als elektrische Isolatoren bekannt. Du hast in Deinem Experiment die Keramik Yttriumbariumcuprat hergestellt, die besondere elektrische Eigenschaften besitzt. Die Supraleitung hat das Potenzial die Technik zu revolutionieren.

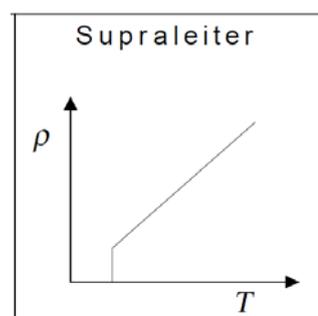
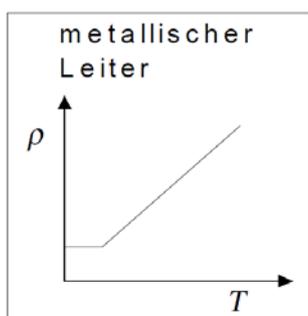
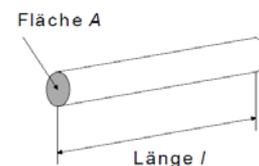
- a) Welches Seltenerd-Metallion spielt in der Synthese die „zentrale“ Rolle? Y³⁺
- b) Definiere die Begriffe Supraleiter, Hochtemperatursupraleiter (HTS) und Sprungtemperatur.

Als Supraleiter werden alle Stoffe, Metalle oder Metallverbindungen bezeichnet, die bei einer bestimmten Sprungtemperatur - auch „kritische Temperatur“ T_c genannt - in einen supraleitenden Zustand übergehen, also keinen messbaren elektrischen Widerstand mehr besitzen. Diese Temperatur ist meist sehr niedrig: um Supraleitung zu erreichen, muss das Material im Allgemeinen mit verflüssigtem Helium (Siedetemperatur -269 °C) gekühlt werden. Nur bei den Hochtemperatur-Supraleitern genügt zur Kühlung verflüssigter Stickstoff (Siedetemperatur -196 °C). Die Vorteile von Hochtemperatursupraleitern liegen eben darin, dass man auch schon mit „höheren“ Temperaturen den supraleitenden Effekt erzielt, und damit die Kosten der Kühlung entscheidend verringern kann. T_c (YBCO-123: $-181,15\text{ °C}$ (92 K))

Aufgabe 2

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Begriff, den Du aus der Physik kennst. Der Widerstand R eines leitfähigen Drahtes verhält sich proportional zur Länge l [m] und umgekehrt proportional zu seiner Querschnittsfläche A [mm²]; der Proportionalitätsfaktor heißt spezifischer Widerstand „rho“ ρ [$\Omega \cdot m$] und ist für jeden Stoff unterschiedlich. In diesem steckt die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit:

$$R [\Omega] = \rho [(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}] \frac{l [\text{m}]}{A [\text{mm}^2]}$$



Verhalten des spezifischer Widerstands ρ von Metall und Supraleiter bei tiefen Temperaturen T



- a) Die elektrische Leitfähigkeit hängt vom elektrischen Widerstand ab. Wie lautet der Name des empirischen Gesetzes und die physikalische Gleichung, die diesen Zusammenhang beschreibt?

$$R [\Omega] = \frac{U [V]}{I [A]}$$

- b) Berechne den elektrischen Widerstand R der beiden folgenden Kabel: Kupferkabel (Cu) und Yttriumkabel (Y) bei 20°C: Querschnitt $A = 1 \text{ mm}^2$, Länge $l = 110 \text{ m}$, spezifischer el. Widerstand bei 20°C von Cu $\rho = 0,0178 [(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}]$, von Yttrium Y $\rho = 0,596 [(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}]$.

$$R_{\text{Cu}} [\Omega] = \rho [(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}] \frac{l [\text{m}]}{A [\text{mm}^2]} = \frac{0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 110 \text{ m}}{1 \text{ mm}^2} = 1,958 \Omega$$

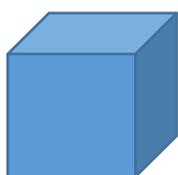
$$R_{\text{Y}} [\Omega] = \rho [(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}] \frac{l [\text{m}]}{A [\text{mm}^2]} = \frac{0,596 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \cdot 110 \text{ m}}{1 \text{ mm}^2} = 65,56 \Omega$$

- c) In welchen Bereichen gibt es ein Potenzial Supraleitung zukünftig einzusetzen? **Supraleitende Kabel für den Transport elektrischer Energie, Energiespeicherung, Transformatoren, Generatoren, Kernspintomographie, Kommunikationstechnik, Magnetschwebbahn, Hochleistungsmagneten (z.B. für Fusionsexperimente, Teilchenbeschleuniger)**
- d) Welche zwei Wissenschaftler haben als erste ein supraleitendes kupferhaltiges Oxid hergestellt und welchen Preis haben wurde ihnen dafür verliehen? **Karl Alexander Müller und Johannes Georg Bednorz, die 1987 dafür den Nobelpreis für Physik erhielten.**

Aufgabe 3

Um ein möglichst homogenes Pulver für die Reaktion im Ofen herzustellen wurden die Substanzen erst gut gemischt und dann ausgiebig gemörsert.

- a) Warum wurde so ausgiebig und intensiv gemörsert? **Durch das Mörsern wird die spezifische Oberfläche des Feststoffs pro Volumeneinheit erhöht. Die Reaktionsgeschwindigkeit zwischen zwei Stoffen wird so gesteigert. Gerade Reaktionen zwischen Feststoffen verlaufen sonst recht langsam, es gibt ja kein „Lösungsmittel“ in welchem gerührt werden kann. Chemische Reaktionen verlaufen umso rascher und intensiver, je größer die Oberfläche der miteinander reagierenden Stoffe ist. Beispiel: Während größere Kohlestücke langsam verbrennen (chemisch eine Oxidationsreaktion), verbrennt feingemahlener Kohlenstaub explosionsartig schnell.**
- b) Berechne die Oberflächen und Volumina der Würfel und vergleiche die Werte:



1 Würfel
mit einer Kantenlänge
1 cm

$$\text{Oberfläche} = 6 \times 1 \text{ cm}^2 = 6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volumen} = 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 1 \text{ cm}^3$$



8 Würfel
mit einer Kantenlänge
0,5 cm

$$\text{Oberfläche} = 8 \times (6 \times 0,25 \text{ cm}^2) = 12 \text{ cm}^2$$

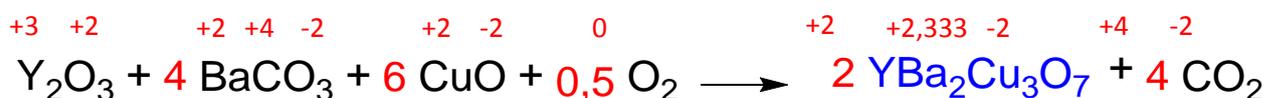
$$\text{Volumen} = 8 \times (0,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}) = 1 \text{ cm}^3$$

**Aufgabe 4**

- a) Bestimme die Oxidationszahlen in den Edukten und Produkten und notiere sie über den Elementen. Welches Element kann im Supraleiter in unterschiedlichen Oxidationsstufen vorliegen? Diskutiere.

Kupfer; in der räumlich-chemischen Struktur haben die Kupferatome zwei unterschiedliche Plätze. In der Grundfläche einer vierseitigen Pyramide aus Sauerstoffatomen bilden sie die Leitungsschichten und mit vier Sauerstoffnachbarn die Ladungsreservoirs. Parallel zu den Leitungsschichten ist die elektrische Leitfähigkeit wesentlich größer als senkrecht zu ihnen. Die Kupferatome besitzen in den Leitungsschichten die Oxidationszahl +2 und sind von Ladungsreservoirs aus Kupferatomen der Oxidationszahl +3 umgeben. Für das Auftreten von Supraleitung spielt der Ladungsausgleich zwischen den Kupferatomen in beiden Schichten eine wichtige Rolle. Der entscheidende Parameter ist jedoch der Sauerstoffgehalt und die Ordnung auf den Sauerstoffatom-Plätzen. Daher wird bei der Reaktion über das Feststoffgemisch gasförmiger Sauerstoff geleitet.

- b) Stelle die Gleichung stöchiometrisch richtig.

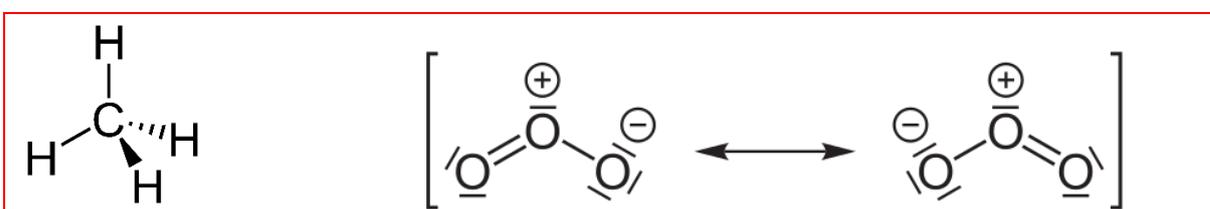
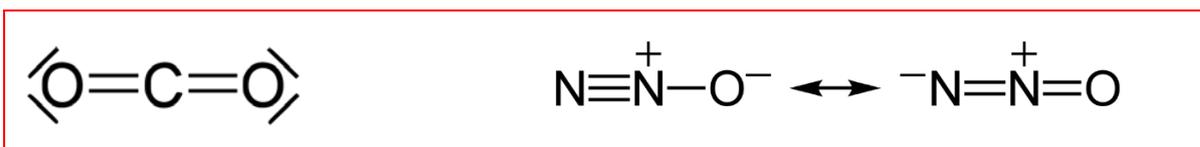
**Aufgabe 5**

Bei der Reaktion zur Herstellung des Supraleiters entsteht Kohlenstoffdioxid - ein Treibhausgas.

- a) Welches weitere Treibhausgas ist Dir noch bekannt?

Methan, Distickstoffoxid, Ozon

- b) Skizziere die Lewis-Formel von Kohlenstoffdioxid und einem weiteren Treibhausgas.





Arbeitsblatt zur Nachbereitung des Versuchs „Fälschungssicherer Fluoreszenzfarbstoff“

Aufgabe 1

Du hast in einer dreistufigen Synthese einen Fluoreszenzfarbstoff hergestellt, der als Sicherheitsfarbstoff auf Banknoten Verwendung findet.

1.1 Welches Selten-Erd-Metallion spielt hierbei die „zentrale“ Rolle? _____

1.2 Wie heißt die synthetisierte Verbindung genau? _____

1.3 Europium kommt in der Natur hauptsächlich als Isotop Eu-151 und Eu-153 vor.

a. Wir erinnern uns: Was versteht man unter dem Begriff Isotop?

b. Das mittlere Atomgewicht wird für Europium mit 151,965 u angegeben. Schätze die Verteilung der beiden Isotope zunächst ab. Berechne dann deren genaue Verteilung!

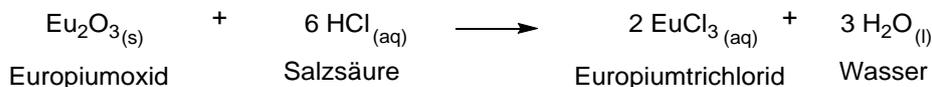
Aufgabe 2

Zeichne den Versuchsaufbau der Synthese!



Aufgabe 3 - Für Fortgeschrittenere...

3.1 Entscheide, ob es sich bei folgender Reaktion um eine Redox-Reaktion handelt (Tipp: Bestimme die Oxidationszahlen).



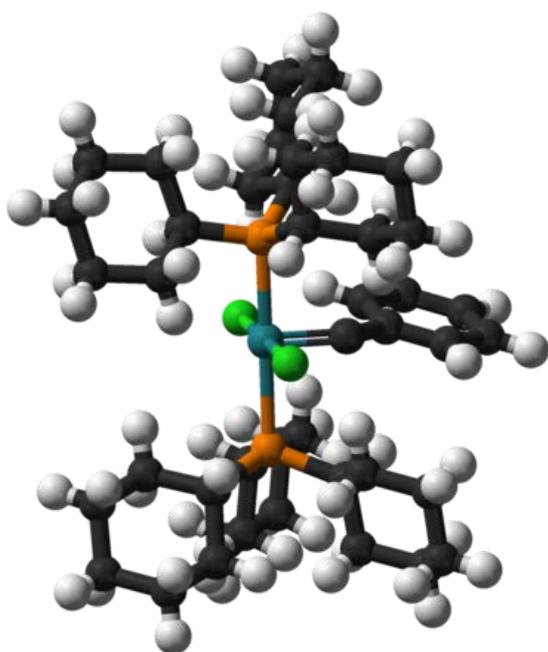
3.2 Um welchen Reaktionstyp handelt es sich? Begründe!

Aufgabe 4

Im dritten Syntheseschritt werden die Produkte aus Versuch 1 und Versuch 2 zur Reaktion gebracht. Der pH-Wert der Reaktion muss stets unter pH 5 gehalten werden? Begründe, warum dies wichtig ist!

Aufgabe 5

Komplexchemie in der Schule? Nicht überall...



Am Beispiel des Grubbs-Katalysators (Abb. links), der nach seinem Entdecker Robert H. Grubbs benannt ist und für den es 2005 den Nobelpreis in Chemie gab, sollen kurz einige Begriffe geklärt werden:

Komplexe sind chemische Verbindungen, bestehend aus einem Zentralteilchen (Atom bzw. Ion) und Liganden (ligare (lat.) = binden), die sich um das Zentralteilchen in einer bestimmten geometrischen Form anordnen.

a. Wie heißt der Ligand im hergestellten Fluoreszenzfarbstoff?

b. Wie viele Liganden werden dort verwendet?

c. Welches Zentralteilchen wird im hergestellten Fluoreszenzfarbstoff verwendet?



Erwartungshorizont zum AB zur Nachbereitung des Versuchs „Fälschungssicherer Fluoreszenzfarbstoff“

Lehrplanbezug Sek I: Laborgeräte, Atombau – Isotope, Säure-Base-Theorie, OC – funktionelle Gruppen, chemisches Rechnen.

Lehrplanbezug Sek II: Säure-Base-Reaktionen, Komplexchemie – Nomenklatur, Farbstoffe – Absorptionsspektrum, Fluoreszenz, OC – Keto-Enol-Tautomerie

Aufgabe 1

Du hast in einer dreistufigen Synthese einen Fluoreszenzfarbstoff hergestellt, der als Sicherheitsfarbstoff auf Banknoten Verwendung findet.

- 1.1 Welches Seltene-Erd-Metallion spielt hierbei die „zentrale“ Rolle? **Europium**
- 1.2 Wie heißt die synthetisierte Verbindung genau? **Europium(III)tris(acetylacetonat)**
- 1.3 Europium kommt in der Natur hauptsächlich als Isotop Eu-151 und Eu-153 vor.
 - a. Wir erinnern uns: Was versteht man unter dem Begriff Isotop?
Isotope sind Nuklide (Atomsorten) mit gleicher Ordnungszahl, aber unterschiedlicher Massenzahl. Isotope enthalten also in ihren Atomkernen eine gleiche Anzahl von Protonen, aber verschiedene Anzahlen von Neutronen.
 - b. Das mittlere Atomgewicht wird für Europium mit 151,965 u angegeben. Schätze die Verteilung der beiden Isotope zunächst ab. Berechne dann deren genaue Verteilung! **Jedes etwa 50%.**

Aufgabe 2

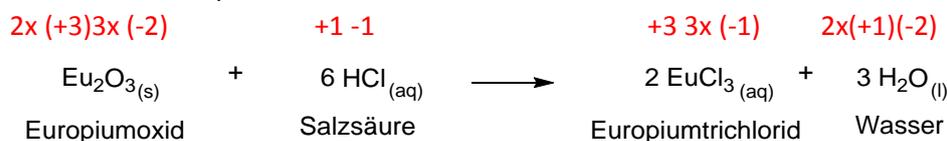
Zeichne den Versuchsaufbau der Synthese!





Aufgabe 3 - Für Fortgeschrittene...

3.1 Entscheide, ob es sich bei folgender Reaktion um eine Redox-Reaktion handelt (Tipp: Bestimme die Oxidationszahlen).



Nein, es ist keine Redoxreaktion, da sich die Oxidationszahlen nicht ändern.

3.2 Um welchen Reaktionstyp handelt es sich? Begründe!

Säure-Base-Reaktion, da es sich um eine Protonenübertragung handelt.

Aufgabe 4

Im dritten Syntheseschritt werden die Produkte aus Versuch 1 und Versuch 2 zur Reaktion gebracht. Der pH-Wert der Reaktion muss stets unter pH 5 gehalten werden? Begründe, warum dies wichtig ist!

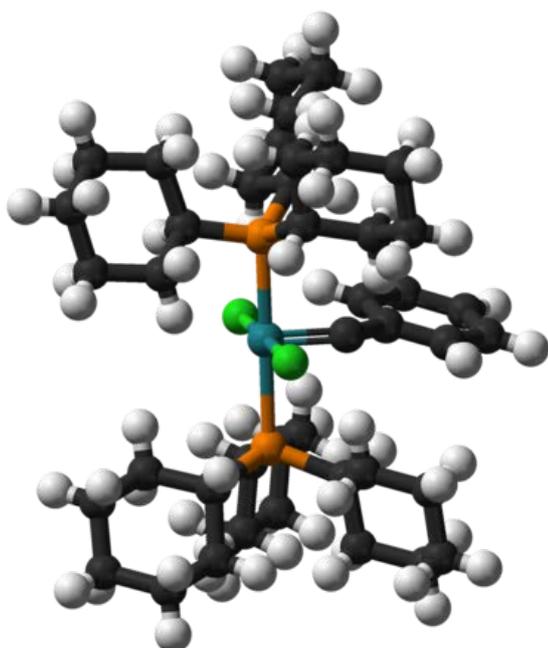
Bei höheren pH-Werten, würde sich das Hydroxid bilden, welches dann ausfällt.

Aufgabe 5

Komplexchemie in der Schule? Nicht überall...

Am Beispiel des Grubbs-Katalysators (Abb. links), der nach seinem Entdecker Robert H. Grubbs benannt ist und für den es 2005 den Nobelpreis in Chemie gab, sollen kurz einige Begriffe geklärt werden:

Komplexe sind chemische Verbindungen, bestehend aus einem Zentralteilchen (Atom bzw. Ion) und Liganden (ligare (lat.) = binden), die sich um das Zentralteilchen in einer bestimmten geometrischen Form anordnen.



a. Wie heißt der Ligand im hergestellten Fluoreszenzfarbstoff?

Acetylacetonat

b. Wie viele Liganden werden dort verwendet?

3

c. Welches Zentralteilchen wird im hergestellten Fluoreszenzfarbstoff verwendet?

Eu³⁺