

Handbuch

# Flatscreen & Co Umweltkritische Materialien

Band 1: Theorie

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)



**UNIA**

Universität  
Augsburg  
University



## Vorwort zur 2. Auflage

Die erste Ausgabe des Lehrerhandbuches war ein großer Erfolg, der nicht nur von der Zielgruppe, den LehrerInnen und SchülerInnen, sehr gut angenommen wurde. Es hat sich gezeigt, dass die Themen Flatscreen und Rohstoffe auch allgemein von großem Interesse sind. Vor allem gibt es wenige Publikationen, in denen die teils komplexen Zusammenhänge und Fakten verständlich erklärt werden. Oft lassen die Schlagzeilen über extreme und negative Produktionsbedingungen wie Kinderarbeit, Zwangsarbeit oder schädliche Umweltauswirkungen, die Menschen ratlos zurück. Auch wenn das originäre Lehrerhandbuch auf die Zielgruppe LehrerInnen und SchülerInnen zugeschnitten war, sind die Fakten jedoch für ein weit größeres Publikum interessant, während die didaktischen Anteile nur für die Zielgruppe von Belang sind.

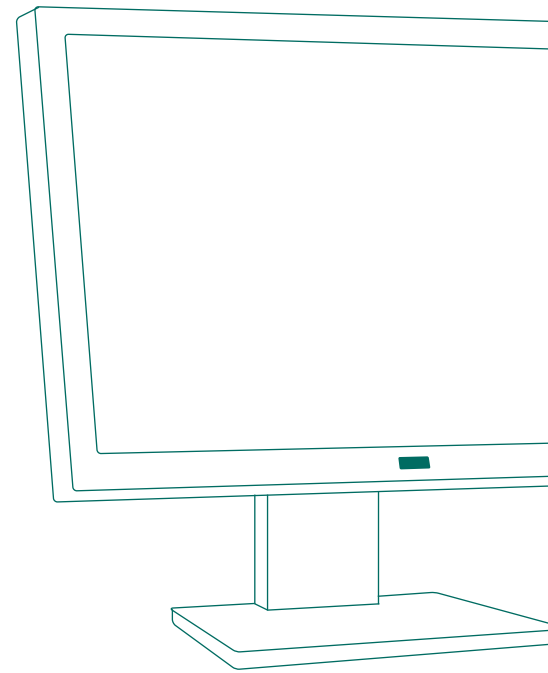
Um nun die wichtigen Inhalte einem erweiterten Publikum zugänglich zu machen und Ressourcen (Papier) zu schonen, wird das Handbuch fortan in 2 Bänden herausgegeben: Band 1 mit den Fakten zu den Materialien und Band 2 mit einem didaktischen Teil für die LehrerInnen. Das Handbuch bietet in Band 1 einen differenzierten Blick auf die komplexe Thematik der Materialien und deren Lebensgeschichten, die in einem Flatscreen verbaut sind und löst die Pauschalargumente in reale und verständliche Einzelprobleme auf, für die sich meist Lösungsansätze zeigen. So erhalten die LeserInnen eine bessere und fundiertere Grundlage, auf der sie ihr Handeln entsprechend ausrichten können. Band 2 des Handbuches war und ist eindeutig auf die Lehrkräfte zugeschnitten, indem dort methodische und didaktische Lehransätze erklärt, Unterrichtsvorschläge und Handreichungen angeboten werden.

Nachdem sich in der ersten Auflage einige Fehler eingeschlichen haben und zwischenzeitlich aktuelle Zahlen verfügbar sind, wird eine zweite erweiterte und ergänzte Auflage des Handbuches in zwei Einzelbänden herausgegeben:

Flatscreen & Co, Umweltkritische Materialien, Band 1: Theorie.

Flatscreen & Co, Umweltkritische Materialien, Band 2: Methodik, Umsetzung, Handreichungen.

Band 1 richtet sich vor allem an die SchülerInnen, LehrerInnen und alle weiteren InteressentInnen. Band 2 wurde für LehrerInnen konzipiert. Wir wünschen Ihnen viel Freude und gute Erkenntnisse mit diesen Handbüchern.



Die Herausgeber, Augsburg, April 2020

## Sehr geehrte Damen und Herren,



Prof. Dr. Armin Reller

die Umweltkritikalität von metallischen Rohstoffen ist nun schon seit mehreren Jahren ein aktuelles Thema in der Wissenschaft und der Wirtschaft. Die Diskussion hat die Öffentlichkeit erreicht, die als Konsument Verantwortung übernehmen möchte. Hier zeigen sich nun die ersten Probleme, denn das Thema Umweltkritikalität ist äußerst komplex und weltumspannend, sodass die eigenen Handlungsoptionen nur schwer erkannt oder als nicht relevant betrachtet werden. Umso wichtiger ist es, die Komplexität aufzubrechen um die einzelnen und wirklichen Probleme zu identifizieren und für diese nun jeweils spezifische und umsetzbare Lösungen anzubieten.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) hat sich diesem hochaktuellen Thema im Rahmen ihrer Förderleitlinien angenommen und fördert sowohl technische als auch Bildungsprojekte.

Die Universität Augsburg hat mit seinen Kooperations- und Projektpartnern ein dreijähriges Förderprogramm „Flatscreen & Co unter die Lupe genommen“ erhalten und entwickelt seit November 2017 ein Bildungskonzept für Schülerinnen und Schüler sowie deren Lehrerinnen und Lehrer. Aufgebaut ist das Konzept als Baukastensystem mit einem grundlegenden theoretischen Anteil, der die Methoden und Inhalte vermittelt, sowie einem praktisch orientierten Vertiefungsteil, der neben Schülerlaboren und Exkursionen eine ganze Stoffreise erleben lässt.

Die wissenschaftliche Leitung des Projektes obliegt dem Lehrstuhl für Ressourcenstrategie und die Projektleitung wird vom Anwenderzentrum Materialforschung der Universität Augsburg durchgeführt. Zusammen mit den Partnern ist eine hohe Expertise für diese Thematik am Start, sowohl für die inhaltlichen Aspekte der kritischen Metalle, als auch bei der fachdidaktischen Aufbereitung. Dieses Handbuch ist ein erster Schritt zur Unterstützung der Lehrerinnen und Lehrer, das alle wesentlichen Inhalte, Unterrichtsbeispiele und Handreichungen für die Unterrichtsgestaltung bietet, und so begleitend zu den Lehrerfortbildungen aber auch zum Selbststudium bestens geeignet ist.

Das Projekt und dieses Handbuch leisten einen wesentlichen Beitrag im Sinne der Bildung für nachhaltige Entwicklung, das es in dieser Form bisher noch nicht gegeben hat.

Prof. Dr. Armin Reller  
Lehrstuhlinhaber Lehrstuhl für Ressourcenstrategie  
Universität Augsburg

## Umweltkritische Stoffe in Flatscreen & Co.

Flatscreens sind in Alltagsgegenständen wie Mobiltelefonen, Tablets, Fernsehern sowie Anzeigetafeln von Navigationssystemen oder Spielekonsolen weit verbreitet. Die meisten Menschen nutzen täglich mehrere solcher Geräte, dennoch wissen nur wenige, dass Flatscreens etwa 40 verschiedene Rohstoffe enthalten, darunter bekannte Materialien wie Gold aber auch weniger bekannte wie Indium, Paladium, Neodym oder Europium. Auch gehen vom Abbau der Stoffe und von ihrer unsachgemäßen Entsorgung gesundheitliche Beeinträchtigungen von Menschen ebenso aus, wie eine erhebliche Belastung der Umwelt.

Durch bisher noch unzureichend geschlossene Kreisläufe werden zudem viele der Materialien fein über die Erde verteilt oder verbleiben in Deponien. Beides macht es so gut wie unmöglich, die wertvollen Rohstoffe erneut zu nutzen, so dass sie zukünftigen Generationen nicht mehr oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen. Zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise gehört es daher, die heute genutzten Ressourcen wieder verfügbar zu machen, wobei die Feinverteilung von Stoffen möglichst ganz unterbleiben muss. Um dies zu erreichen und trotzdem einen hohen Lebensstandard zu ermöglichen, sind zwei ambitionierte Bedingungen zu erfüllen: Die Entkoppelung des wirtschaftlichen Wohlstandes vom Rohstoffverbrauch und die Entkoppelung des Rohstoffverbrauchs von schädlichen Umweltauswirkungen. Außerdem müssen Sozial-, Umwelt- und Arbeitsschutzstandards eingehalten werden.

Die geschilderte Situation betrifft viele Metalle, die als strategische Metalle oder umweltkritische Metalle bezeichnet werden und teilweise den so genannten Seltenen Erden zugeordnet sind. Die Materialien müssen möglichst vollständig im Kreislauf geführt und einem hochwertigen Recycling zugeführt werden. Das betrifft im Alltag beispielsweise die Frage danach, welche Geräte angeschafft werden sollen und wo sie gegebenenfalls nach Ende der Nutzung abgegeben werden können. Auch geht es um die Frage einer effizienten Kreislaufwirtschaft.

Diese Zusammenhänge sind entgegen ihrer großen Bedeutung bisher kaum in Bildungsangeboten von Schulen oder außerschulischen Lernorten enthalten - Anlass genug, das Thema im Projekt „Flatscreen, & Co unter die Lupe genommen“ nun zum Lerngegenstand im schulischen und außerschulischen Unterricht zu machen. Durch das Projekt werden erstmalig themenumfassende allgemein verständliche Materialien und Informationen sowie Umweltbildungsmodule zu umweltkritischen Metallen erarbeitet und zur Verfügung gestellt. Der praktische Zugang über Flatscreens in Kombination mit dem neuen Wissenschaftscomic stellt ein neues passgenaues didaktisches Konzept dar, das es erlaubt, das komplexe Thema verständlich und strukturiert aufzuarbeiten. Dieses Lehrerhandbuch fasst die komplexen und für eine nachhaltige Entwicklung so relevanten Zusammenhänge sehr gut zusammen und bietet viele Anknüpfungspunkte für den Unterricht.

Ulrike Peters  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Ulrike Peters

# Aufbau der beiden Bände zum Bildungsprojekt „Flatscreen & Co unter die Lupe genommen“

Die erste Auflage des Lehrerhandbuches für das Bildungsprojekt **Flatscreen & Co unter die Lupe genommen** wurde für LehrerInnen konzipiert, um ihnen sowohl die notwendigen theoretischen Grundlagen und Inhalte zu vermitteln, als auch praktische Anleitungen, Empfehlungen und Hinweise zu geben, um das Projekt eigenständig mit den SchülerInnen durchführen zu können. Beide Auflagen des Handbuches flankieren somit die Fortbildungen für Lehrkräfte, die an der Universität Augsburg angeboten werden; sie können aber auch im Rahmen des Selbststudiums genutzt werden. Das gesamte Bildungskonzept sieht eine Stoffreise vor, die auf dem methodischen Konzept der Stoffgeschichte beruht. Ausgehend von grundlegenden theoretischen Inhalten soll die Stoffreise durch praktische Anteile wie SchülerInnenlabore, Schwerpunktseminare und Exkursionen ergänzt und erlebt werden. Neben diesem Handbuch gibt es einen **Wissenschafts-sachcomic** (print- und online-Version) sowie die **Internetplattform Flatscreenjourney** ([www.flatscreenjourney.de](http://www.flatscreenjourney.de)), über welche Inhalte, Beiträge, Erfahrungen, SchülerInnenbeiträge, Handreichungen usw. ausgetauscht und abgerufen werden können.

## Die zweite Auflage in zwei Bänden

**Flatscreen & Co, Umweltkritische Materialien, Band 1: Theorie** stellt das Projekt insgesamt vor und vermittelt die inhaltlichen Grundlagen zu Umweltkritikalität, den Stoffgeschichten, dem Flatscreen und fünf ausgewählten Elementen, die in einem Flatscreen verbaut sind: Indium, Palladium, Gold und die beiden Seltenerdelemente Neodym und Europium. Zudem werden Hinweise zu empfehlenswerter Literatur und zur Vertiefung angeboten.

**Flatscreen & Co, Umweltkritische Materialien, Band 2: Methodik, Umsetzung, Handreichungen** zeigt eine Reihe von möglichen Unterrichtskonzepten und Gestaltungen, wie diese theoretischen Inhalte mit den SchülerInnen bearbeitet werden können. Die Beispiele umfassen Anregungen, wie das Thema in nur einer oder zwei verfügbaren Schulstunden bearbeitet werden kann und auch, wie es sich in einem P-Seminar behandeln lässt. Außerdem werden Vorschläge zu möglichen SchülerInnenprojekten wie Repair Cafés oder Sammelaktionen gegeben und wie sich Exkursionen in das Projekt integrieren lassen, um das Bildungskonzept

einer Stoffreise bestmöglich erlebbar zu machen. Diese Beispiele sollen als Anregungen dienen, um je nach verfügbarer Zeit, Wissensstand und Motivation der Klassen, diese Vorschläge zu übernehmen oder auch andere geeignete Unterrichtsgestaltungen zu entwickeln und durchzuführen.

Band 2 wird ergänzt durch Handreichungen und Unterrichtsmaterialien zu den Aspekten Umweltkritikalität, Flatscreen, Neodym, Europium, Gold, Indium und Palladium. Es sind jeweils fünf Aufgaben bzw. Texte, die von den SchülerInnen gelesen und bearbeitet werden können. Erst wenn alle Texte bearbeitet wurden, ergibt sich ein Gesamtbild, eine Stoffgeschichte zu dem jeweiligen Thema. Eine Musterlösung ergänzt die Handreichungen.

### Hinweis zu SchülerInnenlaboren und Experimenten:

Die Erarbeitung der theoretischen Inhalte ist sicherlich schon spannend, jedoch zeigen die Erfahrungen bislang, dass die Durchführung von Experimenten begeistert aufgenommen wird und SchülerInnenlabore sehr motivierend sind. Der Lerneffekt durch das „begreifen“ ist ebenfalls sehr groß und Handlungsoptionen lassen sich gut erkennen. Bei diesem Bildungsprojekt bietet die Universität Augsburg entsprechende SchülerInnenlabore wie das Zerlegen von Flatscreens an, die mit präparierten Geräten und in einer entsprechenden Laborumgebung durchgeführt werden.



### SICHERHEITSHINWEIS

Viele Flatscreens enthalten gefährliche Stoffe wie Quecksilber; in Smartphones sind meist Lithium-Ionen-Akkus verbaut, die unter gewissen Bedingungen ein Gefahrenpotential bergen. Permanentmagnete, die Neodym enthalten, sind sehr stark, spröde, brechen leicht (Verletzungsgefahr) und Neodym kann Funken schlagen. Je nach Gerät sind eventuell weitere Gefahrenquellen vorhanden. Deshalb sind entsprechende Sicherheitsvorkehrungen UNERLÄSSLICH und die Experimente MÜSSEN in einem geeigneten und sicheren Umfeld durchgeführt werden! Eine Haftung für selber durchgeführte Experimente kann nicht übernommen werden!

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	3	
Grußwort . . . . .	4	
Aufbau des Handbuchs . . . . .	6	
Inhaltsverzeichnis . . . . .	7	
<b>1. Vorstellung des Projektes . . . . .</b>	<b>9</b>	<b>1</b>
Ziel des Projektes . . . . .	9	
1.2. Struktur des Projektes . . . . .	9	
<b>2. Umweltbezug, was bedeutet der Begriff „umweltkritische Rohstoffe“? . . . . .</b>	<b>12</b>	<b>2</b>
2.1. Was bedeutet „umweltkritisch“ überhaupt? . . . . .	12	
2.2. Wirkebenen . . . . .	12	
2.3. Potentielle Umweltauswirkungen entlang einer Stoffgeschichte . . . . .	13	
<b>3. Das Konzept der Stoffgeschichten . . . . .</b>	<b>15</b>	<b>3</b>
3.1. Stoffgeschichten (Basis/Theorie) . . . . .	15	
<b>4. Flatscreen . . . . .</b>	<b>19</b>	<b>4</b>
4.1. Zur geschichtlichen Entwicklung der Fernsehgeräte . . . . .	19	
4.2. Baugruppen und Rohstoffe in einem Flatscreen . . . . .	19	
4.3. Begriffe und Technik . . . . .	21	
4.4. Aufbau und Funktionsprinzip des Displays . . . . .	22	
4.5. Anwendungen von Flatscreens . . . . .	23	
<b>5. Seltene Erden und ausgewählte Materialien in einem Flatscreen . . . . .</b>	<b>25</b>	<b>5</b>
5.1. Seltene Erden . . . . .	26	
Seltene Metalle und Metallgruppen - Definitionen und Zuordnungen . . . . .	27	
5.2. Seltenerdelement Neodym - Magnete in Lautsprechern . . . . .	28	
5.3. Seltenerdelement Europium - Leuchtstoff . . . . .	30	
5.4. Gold - Kontakte . . . . .	32	
5.5. Indium - transparenter elektrischer Leiter . . . . .	35	
5.6. Palladium - Kondensatoren . . . . .	37	
Informationen und Literatur zu Flatscreens . . . . .	40	
Impressum . . . . .	42	
Autoren . . . . .	42	
Abkürzungsverzeichnis und Glossar . . . . .	43	

# Vorstellung des Projektes



# 1. Vorstellung des Projektes

## Ziel des Projektes

Das Ziel des Projektes ist es, die komplexe Thematik von umweltkritischen Materialien in Theorie und Praxis zu vermitteln. Der Protagonist ist der Flatscreen (Flachbildschirm), der heute in verschiedensten Anwendungen und Formen genutzt wird. In einem Flatscreen sind etwa 40 verschiedene elementare Rohstoffe verbaut, die jeweils eine ganz individuelle Geschichte der Entstehung, des Abbaus und Transports mit all ihren Ausprägungen, negativen wie positiven, in sich tragen. Vor allem die umweltkritischen Aspekte, z. B. Emissionen und Immissionen beim Abbau, sind dem fertigen Flatscreen jedoch nicht (mehr) anzusehen. Zusammengekommen tragen alle enthaltenen Rohstoffe mehrere zig-tausend Kilometer Weg und einen entsprechend großen ökologischen Rucksack mit sich herum. Man kann aber auf diese einzelnen Rohstoffe nicht verzichten, weil alle ohne Ausnahme benötigt werden, um

die Funktionalität eines Flatscreens zu gewährleisten. Umso mehr geht es darum, für einen „guten“ Umgang mit diesen Geräten zu sorgen und dafür ein nachhaltiges Wissen und Verständnis für das Thema in Theorie und Praxis zu schaffen. Auf dieser Basis und den erarbeiteten und erfahrenen Sachverhalten soll eine eigenverantwortliche und nachhaltige Entscheidungskompetenz für einen zukunftsfähigen Umgang mit Flatscreens aufgebaut werden.

Zielgruppen sind die **Sekundarstufen I** (Mittelschulen, Realschulen, Gymnasien; ab ca. 8. Klasse) sowie die **Sekundarstufen II** (Berufs- und Technikerschulen; SchülerInnen kurz vor dem Berufseintritt). Und der neue Band 1 ist sicherlich ein spannendes und lehrreiches Buch für alle Interessierten.

## 1.2. Struktur des Projektes

### DIE STOFFREISE

Das Bildungskonzept beruht auf einer Stoffreise bzw. der Auseinandersetzung mit der Geschichte hinter den Stoffen entlang ausgewählter Rohstoffe bzw. Elemente, die in Flatscreens verbaut sind. Einige dieser Elemente wurden bewusst gewählt, da an jedem von ihnen sehr spezielle Eigenheiten und Umweltaspekte exemplarisch erklärt und verschiedenen Problemstellungen und Lösungsansätze skizziert werden können. Diese Stoffreise basiert auf einem theoretischen Teil, den Basismodulen, und einem praxisorientierten Angebot, den Vertiefungsmodulen. Ideal ist es, zunächst die Basismodule zu belegen, um mit diesem Grundwissen weitere Vertiefungsmodule erarbeiten zu können. Sollte es der Zeit- oder Lehrplan nicht zulassen, diese Sequenz und diesen Umfang zu absolvieren, können auch einzelne Module selektiv belegt werden; allerdings ist dann die Vermittlung umweltrelevanter Aspekte und Zusammenhänge eventuell nur bedingt möglich.

### BASISMODUL

Im Basismodul werden die theoretischen Grundlagen vermittelt, die zunächst in die komplexe Thematik einführen und die Inhalte strukturieren. Mit der kurzen Einführung in die Stoffgeschichten wird ein Konzept vorgestellt, wie diese Inhalte didaktisch vermittelt und Sachverhalte von den SchülerInnen selber erarbeitet werden können. Auch die Reflektion und Umsetzung

von entwickelten Lösungen und Ideen sind Teil dieses Ansatzes.

Folgende Inhalte werden behandelt:

- **Stoffgeschichten**
- **Flatscreen**
- **Umweltkritikalität**
- Seltenerdelement **Neodym** – Schwerpunkt Umwelt: Abbau und Verhüttung, Radioaktivität, giftige Abwässer und Staubbelastung
- Seltenerdelement **Europium** – Schwerpunkt Umwelt: Abbau und Verhüttung, Vergiftungen durch Abwässer, Erosion
- **Gold** – Schwerpunkt Umwelt & Soziales: 15-20 Mio. Menschen als Kleinbergbauern, Vergiftungen durch unsachgemäße Handhabung von Quecksilber
- **Indium** – Schwerpunkt Umwelt: Verfügbarkeit abhängig von der Verhüttung von Zink; kein Recycling
- **Palladium** – Schwerpunkt Umwelt & Soziales: Umweltzerstörung in Norilsk, Russland, durch Abgase („saurer Regen“) und giftige Abwässer; extreme Lebensbedingungen in einer Stadt nördlich des Polarkreises

### VERTIEFUNGSMODUL

Im Vertiefungsteil liegt der Fokus auf der Praxis und dem Erleben der Stoffe entlang ihres Lebensweges. Es stehen eine Reihe von Modulen zur Verfügung, die je nach verfügbarer Zeit, Interesse und lokalen Gegebenheiten eingesetzt werden können, darunter:

**SchülerInnenlabor** - Zerlegen von Flatscreens, Versuche mit den Elementen Neodym, Europium, Gold, Indium

**SchülerInnenprojekte** - z. B. Repair Café, Second Hand Markt, Recycling- oder Sammel-Kampagne

**Exkursionen** - Beispiele entlang der Produktlebenskette: Bergbau, Verhüttung, Herstellung, Vertrieb, Recycling

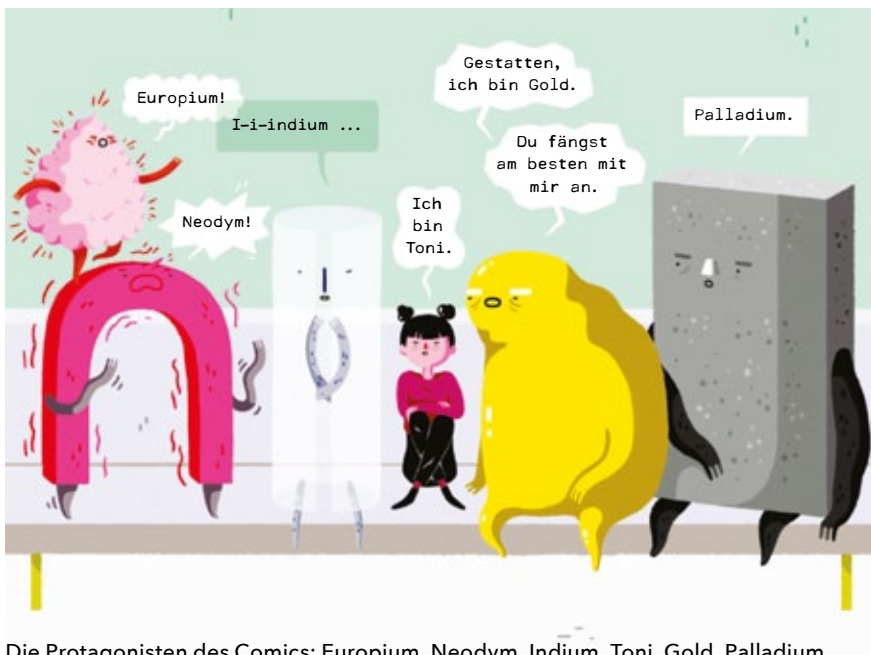
### INTERNETPRÄSENZ

[www.flatscreenjourney.de](http://www.flatscreenjourney.de) - die Internetplattform bietet eine Wissens- und Austauschplattform an, über welche Erfahrungen und Inhalte abgerufen und ausgetauscht werden können.



### COMIC

Das Projekt wird durch einen **Wissenschaftssachcomic** unterstützt, der angepasst auf die Inhalte der Basismodule einen leichten Zugang zu der komplexen Problematik bietet. Der Comic ist kein Bestandteil dieses Handbuches, sondern online oder als PDF über die Internetplattform Flatscreenjourney abrufbar.



Die Protagonisten des Comics: Europium, Neodym, Indium, Toni, Gold, Palladium



Auszug aus der Webversion des Comics. Quelle: Universität Augsburg & Agentur mintwissen (2018)

# Umweltbezug & umweltkritische Rohstoffe

## 2. Umweltbezug, was bedeutet der Begriff „umweltkritische Rohstoffe“?

Der primäre Schwerpunkt des Bildungsprojektes liegt auf dem Aspekt der Umweltkritikalität. Es ist wenig hilfreich, die Nutzung oder den Flatscreen selbst als umweltschädlich zu deklarieren, denn solch eine pauschale Kritik verstellt den Blick auf die tatsächlichen Probleme, deren Ursachen und folglich auch auf eventuelle Lösungen. Vielmehr ist es notwendig, die zur Herstellung benötigten Rohstoffe und Prozesse einzeln zu analysieren, zu bewerten und in ihren Eigenheiten nachhaltig zu

verbessern. Damit ergeben sich eine Vielzahl von Lösungen und Handlungsalternativen, die heute benötigt und von der Gesellschaft gefordert werden.

Es bietet sich deshalb an, zunächst den Begriff der Umweltkritikalität und danach die Bandbreite der Umweltbelange aufzugliedern nach: unterschiedliche Phasen der Produktion, Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Der Einfluss, den der Nutzer nehmen kann soll dabei im Fokus stehen.

### 2.1. Was bedeutet „umweltkritisch“ überhaupt?

Ein Stoff, Material oder Produkt ist dann umweltkritisch, wenn es eine Gefahr für die Natur und/oder den Menschen darstellt, sei es direkt oder indirekt. Diese Auswirkungen können an jeder Stelle entlang des Lebensweges eines Stoffes/Produktes auftreten. Meist entstehen gefährliche (Umwelt) Auswirkungen zu Beginn der Lebenskette, während des Abbaus und der Verhüttung von Rohstoffen und auch am Ende der Nutzungszeit, wenn die Produkte unsachgemäß entsorgt und deponiert werden. Soziale Aspekte wie ungerechte oder gar menschenunwürdige Arbeitsbedingungen, schlechte Bezahlung, Ausbeutung usw. fallen an sich nicht unter den Terminus „umweltkritisch“, werden aber

dennoch oft in dieser Rubrik berücksichtigt. Wichtig ist, dass jeder Rohstoff sowie dessen Abbau, Transport und Nutzung sehr spezielle Bedingungen und Probleme aufweisen. Es hilft deshalb nicht, alle Umweltprobleme gleichermaßen über einen Kamm zu scheren. Stattdessen müssen für jeden Stoff und möglichst auch für jedes Abbauggebiet und die sich anschließende Produktionskette eigene Problemursachen eruiert und daraus Lösungen abgeleitet werden. Dies ist mühsam, doch wenn die Probleme und Ursachen so differenziert werden, gibt es meist auch viele offensichtliche Lösungen, die sich auch von Einzelnen mit mehr oder weniger Aufwand umsetzen lassen (würden).

### 2.2. Wirkebenen

Wesentlich ist auch, die Art der Umweltbelastung in Betracht zu ziehen, denn ein Stoff, der an sich giftig ist, wie beispielsweise Quecksilber, ist anders zu behandeln, als die Vergiftung von Grundwasser durch die illegale Verklappung von Abwässern und Chemikalien. Folgende Wirkebenen können unterschieden werden:

**Direkt:** der Stoff selber ist toxisch, z. B. Quecksilber, Arsen, Cadmium.

**Direkt durch die Nutzung:** ein Stoff kann sich während der Nutzung fein verteilen, abreiben oder anderweitig Teilchen freisetzen, welche die Natur und den Menschen schaden können, z. B. Feinstäube, Reifenabrieb, Autoabgaskatalysator-Abrieb, Sonnencreme (nano), (Nano)Pigmente, Mikroplastik usw.

**Direkt durch Folgeschäden:** wenn die durch Nutzung bzw. Abnutzung freigesetzten Teilchen neue Konglomerate bilden (z. B. am Straßenrand, Anreicherung im Körper), die künftig evtl. toxisch oder bioaktiv - und damit ggf. für den Menschen schädlich - wirken können.

**Indirekt:** der Abbau und/oder die Verhüttung eines an sich ungefährlichen Stoffes besitzt ein Gefährdungspotential, z. B. durch den Einsatz von Energie (wird diese umweltsicher bereitgestellt?), durch den Einsatz von Chemikalien (fachgerechte Entsorgung gewährleistet?), Emissionen (z. B. Saurer Regen) oder anderen toxischen Stoffen, z. B. Quecksilber, um Gold aus dem Gestein zu lösen.

**Indirekt durch Folgeschäden:** durch den Abbau und/oder die Verhüttung entstehen Abfallstoffe, die nun mit der Umwelt reagieren und eine permanente Gefahr darstellen, z. B. saure Grubenwässer.

**Soziale Wirkebene:** hierunter lassen sich alle sozialen Aspekte bündeln, wie Arbeitssicherheit, Verträge, Zwangsarbeit, Kinderarbeit, Ausbeutung, Abhängigkeiten, Willkür und unfaire Bedingungen. Dieses Thema ist vielschichtig und Details sowie Lösungen müssen sehr dezidiert ausgearbeitet werden.

### 2.3. Potentielle Umweltauswirkungen entlang einer Stoffgeschichte

Die folgende Aufstellung erfolgt tabellarisch und soll die generellen Gefahren aufzeigen, die in einer schulischen Auseinandersetzung thematisiert werden können, ohne diese weiter zu vertiefen. Solch eine detailliertere

Beschäftigung kann selbstverständlich mittels eigener Recherchen im Unterricht durchgeführt und erweitert werden.

PHASE	INPUT	OUTPUT
Erz, Rohstoff und Begleitmaterialien		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Giftiger, toxischer, radioaktiver Rohstoff</li> <li>• Begleitmaterialien giftig, toxisch, radioaktiv</li> </ul>
Abbau des Erzes	Sprengstoff Bagger Lastwagen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Staub durch Sprengung</li> <li>• Emissionen (CO<sub>2</sub>, Feinstaub, Stickoxide ...) des Abbaugerätes</li> <li>• Immissionen (Schmiermittel, Öle) durch unsachgemäße Nutzung</li> </ul>
Aufkonzentration im Arbeitsprozess des Abbaus	Gesteinsbrecher (elektrische Energie) Chemikalien	<p>Abraumhalden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwermetallhaltige Stäube durch Winde</li> <li>• Acid Mine Drainage - Auswaschungen saurer Lösungen durch Niederschläge auf die Halden, dadurch Vergiftung von Böden und Grundwasser</li> </ul> <p>Chemikalien in Rückhaltebecken</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Versickerung giftiger Chemikalien durch undichte Becken - Vergiftung des Grundwassers</li> <li>• Gefahr des Dammbrechens</li> <li>• Ausblasung giftiger, schwermetallhaltiger, radioaktiver Staubpartikel, wenn Rückhaltebecken austrocknet</li> </ul>
Verhüttung, Raffination	(elektrische) Prozessenergie Chemikalien	<p>Emissionen, u.a.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• Schwefeloxide</li> </ul> <p>Chemikalien in Rückhaltebecken</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Versickerung giftiger Chemikalien durch undichte Becken - Vergiftung des Grundwassers</li> <li>• Gefahr des Dammbrechens</li> <li>• Ausblasung giftiger, schwermetallhaltiger, radioaktiver Staubpartikel, wenn Rückhaltebecken austrocknet</li> </ul>
Herstellung von (Zwischen) Produkten	(elektrische) Prozessenergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissionen der Energieproduktion</li> <li>• Prozessemissionen</li> </ul>
Transport	Treib- und Schmierstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissionen (CO<sub>2</sub>, Feinstaub, Stickoxide ...)</li> <li>• Immissionen (Schmiermittel, Öle ...)</li> </ul>
Nutzung	(elektrische) Energie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissionen der Energieproduktion</li> </ul>
Re-Phasen	(elektrische) Prozessenergie Chemikalien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissionen der Energieproduktion</li> <li>• Prozessemissionen</li> <li>• Chemikalien</li> </ul>
End-of-Life		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Legale und illegale Deponien</li> <li>• Giftige Emissionen durch Verbrennung</li> <li>• Immissionen durch Auswaschung ins Grundwasser</li> </ul>

Tabelle 1: Potentielle Umweltauswirkungen

# Das Konzept der Stoffgeschichten

## 3. Das Konzept der Stoffgeschichten

### 3.1. Stoffgeschichten (Basis/Theorie)

Ein wesentliches Problem des materiellen Wohlstandes und Überflusses ist das fehlende Bewusstsein für die alltäglichen Stoffe, mit denen wir uns umgeben und die wir nutzen. Gerade in den Zeiten, in denen zunehmende Umweltverschmutzungen, soziale und finanzielle Ungleichheit und die Erkenntnis einer endlichen Erde auf die Fakten einer noch Jahrzehnte steigenden Weltbevölkerung und deren zu erwartende Bedürfnisse trifft, wird deutlich, dass ein bewusster Umgang mit den Ressourcen der Erde unabdingbar ist für den Erhalt der Umwelt und damit der Lebensgrundlage der Menschen. Dies ist unmittelbar verknüpft mit sozialem Frieden und einem „besseren“ oder auch gerechteren Leben für alle.

Die mit diesem Ziel verbundenen Aufgaben der Wissensvermittlung, Anleiten und Aushalten von Diskursen aber auch der kritischen Selbstreflexion bis hin zum Bestimmen und tatsächliche Umsetz- von Handlungsstrategien, sind gesamtgesellschaftlicher sowie individueller Natur und fordern großes Engagement und offene Bereitschaft aller Beteiligten.

Bei dieser Auseinandersetzung spielt die Schule als Lernort sowie die inhaltliche schulische Arbeit eine besondere Rolle, da hier zum einen relativ einfach entsprechende Inhalte in die curriculare Wissensvermittlung integriert werden können, andererseits aber auch die Lebenswelt der SchülerInnen vielfache Möglichkeiten zum Verorten dieser Themen bietet. Gleichzeitig ist das Miteinander in der Schule der geeignete Raum für Diskussion, Partizipation und Motivation zur konkreten Umsetzung von Ideen.

Besonders Lehrende stehen damit vor dem Problem, sich neben den gestiegenen Ansprüchen an Dokumentation, Kooperation und Integration der verschiedensten Aufgaben, Bedürfnissen und Inhalten, auch mit den Themen der Nachhaltigkeit zielführend und erfolgreich auseinandersetzen zu müssen. Und das mit Inhalten („Ökothemen“), für welche die SchülerInnen meist wenig Interesse zeigen.

Darüber hinaus erweisen sich diese Themen (z. B. Klimawandel, Ressourcenverknappung, usw.) bei genauerer Betrachtung oftmals als sehr komplex, da natur-, sowie gesellschaftswissenschaftliche Wissensgebiete miteinander verknüpft werden müssen. Damit kann die eigene Einarbeitung und Vorbereitung auf den Unterricht ggf. sehr zeitintensiv werden. Gleichzeitig muss die didaktische Aufarbeitung möglichst interessant und aktivierend gestaltet werden, um das Interesse der SchülerInnen zu wecken und angestrebte Veränderungen

im Denken und Handeln zu determinieren. Denn insbesondere der Transfer in den subjektiven Alltag der SchülerInnen spielt die zentrale Rolle, um lebensnahe und reale Eingreifpotentiale aufzuzeigen und erlebbar zu machen. Hierdurch werden zukunftsfähige Entscheidungen und Handlungen Einzelner begründet, diskutiert, eingeübt und umgesetzt, die im Rahmen fortschreitender globaler Veränderungsprozesse und entsprechender Auswirkungen auf Mensch und Natur immer wichtiger werden.

Ein Ansatz, wie diesen Herausforderungen begegnet werden kann, ist das **Konzept der Stoffgeschichten**, das sich - ursprünglich entwickelt in und für eine universitär-wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Ressourcenfragen - vor allem als Vermittlungsansatz in Schule und Unterricht erfolgreich gezeigt und sich hier mittlerweile etabliert hat.

Denn Stoffgeschichten setzen im subjektiven Alltag des Einzelnen an und beschäftigen sich mit den Stoffen und Produkten, mit denen wir uns alle jeden Tag umgeben und die wir ganz selbstverständlich nutzen. Dabei leitet das Konzept dazu an, wie das Sein und Wirken der Stoffe des täglichen Lebens in verschiedenen Zeiten und Räumen methodisch untersucht, dokumentiert und bewertet werden kann. Dadurch werden viele Möglichkeiten offensichtlich, wie jeder Einzelne, aber auch Gesellschaften zu einem umsichtigen, wirtschaftlich effizienten und risikoarmen Umgang mit Stoffen und Ressourcen beitragen können. Die Reise, auf die sich der Einzelne mit dem Stoff bei dieser Art der Auseinandersetzung macht, führt von der „Geburt“ des Stoffes in der Mine, über die Herstellung bzw. den Einbau in Produkte, bis hin zum Konsum und Gebrauch, bis der Stoff letztlich an seinem Lebens- bzw. Nutzungsende recycelt und damit in den Stoffkreislauf geführt wird. Oder dass er entsorgt und irgendwo deponiert wird (siehe Abbildung 1).

So bedient sich die Methode inhaltlich gleichermaßen ökologischer, ökonomischer, politischer und soziokultureller Ebenen und integriert für das Verständnis des Stoffes die Inhalte verschiedenster Disziplinen.

Die hierdurch entstehende Reise über den gesamten Planeten zeigt auf, welche Menschen, Situationen, Prozesse und Wechselwirkungen den behandelten Stoff prägen, aber auch von diesem wiederum geprägt werden. Und die Reise führt nicht nur über die Vergangenheit und endet mit dem gegenwärtigen Konsum, sondern geht weiter in die Zukunft und



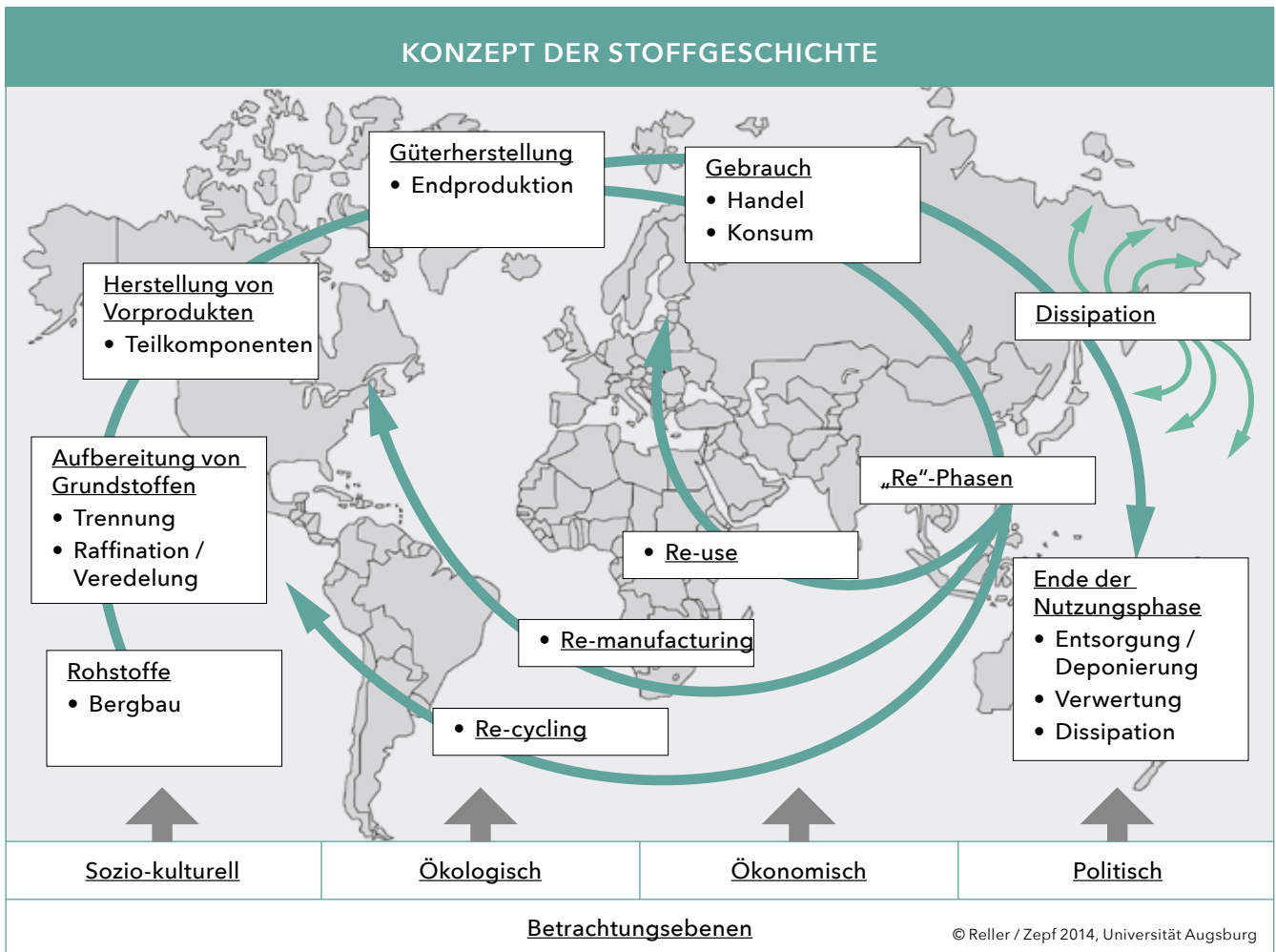


Abbildung 1: Konzept der Stoffgeschichten

thematisiert explizit die weiteren Wege, die der Stoff real geht, aber auch gehen könnte. Das bedeutet, dass die gängigen Methoden der Nachnutzung wie Wiederverwendung, Recycling, Entsorgung, Deponierung, usw. beleuchtet werden, es wird aber auch klar, dass ggf. manche Wege, die ein Stoff gehen oder gehen könnte, bis dato gar nicht bewusst oder auch bekannt sind und somit die potentiellen Auswirkungen, die z. B. durch Wechselwirkungen entstehen und/oder Probleme verschärfen können, nicht bedacht wurden.

Gerade hier zeigt sich das große Potential von Stoffgeschichten: im Nachfolgen der Geschichte, die der Stoff schreibt, wird den einzelnen KonsumentInnen die eigene Rolle in der Geschichte deutlich und insbesondere die Verantwortung an der Zukunft des Stoffes, die buchstäblich in der eigenen Hand liegt - denn hier liegt die Entscheidung, welchen Weg der Stoff gehen und wie die Geschichte des Stoffes weitergehen wird.

Genau an diesem Punkt entstehen Aktivierungs- und Eingreifpotentiale für den eigenen Umgang mit dem

Stoff, da sinnloser, riskanter oder unsachgemäßer Gebrauch oder Verbrauch des Stoffes, umsichtigen, zukunftsfähigen und effizienteren Möglichkeiten gegenüber stehen und dadurch Alternativen diskutiert, bewertet und umgesetzt werden. Hierdurch können gerade SchülerInnen aktiv Bezüge in der eigenen Lebensumwelt suchen und finden und diese verantwortlich übernehmen und umsetzen.

Stoffgeschichten erzählen so den gesamten Lebenszyklus eines Stoffes, Elementes oder Produktes und offenbaren dabei vielerlei bekannte und unbekannte Zusammenhänge, Abhängigkeiten oder Wechselwirkungen, die wiederum Grundlage von Bewertungen, Diskussionen oder Strategien sind. So entstehen Narrative, die in den unterschiedlichsten schulischen und künstlerischen Formen Ausdruck finden können, sei es als inszeniertes Drama oder Komödie, als Bericht oder Erzählung, Krimi, Science Fiction, Poster, Bild, Gedicht oder Vortrag.



Damit ergeben sich auf didaktischer Seite vielfache Möglichkeiten, Interessen der SchülerInnen zur Umsetzung aufzugreifen und z.T. ernste, zunächst uninteressante oder komplexe Inhalte auf innovative und ansprechende Art und Weise zu behandeln.

Die kurze Darstellung der wichtigsten Inhalte und Ziele der Stoffgeschichten zeigt deutlich, dass insbesondere die Thematik „Flatscreen & Co“ bzw. die in diesem Projekt ausgewählten Stoffe die Lebenswelt von SchülerInnen auf vielfältige Weise berühren und in dieser – insbesondere bei genauerer Betrachtung – sehr präsent sind. Gerade durch die Nutzung der Stoffe via Handy & Tablet erhalten diese auch eine emotionale Bedeutung, die als Anknüpfungspunkt für eine intensive Auseinandersetzung mit der Geschichte der Stoffe genutzt werden kann.

Der „gute“, zukunftsfähige, gerechte und risikoarme Umgang mit den Stoffen kann auf Basis der subjektiven Bedeutung damit nicht nur selbstreflektiert überdacht und diskutiert, sondern langfristig mündig umgesetzt werden.

Durch die „neue“ und bewusstere Perspektive auf die Stoffe und Produkte im eigenen Alltag, wird der Blick geschärft für Probleme und Schwierigkeiten aber auch auf Chancen und innovative Lösungen, so dass der detaillierte Umgang mit einem Produkt und seinem Kontext den Transfer von Ideen und Gedanken auf andere Güter oder ganze Lebensstile eröffnet. Denn Stoffgeschichten erzählen die realen Geschichten der Stoffe, aber auch die Geschichte, wie ein Umgang mit Stoffen im besten Fall sein kann.



## 4. Flatscreen

Der **Flatscreen** oder **Flachbildschirm**, im englischen Sprachgebrauch auch **Flat Panel Display (FPD)** genannt, ist ein Bildschirm, der sich sowohl durch eine plane Anzeige, als auch eine geringe Bautiefe auszeichnet. Der Flatscreen hat sich als Nachfolger der Röhrenbildschirmgeräte durchgesetzt; jenen klobigen Fernsehgeräten und Monitoren mit Kathodenstrahlröhren (cathode ray tube - CRT). Mit dem Markteintritt von berührungsempfindlichen Oberflächen haben die Flatscreens funktional teilweise die Eingabegeräte wie

Tastatur und Maus ersetzt, ergänzt und dadurch neue Anwendungsgebiete, v.a. beim Mobile Computing, erschlossen. Das Portal statista schätzt die Verkaufszahlen für TVs im Jahr 2015 weltweit auf etwa 230 Mio. Stück (statista 2018). Diese LCD-Technik hatte 2015 einen Marktanteil von über 80 %, Tendenz steigend. Plasmafernseher haben einen rückläufigen Anteil von derzeit noch ca. 9 %, während sich die CRT-Technik auf einem stark rückläufigen Trend befindet und noch knapp 8 % Marktanteil erreicht (Statistik Brain 2016).

### 4.1. Zur geschichtlichen Entwicklung der Fernsehgeräte

Die Anfänge der Technikentwicklung von Bildanzeigeräten gehen auf das Jahr 1878 zurück, als die Kathodenstrahlen nachgewiesen wurden. Um 1900 gab es auf der Weltausstellung in Paris die ersten Ideen und Vorstellungen einer Television im Jahre 2000. Die Entwicklung erster Anzeigeräte begann kurz darauf und schon in den 1920er Jahren wurden die ersten Fernsehgeräte verkauft. In den Nachkriegsjahren wurden die monochrom-Fernsehgeräte erschwinglich und 1954 markiert den nächsten entscheidenden Schritt durch die Einführung der ersten Farbfernsehgeräte. Die Entdeckung des Seltenerdeelementes Europium als Leuchtpulver ermöglicht die Entwicklung dieser neuen Technologie. Weitere Meilensteine markieren 1996, mit weltweit mehr als 1 Mrd. Fernsehgeräten in Betrieb, so-

wie ab etwa 2000, als sich die Flatscreen-Technologie am Markt auszubreiten begann. 2007 wurde durch die Einführung des ersten iPhones mit einem Touchscreen auch der Mobiltelefon-Markt völlig revolutioniert. Im Jahr 2010 wurde schließlich die erste Generation des iPads vorgestellt, die wiederum eine Revolution im Bereich des Mobile Computings darstellt. Flatscreens finden sich heute in sehr vielen unterschiedlichen Anwendungen, die jedoch meist völlig unbewusst genutzt werden. Bei bewusster Betrachtung der eigenen Umwelt fallen jedoch fest installierte Anzeigetafeln, Computer, Bestell- und Screenmonitore und eine Vielzahl mobiler Geräte ins Auge, die den Siegeszug der Flatscreentechnik aufzeigen. Und dieser Siegeszug geht weiter.

### 4.2. Baugruppen und Rohstoffe in einem Flatscreen

In einem Flatscreen sind etwa 40 verschiedene Rohstoffe bzw. Elemente, teils in winzigen Mengen verbaut. Die Abbildung „Elementare Bestandteile eines Flatscreens“ zeigt die typischen Materialien, die hierin enthalten sind sowie deren Zuordnung zu den Baugruppen. Auch wenn viele dieser Elemente nur in geringsten Mengen in Legierungen enthalten sind, garantieren sie doch die Funktionalität einzelner Bauteile überhaupt. Allerdings bedeuten die geringen Materialkonzentrationen meist auch, dass die einzelnen Bestandteile kaum mehr wirtschaftlich recycelt werden können. Der grundsätzliche Aufbau eines Flatscreens als Computermonitor gliedert sich in das Gehäuse, **Rahmenstruktur**, **Stromversorgung** und das eigentliche **Display** mit zugehöriger Elektronik. Oft ist noch eine **Lautsprechereinheit**, bei TV-Geräten zudem eine **Sendempfangseinheit** (Tuner) und eine **Speichermöglichkeit** eingebaut:

- **Gehäuse** - meist Kunststoff mit Standfuß aus Metall und Kunststoff.
- **Rahmenstruktur** im inneren des Monitors, das meist aus Metall gefertigt ist und die einzelnen Bauteile strukturell fixiert.
- **Stromversorgung** bestehend aus Platine, Kondensatoren und weiteren elektronischen Bauteilen sowie Spulen aus Eisen und Kupfer.
- **Display**, das aus einer Anordnung verschiedener Folien, Glasplatten und elektrisch leitenden Schichten besteht. Direkt an diesen Schichten sind die elektronischen Steuerungsbauteile zur Anzeigensteuerung angebracht. Das **elektronische Bauteil** zur Signalumwandlung vom Computer zur Anzeige wird auch zu dieser Baugruppe gezählt.
- **Lautsprecher**, von denen in der Regel zwei vorhanden sind, um einen Stereoklang zu erzeugen. Die Lautsprecher enthalten meist Neodym-Magnete.



- **Sende-Empfangseinheit**, um Signale von Satellit, Kabel oder Internet empfangen und dekodieren zu können. Einige Modelle bieten auch eine Speicher-möglichkeit für Filme. Dies kann über herkömmliche

Festplatten (in denen wiederum Neodym-Magnete enthalten sind) oder über Solid State Speicher (SSD) gewährleistet werden.

### 4.3. Begriffe und Technik

Obwohl sich die Bezeichnung Flatscreen auf die reine Anzeigeeinheit bezieht, wird der Begriff auch synonym für einen flachen Fernseher oder Computermonitor als Ganzes genutzt. Unterschieden und auch verwechselt werden meist die Begriffe **LCD** (Liquid Crystal Display), **Plasma-Display**, **TFT** (Thin Film Transistor), **LED** (Light Emitting Diode) oder Kombinationen davon. **TV** (Television) bezeichnet ein Fernsehgerät, während die Bezeichnung **Monitor** in der Regel für Computerbildschirme benutzt wird.

**LC - Liquid Crystals** (Flüssigkristalle) haben die Eigenschaft, dass sie die Schwingungsebene von Licht drehen und somit den Lichtdurchlass beeinflussen. Die

Flüssigkristalle reagieren auf elektrische Spannung und richten sich entsprechend der angelegten Spannung aus. In den meisten gängigen Bildschirmen sind Flüssigkristalle als zentrales Material verbaut.

**LCD - Liquid Crystal Display**, Flüssigkristallanzeige, manchmal auch ‚LCD-Display‘ genannt, wird oft synonym für Flatscreen benutzt.

**Passiv-Matrix-Display** - eine ältere und kaum mehr genutzte Technologie, in der die Ansteuerung der einzelnen Pixel über ein Elektrodengitter bewerkstelligt wird. Dazu sind träge Flüssigkristalle nötig, die wiederum zu einem langsamen Bildaufbau und einem Nachzieheffekt bei schnellen Bildfolgen führen.



Bild 3: Monitor Display Rahmen. Foto: Zepf 2018.

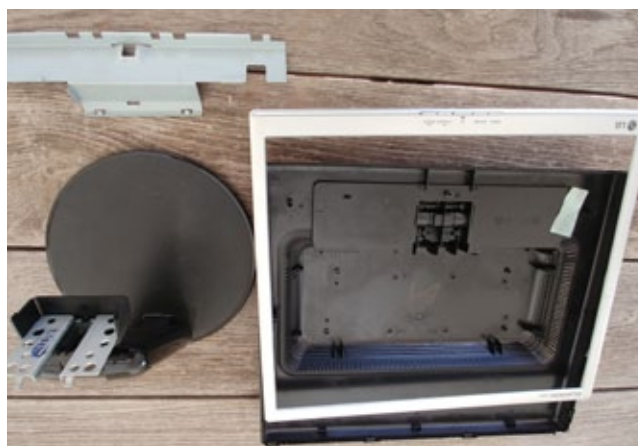


Bild 4: Monitor Gehäuse Fuss. Foto: Zepf 2018.

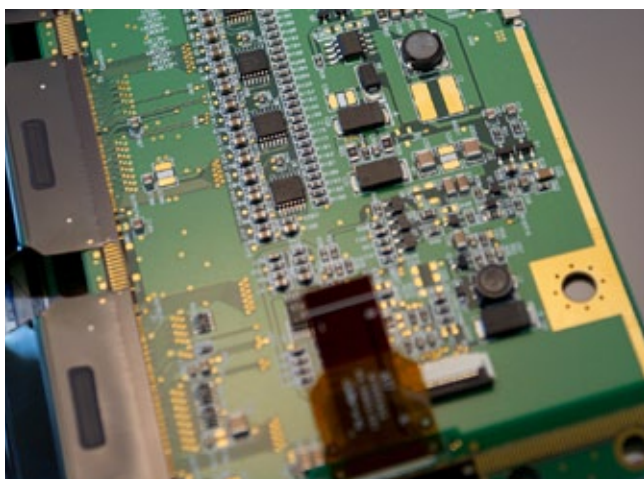


Bild 5: Monitor Platine. Foto: Zepf 2018.

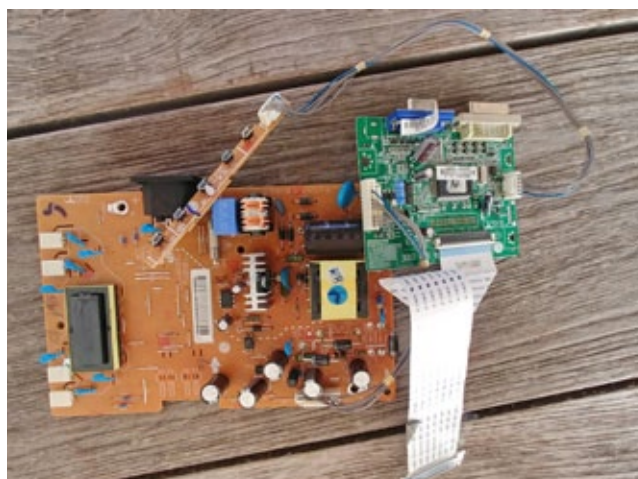


Bild 6: Elektronik und Stromzufuhr. Foto: Zepf 2018.



**TFT - Thin Film Transistor**, ein winziges elektronisches Halbleiter-Bauelement, das zum Steuern niedriger elektrischer Spannungen und Ströme dient. Im Flatscreen steuern die TFTs die Ladung eines zugehörigen Kondensators, welcher das elektrische Feld erzeugt, das nun auf die Flüssigkristalle wirkt und damit deren Lichtdurchlässigkeit steuert. Da jedes Pixel jeweils aus drei Subpixeln (rot, grün, blau) besteht und jedes dieser Subpixel durch einen eigenen Kondensator und Transistor gesteuert wird, können je nach Auflösung des Bildschirms mehrere Millionen TFTs und Kondensatoren verbaut sein. Ein typischer 15 Zoll-Monitor mit einer Auflösung von 1280 x 1024 Bildpunkten (Pixel) benötigt demnach knapp 4 Mio. Transistoren (1280 x 1024 x 3). Ein neuer Fernseher mit der 4K Technologie bietet eine Auflösung von 3840 x 2160 Pixeln und beherbergt folglich knapp 25 Mio. TFTs auf Flächen von etwa 1 m<sup>2</sup>.

**Aktiv-Matrix** - bezeichnet die Darstellung mittels TFTs und ist die derzeit übliche Technologie für Flatscreens. Die Vorteile dieser Technik liegen in der sehr guten und flimmerfreien Bilddarstellung, die durch die gezielte Ansteuerung der vielen TFTs gewährleistet wird. Das Bild ist generell scharf (in der nativen Auflösung), kontrastreich und verzerrungsfrei. Die Bildschirme sind sehr flach, meist relativ leicht, benötigen nur eine geringe Stellfläche und haben einen geringen Energieverbrauch.

**Hintergrundbeleuchtung** als **CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp)** oder als **LED (Light Emitting Diode)** - sie erzeugt das Licht, welches durch das LC-Display geleitet wird. Diese Hintergrundbeleuchtung erfolgt entweder mittels einer Leuchtröhre (Kaltkathodenröhre, CCFL) oder zunehmend mittels Leuchtdioden (LED).

CCFLs sind meist dünne Röhrcchen aus Glas, in denen ein Leuchtpulver angeregt wird. Ein wesentlicher Nachteil ist, dass in den Leuchtröhren **Quecksilber** enthalten ist. Eine Studie von 2010 spricht CCFLs aus einem 15" Computerbildschirm von 7 mg Quecksilber (2 CCFLs mit einer Länge von ca. 320 mm und 2 mm Durchmesser) (McDonnell 2010, S. 18). Zunehmend setzt sich nun die LED-Technik als Hintergrundbeleuchtung durch, denn LEDs benötigen kein Quecksilber und bieten im Vergleich zu CCFLs eine längere Lebensdauer, größere Helligkeit und einen geringeren Energieverbrauch. LEDs enthalten wie CCFLs Leuchtpulver, allerdings in wesentlich geringeren Mengen. Einer der Leuchtpulverbestandteile ist Europium, das bislang nicht substituiert werden kann. Ein Recycling von Europium bzw. Leuchtpulver findet derzeit weltweit nicht statt, obwohl die Technologie verfügbar ist. Wegen der niedrigen Europium-Preise für das Primärmaterial, ist ein Recycling derzeit nicht wirtschaftlich.

**OLED - Organic LED**. Diese neuere Technologie ist ein möglicher systemischer Ersatz für die LED-Technik. Sie gewinnt zunehmend an Marktanteil und ist derzeit v.a. bei Smartphones unter der Bezeichnung AMOLED bekannt: Active Matrix OLED. Diese Technik benötigt keine Seltenen Erden mehr.

**QLED - Quantum Dot LED**. Die Funktionsweise basiert prinzipiell auf dem der OLED, jedoch haben QLEDs durch die Verwendung von Quantenpunkten eine deutlich größere Farbskala und eine fast hundertprozentige Lichtausbeute. Dadurch können Energie gespart und gleichzeitig hohe Kontraste und ein tiefes Schwarz erzeugt werden.

## 4.4. Aufbau und Funktionsprinzip des Displays

Die Bilddarstellung einer Flüssigkristallanzeige mit der Aktiv-Matrix-Technologie basiert auf einer Hintergrundbeleuchtung, die Licht produziert, welches durch eine Anordnung von Polarisationsfiltern, einer Flüssigkristallschicht, einem Farbfilter sowie deren jeweiligen Ansteuerungsmatrize die gewünschten Farbpunkte auf der Vorderseite des Bildschirms darstellt.

**Aufbau** - Ein Aktiv-Matrix-LCD besteht aus mehreren Schichten mit einem prinzipiellen Aufbau von hinten nach vorne: Hintergrundbeleuchtung, Polarisator, rückseitige Glaseinheit, Flüssigkristallschicht, vordere Glaseinheit, Polarisator. Die hintere und vordere Glaseinheit bestehen wiederum aus mehreren Schichten und funktionalen Einheiten. Die hintere Glaseinheit besteht aus einer Glasscheibe als Träger und darauf einer Indium-Zinn-Oxid-Schicht (ITO) zur elektrischen Ansteuerung

der in der Schicht eingelagerten TFTs. Die ITO-Schicht wird durch eine Passivierungsschicht (auch Hartschicht genannt) geschützt, auf der eine Polyimidschicht liegt, welche die Ausrichtung der Flüssigkristalle unterstützt. Die vordere Glaseinheit besteht in umgekehrter Reihenfolge wiederum aus einer Polyimidschicht, einer Hartschicht und einer ITO-Schicht, die für die Ansteuerung der davor liegenden Farbfilter zuständig ist. Es folgt die vordere Glasplatte als Träger der Einheit.

**Funktionsbeschreibung** - Die Lichtquelle erzeugt ein weißes Licht, das über eine speziell beschichtete Plastikplatte gleichmäßig über die Anzeigefläche verteilt wird. Das Licht gelangt durch den ersten Polarisationsfilter zur Flüssigkristallschicht. Die Flüssigkristalle werden durch die TFTs und Kondensatoren mittels elektrischer Impulse ausgerichtet, so dass sie Licht

durchlassen oder filtern. Nun gelangt das durchgelassene Licht durch eine weitere ITO-Schicht zum Farbfilter, der die Farbe für jedes Pixel bestimmt. Letztlich

filtert der vorderseitige Polarisator das Licht erneut bevor das endgültige Bild entsteht.

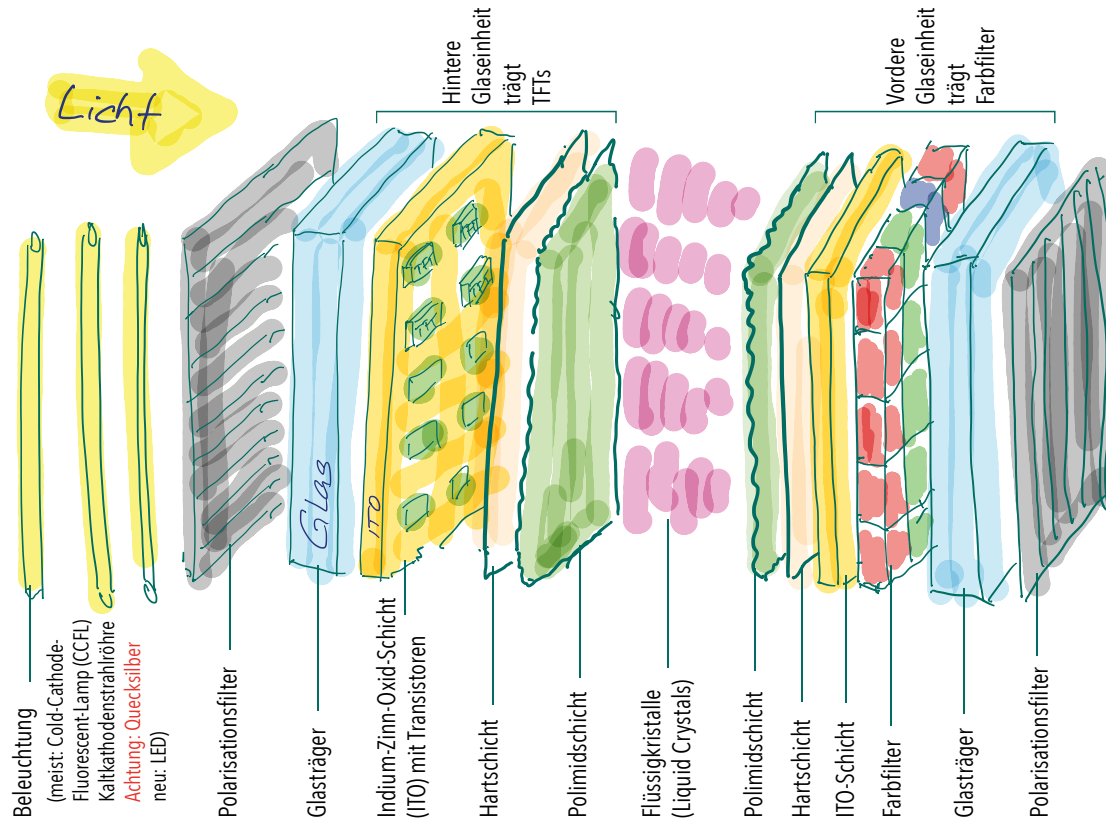


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Anzeigeeinheit

Die ‚Dicke‘ aller Schichten zusammen liegt im Bereich von etwa 2-4 mm. Illustration: Zepf 2018.

## 4.5. Anwendungen von Flatscreens

Die offensichtlichen Anwendungen sind in Computerbildschirmen und Fernsehgeräten, Notebooks, Tablets, Smartphones, Navigationsgeräten sowie Spielekonsolen. Zunehmend werden diese Anzeigegeräte auch in Uhren, Küchenmaschinen, Fahrkartenautomaten, Geldautomaten, Druckern, Werkzeugen, Kraftfahrzeugen, im ÖPNV als Werbe- und Hinweisgeräte, in Schaufenstern als Werbeträger und vielen Produkten mehr eingesetzt.

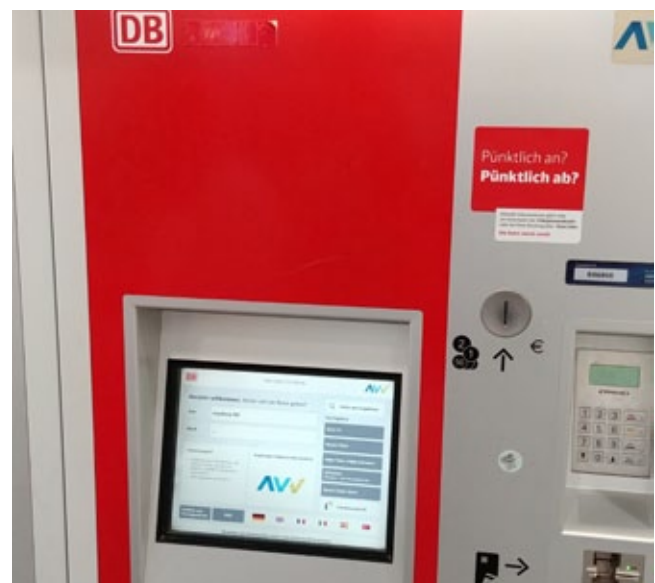


Bild 7: Fahrkartenautomat. Foto: Zepf 2018.

# Seltene Erden und ausgewählte Materialien in einem Flatscreen



## 5. Seltene Erden und ausgewählte Materialien in einem Flatscreen

Für das Projekt wurden folgende Stoffe ausgewählt, die jeweils unterschiedliche Risiken und Probleme, Umgangsweisen, Anwendungsbereiche aber auch Potentiale und Lösungsstrategien beinhalten.

5.1 Seltene Erden und „Seltene Metalle“ . . . . .	26
5.2 Seltenerdelement Neodym – Magnete in Lautsprechern . . . . .	28
5.3 Seltenerdelement Europium – Leuchtstoff . . .	30
5.4 Gold – Kontakte. . . . .	32
5.5 Indium – transparenter elektrischer Leiter . . .	35
5.6 Palladium – Kondensatoren . . . . .	37

PALLADIUM	2016	2017	2018
Primärproduktion [t]	207	214	213
Recycling [t]	78	91	100
Jahresdurchschnittspreis [US \$/oz]	613	869	1029
Gesamtwert [US \$]	6,3 Mrd.	9,2 Mrd.	11 Mrd.
GOLD	2016	2017	2018
Primärproduktion [t]	3252	3259	3332
Recycling [t]	1306	1210	1178
Jahresdurchschnittspreis [US \$/oz]	1251	1257	1268
Gesamtwert [US \$]	185 Mrd.	179 Mrd.	184 Mrd.
NEODYM	2016	2017	2018
Primärproduktion [t]	23220	23760	30600
Jahresdurchschnittspreis [US\$/kg]	39	49,5	49,5
Gesamtwert [US \$]	900 Mio.	1,2 Mrd.	1,5 Mrd.
EUROPIUM	2016	2017	2018
Primärproduktion [t]	645	660	850
Jahresdurchschnittspreis [US\$/kg]	68	75	50
Gesamtwert [US \$]	44 Mio.	50 Mio.	42,5 Mio.
INDIUM	2016	2017	2018
Primärproduktion [t]	680	714	750
Jahresdurchschnittspreis [US\$/kg]	203	197	266
Gesamtwert [US \$]	138 Mio.	141 Mio.	200 Mio.

Tabelle 2: Vergleich ausgewählter Fakten der analysierten Elemente

**Anmerkungen:** Es wird keine Gewähr für die Genauigkeit der Zahlen übernommen. Die Absicht ist es, die verschiedenen Größenordnungen darzustellen. Das Gesamtangebot von Palladium und Gold beinhaltet noch Lagerbestände, die in der Tabelle nicht eigens aufgeführt sind, in der Gesamtwertberechnung aber enthalten sind. Die Jahresdurchschnittspreise können von den Tagespreisen sehr deutlich abweichen. Alle Werte sind gerundet.

**Quellen:** Palladium: Nornickel Annual Report 2016, 2017, 2018 / Gold: GFMS Gold Survey 2019 / Neodym, Europium, Indium: USGS Mineral Commodity Summaries 2019; Preise ermittelt von Zepf auf Basis von Daten aus [www.asianmetal.com](http://www.asianmetal.com)

## 5.1. Seltene Erden

Die Seltene Erden oder Seltenerdmetalle (SEE) sind eine **Gruppe von insgesamt 17 Elementen** der dritten Nebengruppe des Periodensystems der Elemente. Nach der International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) zählen dazu: Scandium, Yttrium und die Lanthanoide: Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium. Besonders die Lanthanoide weisen einige chemische Besonderheiten auf, z. B. die Besetzung der 4f-Zustände, die zur Lanthanoidenkontraktion führt, bei der die Atomradien mit zunehmender Ordnungszahl kleiner werden. Meist werden die SEE in zwei Gruppen, die Certerden, auch leichte SEE genannt, und die Yttererden, auch schwere SEE genannt, unterteilt. Die Abgrenzung und Zuordnung ist jedoch nicht eindeutig. Der **Begriff der Seltene Erden** darf heute nicht wörtlich genommen werden, denn er geht auf die Entdeckungszeit um 1800 zurück. Eine Erde war die damals gebräuchliche Bezeichnung für eine oxidische Verbindung, in der die SEE immer vorkommen. Die Seltene Erde hat also nichts mit der heute üblichen Bezeichnung Steine und Erden zu tun. Das Attribut **selten** rührt vermutlich daher, dass die SEE in einem bis dahin unbekanntem und deshalb seltenem Gestein in einem alten Steinbruch bei Ytterby, Schweden, entdeckt wurden. Heute ist bekannt, dass die SEE quasi auf der ganzen Welt vorkommen. Die aktuelle statistische Reichweite, also die derzeit bekannten Reserven (Mengen, die technisch abgebaut werden können) geteilt durch die Jahresproduktion beträgt grob 1.000 Jahre!

Die SEE werden als **kritische Rohstoffe** bezeichnet, weil China quasi schon seit über 20 Jahren das Produktionsmonopol besitzt und somit das Angebot kontrollieren kann – zumindest in der Theorie. Die Sorge ist, dass es zu Versorgungsunterbrechungen kommen kann und dann wichtige Industrien ihre Produkte mangels SEE nicht mehr fertigen können. Diese Sorge verbunden mit Exportrestriktionen seitens Chinas, haben in der ersten Jahreshälfte 2011 zu einer Preisexplosion bei fast allen SEE geführt, bevor ab der zweiten Jahreshälfte 2011 bis Ende 2016 die Preise kontinuierlich nachgegeben haben. Die Folge waren einige Insolvenzen neuer Bergwerke außerhalb Chinas und selbst in China schlossen Bergwerke zeitweise, weil eine kostendeckende Produktion nicht mehr gewährleistet war. Bis heute, Anfang 2020, bewegen sich die Preise für die meisten SEE auf einem eher niedrigen Preisniveau und zeigen dabei meist eine moderate Volatilität. Diese Volatilität entspringt oft Analystenberichten, die neue Prognosen veröffentlichen als realen Ungleichgewichten zwischen Angebot und Nachfrage.

Der Begriff Seltene Erden wird oft so genutzt, als ob es sich dabei um nur einen einzigen Stoff handelt. Das ist aber falsch, denn diese 17 Elemente sind sich chemisch zwar ähnlich, haben aber teils völlig unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften und eignen sich daher für sehr verschiedene Anwendungsbereiche, z. B. Scandium in Legierungen für Flugzeugtriebwerke; Yttrium für Leuchtstoffe und Laser; Cer für die Glaspolitur und für (Auto)Abgaskatalysatoren; Lanthan als Katalysator für das Cracken von Erdöl zu Treibstoffen und Benzin; Praseodym, Neodym, Samarium und Dysprosium für Permanentmagnete; Europium und Terbium als Leuchtpulver; Gadolinium als Kontrastmittel in der Medizin; Erbium als Signalverstärker in Glasfaserkabeln und viele Anwendungen mehr.

**Vorkommen** – die SEE kommen immer miteinander vergesellschaftet und überwiegend in fünf verschiedenen Erzen bzw. Formationen vor: leichte SEE in Monazitzen, Monazitanden und Bastnäsit; die schweren SEE in Xenotimen und ionenadsorbierenden Tonen (v. a. in Südostchina). Monazit enthält meist auch geringe Mengen an radioaktivem Thorium und Uran, das bei der Verhüttung entsprechend entsorgt werden muss. Hier gab es in der Vergangenheit bei der Verhüttung weltweit mehrere Umweltprobleme. Bastnäsit enthält meist nur sehr geringe Mengen dieser radioaktiven Stoffe. Die ionenadsorbierenden Tone kommen in den südostchinesischen Provinzen vor, die sich durch ein tropisch-humides Klima auszeichnen. Die Tone enthalten zwar nur sehr geringe Konzentrationen an SEE, dafür liegen sie nur wenige Meter unter der Erdoberfläche und können relativ leicht abgebaut werden. Dazu muss die Abbaufäche gerodet werden, was in dieser Klimazone die Erosion fördert. Zudem besteht die Gefahr durch Kontaminationen von Böden und Grundwasser durch auslaufende Chemikalien, die für die Separation der SEE aus den Erzen eingesetzt werden.

Die SEE sind in **unterschiedlichen Konzentrationen** in den Erzen enthalten. In einem typischen Bastnäsit oder Monazit liegt der durchschnittliche Gewichtsanteil der SEE bei etwa 2–6 %. In einer Tonne Erz sind also etwa 20–60 kg SEE enthalten. Diese 2–6 % unterteilen sich nun weiter in die einzelnen SEE. Cer ist mit einem durchschnittlichen Anteil von 50 % das Häufigste, gefolgt von Lanthan mit etwa 20 % und Neodym mit 18 %. Daraus ergibt sich bei einer Tonne Erz also ein Anteil von 10–30 kg Cer, 4–12 kg Lanthan und 3,6–11 kg Neodym. Alle anderen SEE sind in wesentlich geringeren Konzentrationen vorhanden. Die genaue Produktionsmenge der einzelnen SEE kann nur aus den typischen Erzgehalten abgeleitet werden. Nach Angaben der „Mineral Commodity Summaries 2020“ des United

States Geological Survey (USGS) lag die Jahresproduktion 2018 von SEE weltweit bei etwa 190.000 t, davon produzierte China 120.000 t und Australien 21.000 t. Somit beträgt die Jahresproduktion von Cer vermutlich bei ca. 95.000 t, Lanthan ca. 38.000 t und Neodym ca. 34.000 t. Der Anteil von Europium im Erz ist durchschnittlich bei weniger als 1 %, sodass wahrscheinlich maximal 1.900 t Europium produziert wurden. Im Projekt „Flatscreen“ werden die beiden Seltenen Erden Neodym, verwendet in Magneten in Lautspre-

chern und das Leuchtmittel Europium näher beleuchtet. Neodym ist derzeit das gefragteste SEE, weil die Magnetanwendungen in Elektromotoren essentiell für eine große Bandbreite von Produkten, erneuerbare Energien und für die Energieeffizienz sind. Europium war eines der wichtigsten SEE, bis durch die Einführung von LEDs heute deutlich weniger Leuchtstoffe benötigt werden. Bei beiden Rohstoffen gibt es mehrere Umweltprobleme, die in den nächsten Kapiteln näher beschrieben werden.

## Seltene Metalle und Metallgruppen – Definitionen und Zuordnungen

Es gibt mehrere Zuordnungen von Metallen zu Gruppen, die nicht immer eindeutig definiert sind. Dieser kurze Überblick stellt eine Auswahl von wichtigen Metallgruppen dar, die in der aktuellen Diskussion um Rohstoffe und Kritikalität bedeutend sind:

**Metalle** sind Stoffe, die in wässrigen Lösungen positive geladene Teilchen und dessen Oxide eher Hydroxide als Säuren bilden. Die Zuordnungen sind nicht scharf abgegrenzt und ein Metall kann zu mehreren Gruppen zählen, z. B. Alkali-Metalle, Erd-Alkali-Metalle, Übergangsmetalle, Edelmetalle, Platingruppen-Metalle, seltene Metalle, Seltenerdmetalle, Leichtmetalle, Schwermetalle u.a. (Lewis & Hawley 1993).

**Edelmetalle** (noble metals oder precious metals) sind eine Gruppe von Metallen, die sich u.a. durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eine hohe Dichte auszeichnen. Technisch gesehen ist das Elektrodenpotential größer als Null ( $E^\circ > 0$ ). Zur Gruppe der Edelmetalle zählen Gold (Au), Silber (Ag), Platin (Pt), Palladium (Pd), Rhodium (Rh), Iridium (Ir), Osmium (Os) und Ruthenium (Ru).

**Unedle Metalle** weisen ein negatives Standardpotential und eine hohe Reaktionsfähigkeit auf. Sie sind in der Natur selten elementar, sondern treten meist als Metallverbindung in Erzen auf.

**Gewürzmetalle** ist eine Bezeichnung für Metalle, die nur in sehr geringen Konzentrationen in einer Legierung enthalten sind, für die Funktion aber essentiell sind.

**Seltene Metalle** sind als Metallgruppe nicht genau spezifiziert und bezeichnen prinzipiell weniger häufige metallische Elemente. Allerdings ist die Abgrenzung schwierig, denn die Häufigkeitstabellen der Elemente sind uneinheitlich und sie sagen nichts darüber aus, ob ein Element auch tatsächlich abgebaut wird und damit verfügbar ist. Die Zuordnungen von Metallen zur Gruppe der seltenen Metalle sind oft uneinheitlich, vage und von eher tendenziellem Charakter. Ein Investmentbanker definiert die Gruppe der seltenen Metalle

sicherlich anders als ein Stahlproduzent oder ein Magnethersteller.

Die **Lanthanoide** sind eine Gruppe von 15 Elementen, die dem Lanthan ähnlich sind. Dazu zählen Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Th), Ytterbium (Yb) und Lutetium (Lu). Teilweise werden die Lanthanoide auch als Seltene Erden bezeichnet.

**Leichtmetalle** sind eine Gruppe von 15 Elementen mit einer geringeren spezifischen Dichte als  $5 \text{ g/cm}^3$ . Dazu zählen von Lithium (Li) mit einer Dichte von  $0,534 \text{ g/cm}^3$  bis Titan (Ti) mit einer Dichte von  $4,506 \text{ g/cm}^3$ .

**Schwermetalle** sind Metalle mit einer höheren Dichte als  $5 \text{ g/cm}^3$ . Das leichteste der Schwermetalle ist Europium (Eu) mit  $5,245 \text{ g/cm}^3$  und das schwerste ist Osmium (Os) mit  $22,61 \text{ g/cm}^3$ . Diese Gruppe umfasst etwa 70 Metalle inklusive ihrer Modifikationen. Die wichtigsten sind u.a. Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Zink (Zn), Zinn (Sn), Nickel (Ni), Gold (Au) und Platin (Pt) (Karcher 1998).

**Buntmetalle** ist eine Bezeichnung für nicht-edle Metalle ohne Eisen, die ihrerseits farbig sind oder farbige Legierungen bilden, z.B. Blei (Pb), Zink (Zn), Zinn (Sn), Kupfer (Cu), die zu Bronze (Cu-Zn) oder Messing (Cu-Sn) legiert werden können (Karcher 1998). Nach Okrusch & Matthes (2005) sind es die nicht-Eisen-Metalle wie Kupfer (Cu), Blei (Pb), Zink (Zn), Zinn (Sn), Quecksilber (Hg), Cadmium (Cd), Arsen (As), Antimon (Sb), Bismuth (Bi), Gallium (Ga), Indium (In), Thallium (Tl), Silizium (Si) und Germanium (Ge).

**Platingruppenmetalle** sind eine Gruppe von sechs Edelmetallen. Zu diesen zählen Platin (Pt), Palladium (Pd), Rhodium (Rh), Iridium (Ir), Osmium (Os) und Ruthenium (Ru).

## 5.2. Seltenerdelement Neodym – Magnete in Lautsprechern

### HIGHLIGHTS

- Neodym ist heute das wichtigste Seltenerdelement, bestimmt die Berichterstattung und die Produktion. In den Haupterzen Bastnäsit und Monazit, aus denen die SEE gewonnen werden, hat Neodym einen Anteil von etwa 18 %.
- Neodym ist der bedeutendste **Magnetwerkstoff** für die derzeit stärksten Dauermagnete vom Typ  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . Diesem Werkstoff wird eine sehr große Nachfragersteigerung prognostiziert, v.a. für Elektrofahrzeuge (Antriebsmotoren) und erneuerbare Energien (Windräder usw.).
- Hauptanwendung: Magnete in **Elektromotoren**, vom kleinen Lautsprecher im Smartphone (ca. 0,1 g Nd) über Antriebsmotoren in PKW (ca. 0,2 - 2 kg Nd) bis zum Windturbinengenerator (ca. 500 kg Nd).

- Umweltthema: Seltenerdeerde enthalten geringe Mengen an Thorium (radioaktiv); extrem aufwändige Verhüttung mit Entsorgungsproblematik.
- Recycling: Obwohl Methoden für das Magnetrecycling bekannt sind und dabei die Umwelt weniger belastet wird als bei der Primärproduktion, wird weltweit bislang kaum ein Magnetrecycling praktiziert. Das liegt vor allem daran, dass bislang zu wenig Magnetschrott anfällt, die passende Sammellogistik fehlt und die Rohstoffkosten für primäres Neodym zu gering sind, als dass Recycling wirtschaftlich wäre.

### ABBAU

Der Abbau von Neodym findet gegenwärtig v.a. in China (Innere Mongolei und Sichuan) sowie in Australien statt. In Bayan Obo befindet sich die derzeit größte

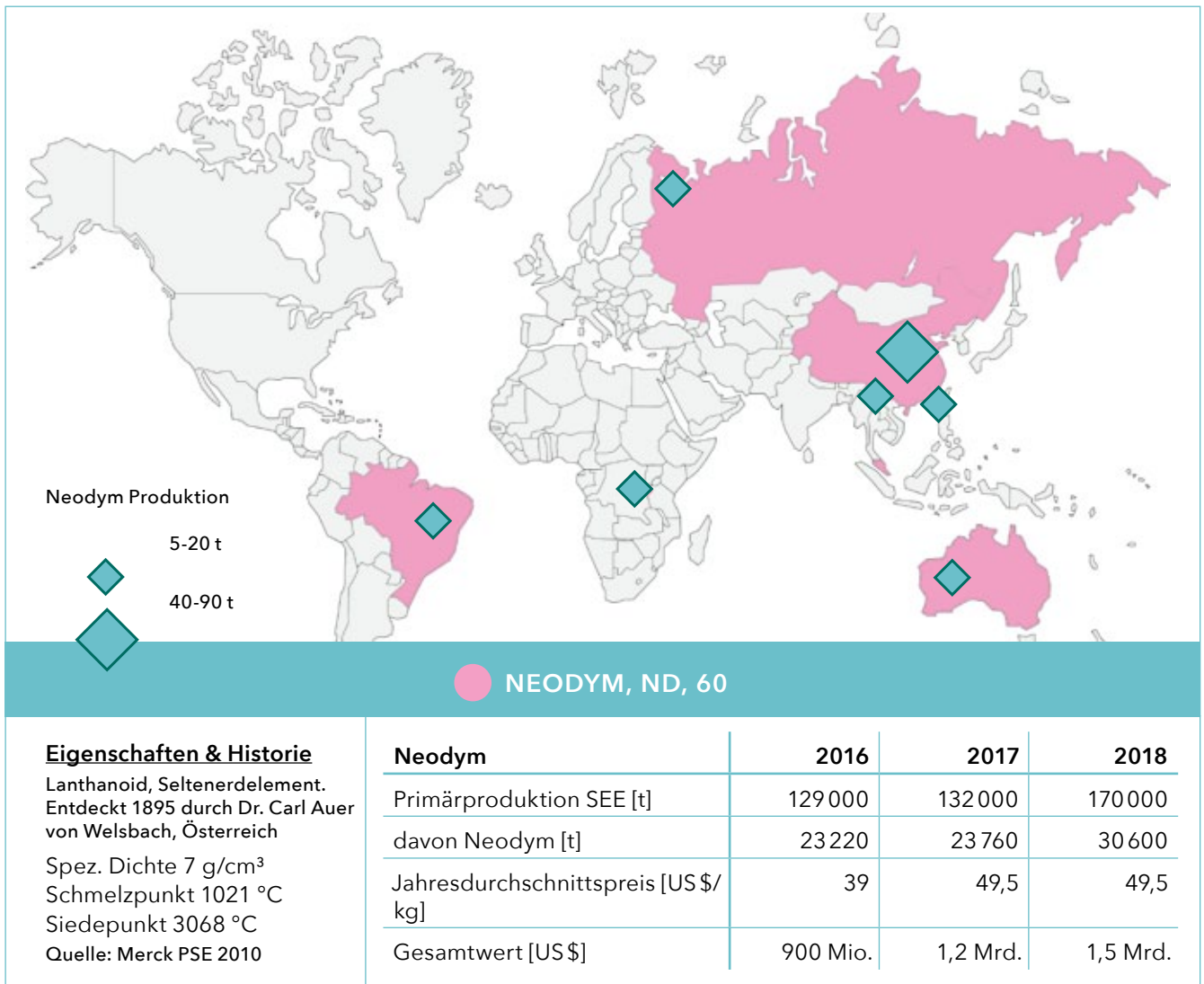


Abbildung 5: Übersicht Seltenerdelement Neodym

Eisenerz- und SEE-Mine der Welt. Dieser Bergbaukomplex hat eine erlaubte Produktionsquote von ca. 60.000 t SEE pro Jahr, davon sind etwa 11.000 t Neodym, was etwa der Hälfte der weltweiten Jahresproduktion entspricht. Seit Ende der 1950er Jahre werden in Bayan Obo Seltene Erden gefördert und vor Ort aufkonzentriert: die nicht erwünschten Gesteine werden abgetrennt und auf Abraumhalden gelagert. Diese sind auf Satellitenbildern gut als dunkle Strukturen zu erkennen. Ein Problem sind hier die teils starken Winde in der Inneren Mongolei und die damit verbundenen Sandstürme, die den belasteten Abraum weitflächig verteilen. Zudem belasten teils giftige Abwässer und schwermetallhaltige Abfälle die Umwelt ebenfalls.

### VERHÜTTUNG

Die Konzentrate werden vom Bergwerk auf der Schiene ins etwa 150 km südlich gelegene Baotou transportiert, wo die Verhüttung stattfindet. Besonders ungünstig ist die Lage der Raffinerie am westlichen Stadtrand der Millionenstadt Baotou, was dazu führt, dass die oft vorherrschenden Winde aus westlichen Richtungen die Emissionen und teils schwermetallhaltigen und giftigen Staubpartikel aus den Industrieanlagen über die Stadt tragen. Erste Studien berichten davon, dass bei einigen Arbeitern in den Industrieanlagen erhöhte Konzentrationen von SEE im Körper und beginnende chronische Erkrankungen der Atemwege erkannt wurden. Weiterhin bestehen Gefahren durch undichte Rückhaltebecken, sodass giftige Abwässer ins Grundwasser und in den nahegelegenen Gelben Fluss gelangen können. Der Gelbe Fluss ist eine wesentliche Quelle für die Bewässerung in der Landwirtschaft und für das Trinkwasser, sodass in Baotou und flussabwärts große Gefahren durch das eventuell verseuchte Wasser bestehen.

In den 1980er Jahren wurden die derzeit stärksten Permanentmagnete vom Typ Neodym-Eisen-Bor vom japanischen Wissenschaftler Masato Sagawa und seinem Team entdeckt und patentiert. Die typische Zusammensetzung ist  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , das entspricht nach der Molmassenberechnung einem Materialanteil von ca. 27 % Neodym, 72 % Eisen und 1 % Bor. Diese NdFeB-Magnete erreichen je nach Herstellungsart das höchste Energieprodukt ( $B \times H$ ) max: eine Eigenschaft in Abhängigkeit der Remanenz  $B$  (Magnetisierung) und der Koerzitivfeldstärke  $H$  (Gegenfeldstärke die aufgewendet werden muss, um den Magneten zu entmagnetisieren). Kurz gesagt: sie sind mit die stärksten Dauermagnete, die heutzutage hergestellt werden können. Der Vorteil dieser Magnete ist, dass extrem kleine aber sehr leistungsfähige Magnete und Anwendungen möglich sind (z. B. Vibrationsmotor im Smartphone). Aber auch Großanwendungen, z. B. in einigen Windrädern, wären ohne diese Magnetstärken überhaupt nicht möglich.

Drei wesentliche Nachteile haben diese Magnete jedoch: sie sind sehr spröde und brechen leicht; sie korrodieren schnell, so dass sie fast immer eine Schutzschicht benötigen (coating, meist aus Nickel oder Zink) und sie besitzen eine geringe Hitzebeständigkeit (Curie-Temperatur). Bei Einsatztemperaturen von über etwa 130 °C verlieren die Magnete ihre Remanenz irreversibel. Folglich sind Standard-NdFeB-Magnete in Elektromotoren für PKW nicht geeignet. Erst durch die Beimischung von ca. 3-6 % des Seltenerdelementes Dysprosium erhöht sich die Curie-Temperatur, also die Temperaturbeständigkeit, und ermöglicht dadurch den Einsatz in der PKW-Elektromobilität. Forscher arbeiten derzeit an Lösungen, weniger oder gar kein Dysprosium mehr einsetzen zu müssen.

### ANWENDUNGEN

Neodym-basierte Permanentmagneten finden sich in zahllosen Produkten. Allerdings ist es oft so, dass es verschiedene Bauzustände bei den Produkten gibt und nicht alle aus denselben Rohstoffen bestehen. Es gibt nur wenige Windradtypen, die eine Technik nutzen, welche die großen Neodym-Magnete benötigt. Viele Elektrofahrzeuge haben NdFeB-Permanentmagnete; es gibt jedoch auch Elektromotoren, die auf dem Prinzip der Induktionsmaschine basieren, in der keine NdFeB-Magnete benötigt werden. Ein anderes Beispiel sind elektrische Zahnbürsten: manche haben einen NdFeB-Magnet, andere hingegen ein simples Eisenmagnet (Ferrit).

Wesentliche Anwendungen für NdFeB-Magnete sind beispielsweise: Computerfestplatten, Smartphone-Vibrationsmotor und Lautsprecher, Kopfhörer, Lautsprecher (Hi-Fi und Flatscreens), CD-Laufwerke, (manche) Elektrofahrzeug-Antriebsmotoren, (manche) Windräder, (manche) Schiffsmotoren, (manche) Aufzugsmotoren, (manche) Hochgeschwindigkeitslokomotiven, (manche) Roboter. Weitere Anwendungsbeispiele sind Magnetverschlüsse von Schränken, Taschen, Etais, Portemonnaies, Parfums, Messerhalter, Akkuwerkzeuge, Zigarettenpapier-Etui und viele mehr. Neodym wird damit in vielen technischen, aber auch allgemeinen Lebensstilanwendungen eingesetzt und wird zukünftig - je nach Lebensstil - wohl noch weiter an Bedeutung gewinnen.



Bild 10: Magnete. Foto: Zepf 2012.



### 5.3. Seltenerdelement Europium – Leuchtstoff

#### HIGHLIGHTS

- Europium ist essentieller Bestandteil für Leuchtpulver zur Herstellung von Energiesparlampen, Leuchtstoffröhren und LEDs.
- Europium war ursprünglich für Farbfernsehgeräte unabdingbar; heute ist die quantitative Nachfrage wegen der starken Marktpenetration der LED-Technik erheblich zurückgegangen.
- Umweltthema: großflächiger Abbau in den südöstlichen Provinzen Chinas. Erosion durch Rodung. Zur Separation der Seltenen Erden aus Ton (Lehm) werden Chemikalien benötigt, die durch unsachgemäße Handhabung in die Böden und das Grundwasser gelangen können.
- Recycling: es sind sowohl Methoden als auch Recyclinganlagen für die Rückgewinnung von Europium

aus Leuchtstoffen vorhanden. Dennoch wird derzeit kein solches Recycling praktiziert, da der Preis für den Primärrohstoff zu niedrig und ein Recycling nicht wirtschaftlich ist.

#### ALLGEMEINES

Europium ist derzeit ein kaum mehr beachtetes SEE. Es war von den 1950er Jahren bis etwa 2010 eines der wichtigsten SEE, weil es für Farbfernseher und Leuchtpulver (Lampen und Energiesparlampen) in großen Mengen benötigt wurde.

Im Zuge des Verbotes von Glühlampen 2009 in Deutschland, der EU und weltweit, zeichnete sich ein weiterer Boom für Europium ab, denn in Energiesparlampen werden relativ große Mengen an Leuchtpulvern benötigt. Der Preis für Europium schoss folglich



#### EUROPIUM, EU, 63

##### Eigenschaften & Historie

Lanthanoid, Seltenerdmetall.  
Entdeckt 1901. Jedes Europium-Atom kann mehr Neutronen binden als ein Atom eines anderen Elementes.

Spez. Dichte 5,24 g/cm<sup>3</sup>  
Schmelzpunkt 822 °C  
Siedepunkt 1597 °C

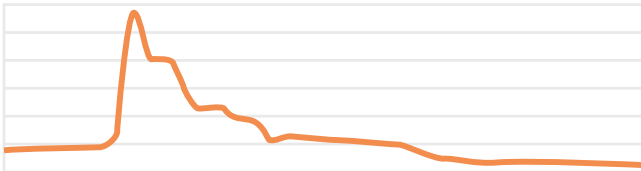
Quelle: Merck PSE 2010

##### Europium

	2016	2017	2018
Primärproduktion SEE [t]	129 000	132 000	170 000
davon Europium [t]	645	660	850
Jahresdurchschnittspreis [US\$/kg]	68	75	50
Gesamtwert [US\$]	44 Mio.	50 Mio.	42,5 Mio.

Abbildung 6: Übersicht Seltenerdelement Europium

im Zuge der Preishysterie bei den Seltenen Erden in der ersten Jahreshälfte 2011 von etwa US\$ 500 (August 2010) auf US\$ 5.500 (August 2011), um seit jenem Zeitpunkt jedoch kontinuierlich zu sinken: US\$ 2.100 (August 2012), US\$ 970 (August 2013), US\$ 720 (August 2014), US\$ 200 (August 2015) bis sich der Preis heute (Anfang 2020) auf weniger als US\$ 35 eingependelt hat.



Preiskurve Europiumoxid, 11.2009 bis 11.2017, Start-Maximum-Ende: 500-5500-75 US\$/kg.

Viel schneller als erwartet dominieren heute LEDs den Beleuchtungsbereich. In LEDs werden zwar auch Leuchtpulver benötigt, aber nur noch geringe Mengen: laut Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist der Bedarf um den Faktor 15–20 geringer als bei herkömmlichen Lampen und Leuchtstoffröhren. Die Nachfrage nach Leuchtpulvern soll sich folglich von 2014 bis 2030 um 65 % reduzieren. Gleichwohl ist Europium bis heute nicht substituierbar.

Die Menge und der Marktwert der globalen Europium-Produktion ist schwer zu beziffern, weil es keine Zahlen zu den jährlich abgebauten Mengen gibt. Über Interpolationen auf Basis vager Zahlen lässt sich eine Jahresproduktion von etwa 600 t/Jahr ableiten. Bei einem Preis von derzeit etwa 70 \$/kg beträgt der gesamte Marktwert etwa 42 Mio. \$. Das ist relativ gering im Vergleich zu anderen Rohstoffen und das Interesse von Firmen, hier zu investieren, ist folglich ebenfalls schwach.

### BERGBAU UND RAFFINATION

Europium wird v.a. in Südostchina in vielen kleineren Bergwerken im Tagebau gewonnen. Vereinfacht ausgedrückt werden Tone abgebaut und diese vor Ort in etwa 10 m durchmessenden Prozessbecken mit Chemikalien versetzt. Nach ca. 1 Jahr lösen sich die SEE und können abgeschöpft werden. Diese simple Gewinnungsmethode öffnete wohl Tür und Tor für illegale Abbautätigkeiten. Eine Gefahr besteht durch undichte Becken, durch die Chemikalien in das Grundwasser gelangen können. Ebenso problematisch sind volle Becken, die durch Niederschläge (tropische Feuchtklimate) überlaufen können. Auch so gelangen giftige Substanzen in die Böden, Bäche, Flüsse und das Grundwasser (Trinkwasserversorgung). Um Europium nun in der Beleuchtungsindustrie einsetzen zu können, muss es zu hochreinem Material verarbeitet werden. Das ist enorm aufwändig und es gibt nur wenige Firmen weltweit, die eine entsprechende Qualität herstellen können.

### ANWENDUNGEN

**Leuchtstofflampen** – dies sind Niederdruck-Gasentladungslampen, die im privaten, öffentlichen und gewerblichen Bereich weit verbreitet sind. Die Innenseiten der Glasröhren sind mit Leuchtpulvern beschichtet, die u.a. auch Europium enthalten, das bis heute nicht durch andere Stoffe substituiert werden kann. Die Leuchtpulver fluoreszieren im sichtbaren Spektrum, nachdem sie durch die ionisierende Gasfüllung angeregt werden. Je nach Zusammensetzung des Leuchtstoffes kann die Lichtfarbe variieren.

**LEDs** – Light Emitting Diodes enthalten ebenfalls Leuchtstoffe, bei gleicher Lichtausbeute jedoch in wesentlich geringeren Mengen als Energiesparlampen (Faktor 15–20 weniger). Durch die hohe Lebensdauer einer LED, den geringen Energieverbrauch und die zunehmend besser werdenden Produkte, haben die LEDs den Markt schneller und stärker erobert als angenommen. Es zeichnet sich ab, dass LEDs zunehmend auch die Leuchtstofflampen ersetzen. Dies führt zu einer weiter sinkenden Nachfrage nach Europium. In Bildschirmen und Fernsehgeräten werden entweder Leuchtstoffröhren oder in zunehmenden Maße LEDs als Hintergrundbeleuchtung genutzt, so dass für Europium nach wie vor ein Markt besteht.

### RECYCLING UND DEPONIE

Recycling-Verfahren für das Wiedergewinnen von Leuchtpulvern sind bekannt (u.a. bei OSRAM) und in Frankreich wurde eine Lampen- bzw. Leuchtpulver-Recyclinganlage (2015) aufgebaut. Diese Anlage wurde jedoch schon Anfang 2016, noch bevor die eigentliche Produktion bzw. ein Recycling begonnen hat, wieder geschlossen, weil die Rohstoffpreise für Europium so stark gesunken waren, dass ein wirtschaftlicher Betrieb auch künftig nicht möglich schien. Zwar gibt es in Deutschland Rücknahmesysteme und ein Lampenrecycling (z. B. durch die Unternehmen Lightcycle sowie Lampen-Recycling und Service GmbH), doch werden dort die Glas-, Metall und Quecksilberbestandteile stofflich zurückgewonnen, während die Leuchtpulver deponiert werden. Europium wird und wurde also nicht in nennenswerten Mengen recycelt, sodass die Nutzung von Europium somit völlig dissipativ ist: das gesamte Material geht in Deponien verloren. Europium ist eines der selteneren SEE und die Gewinnung ist mit großen Umweltbelastungen verbunden, sodass ein Recycling von Leuchtstoffen allein aus diesen beiden Gründen geboten ist. Wenn es nicht gelingt, eine Sekundärproduktion in Gang zu bringen, evtl. durch eine weltweite Vernetzung weniger Anlagen, die dann wirtschaftlich werden, sollte zumindest die Deponie der Leuchtpulver so kontrolliert vorstattengehen, dass für spätere Recyclingprojekte diese deponierten Stoffe leicht zugänglich werden.

## 5.4. Gold – Kontakte

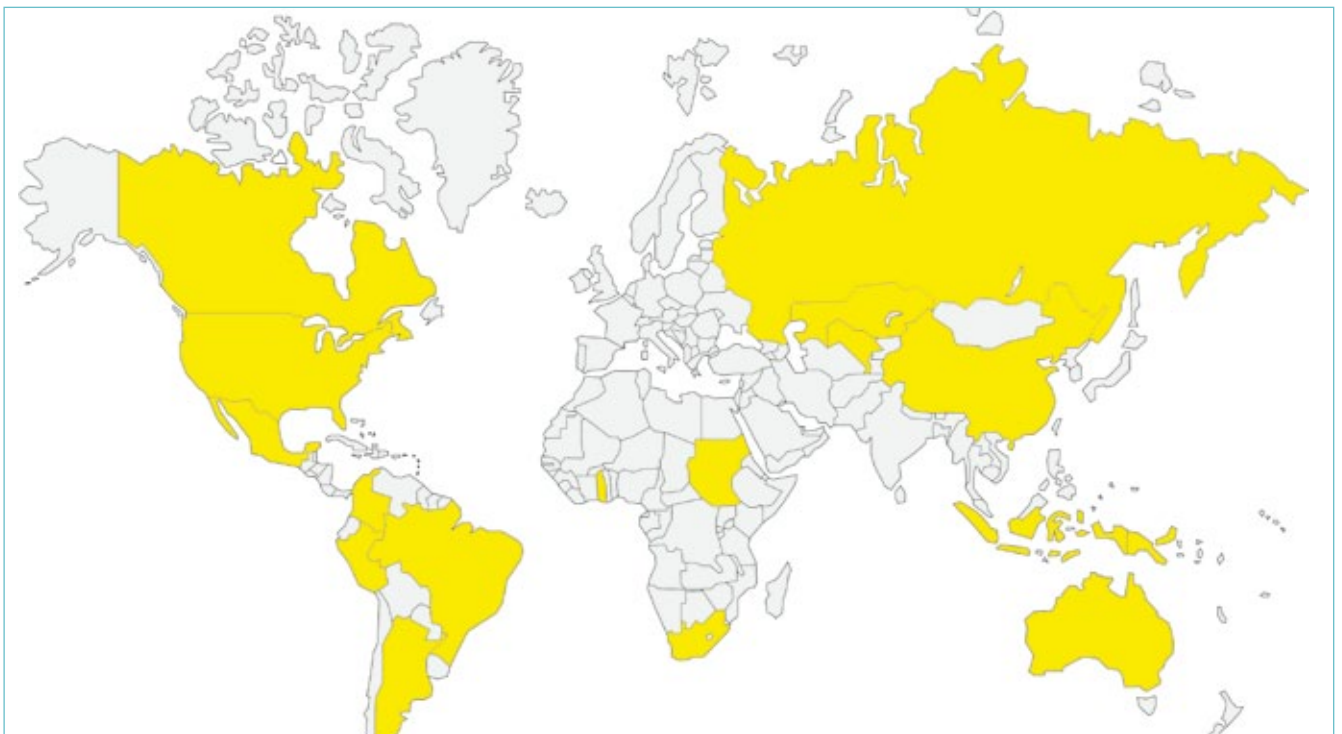
### HIGHLIGHTS

- Im Spannungsbereich dreier Anwendungsbereiche: Schmuck (emotional), Währungsreserve (politisch), Industrie (oft der Grund für die Wirtschaftlichkeit von Elektroschrottreycling).
- Abbau: Spannungsbereich zwischen (10-15 Millionen) Kleinbergbauern, teils Kinderarbeit und hochtechnisiertem Untertageabbau.
- Umwelt: Gold wird oft (völlig unsachgemäß) mit Amalgam (Quecksilber) und Cyanid (Salze und andere Verbindungen der Blausäure) aus den Erzen gelöst. Vergiftung von Mensch und Natur.

- Sozial: oft Unterdrückung, Ausbeutung, Schmuggel, Kinderarbeit; aber auch Zeichen einer leichten Verbesserung der Bedingungen weltweit erkennbar.

### ALLGEMEINES

Gold wird vom Menschen schon seit etwa 5.000 Jahren genutzt und besitzt seit je her eine ganz besondere Strahlkraft, vor allem als Schmuck und somit Zeichen des kulturellen Standes. Zudem hat Gold als Währungsreserve und als Investment eine weitere einzigartige Bedeutung, die es von allen anderen Elementen unterscheidet. Heute gilt Gold nicht als kritisches



### GOLD, AU, 79

<b>Eigenschaften &amp; Historie</b>	<b>Gold</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Edelmetall, Übergangsmetall Entdeckt ca. 5000 v.Chr.	Primärproduktion SEE [t]	3 252	3 259	3 332
Spez. Dichte 19,32 g/cm <sup>3</sup> Schmelzpunkt 1064 °C Siedepunkt 2807 °C	Recycling [t]	1 306	1 210	1 178
Quelle: Merck PSE 2010	Andere [t]	32	-41	8
	Produktion Gesamt [t]	4 590	4 428	4 518
	in Feinunzen [Oz]	147 588 424	142 379 421	145 273 312
	Jahresdurchschnittspreis [US\$/oz]	1 251	1 257	1 268
	Gesamtwert [US\$]	185 Mrd.	179 Mrd.	184 Mrd.

Abbildung 7: Übersicht Gold



Material in der Technik, da in der Industrie nur wenig Gold benötigt wird, der Großteil jedoch in Schmuck und Währungsreserven schlummert. Folglich gibt es zumindest theoretisch ausreichend Material für die industrielle Nutzung – während sich der Preis für das Metall durch spekulative Börsenbewertungen immer wieder in die Höhe schraubt. Gleichwohl mehren sich die Zeichen, dass die bekannten Lagerstätten weniger Gold hervorbringen, weil technische Grenzen (Tiefen) erreicht wurden oder die Gold-Konzentrationen der Erze nachlassen. Eine weitere Besonderheit ist, dass Gold gediegen, also in Reinform beispielsweise als Nugget vorkommt. So kann im Prinzip jeder Mensch einen Goldklumpen finden, ohne irgendein technisches Gerät zu benötigen. Nach Funden großer Nuggets gab es mehrfach in der Geschichte der Menschheit einen Goldrausch und selbst heute könnten die 10-15 Millionen Kleinbergbauern als Goldgräber tituliert werden. Der hohe Marktwert von Gold ist eine weitere Einzigartigkeit, die einerseits zu illegalem Handeln (z.B. Schmuggel) führt und andererseits schon immer die Wiederverwendung des Stoffes befördert und heute speziell das Elektroschrottreycling überhaupt erst wirtschaftlich macht.

### BERGBAU

Der großtechnische Bergbau fördert die überwiegende Menge an Gold. Jährlich werden so etwa 2.500 t Gold abgebaut, was einem Anteil von ca. 60 % des jährlichen Angebots entspricht. Auch wenn in 2016 die höchste je erreichte Menge Gold aus Bergwerken gewonnen wurde, schätzt das World Gold Council, dass nun ein Zenit überschritten wurde und die Bergwerksförderung rückläufig sein wird. Ein Indiz dafür sind die extremen Tiefen von bis zu 4.000 m, aus denen Gold teilweise gefördert wird und die rückläufigen Fördermengen einiger bekannter Minen.

In der gediegenen Form, also in Reinform bzw. als Nugget, werden durch tektonische und Erosionsprozesse Goldpartikel oft in Sanden an Flussläufen abgelagert und können dort von Kleinbergbauern gewonnen werden. Mit Hilfe einer Goldwaschpfanne wird Sand gewaschen. Da Gold schwerer ist als alle anderen Materialien sinkt es in der Waschpfanne auf den Grund der Schale. Etwa 400-500 t (10 %) der Förderung kommen aus dem Kleinbergbau, der auch artisanaler Bergbau genannt wird. Er stellt weltweit für etwa 10-15 Millionen Menschen, darunter Frauen und Kinder, die Lebensgrundlage dar. Kleinbergbauern leiden teils unter miserablen Arbeitsbedingungen, fehlenden einfachen Arbeitsgeräten, mangelhaften Schutzvorkehrungen und Schutzbekleidung. Ebenso gibt es in diesem Sektor verbreitet Zwangsarbeit und Kinderarbeit. Äußerst schädlich sind die hierbei eingesetzten und völlig

unsachgemäßen Extraktionsmethoden.

### GEWINNUNG UND VERHÜTTUNG

Es werden im Prinzip drei Methoden unterschieden: Das Prinzip der **Schwerkrafttrennung** wird vor allem im artisanalen Bergbau, aber auch in der großtechnischen Gewinnung genutzt. Das **Cyanid-Verfahren** wird vor allem von den großen Firmen eingesetzt, um das Gold mit Chemikalien (Cyanid) aus dem Gestein zu lösen. Die Laugen sind extrem toxisch und umweltgefährdend, sodass hier sehr hohe technische Standards und Verfahren eingesetzt werden (müssen). Das dritte Verfahren ist die **Amalgamierung (Quecksilber-Verfahren)**, bei der Quecksilber genutzt wird, um Gold zu binden. Anschließend wird das Quecksilber durch Erhitzen verdampft, so dass das reine Gold übrig bleibt. Die Art und Weise, wie vor allem Kleinbergbauern dieses Verfahren einsetzen, ist extrem Gesundheits- und Umweltgefährdend! Das Quecksilber wird teils mit bloßen Händen angefasst und die geformten Quecksilber-Gold-Klumpen mit einer offenen Flamme in den Küchen, Häusern oder im Wohnviertel verdampft. Das sich verflüchtigende Quecksilber wird dabei teils direkt eingeatmet und es verteilt sich in der Umgebung oder gar an den Wänden der Wohnungen. Von dort verflüchtigt es sich dann langsam, sodass die Menschen einer ständigen Gesundheitsgefahr ausgesetzt sind. Vielen Menschen in den Abbaugebieten scheinen diese Zusammenhänge nicht bekannt zu sein. Sie wissen teilweise, dass die Chemikalien giftig sind, kennen aber keine Methoden, wie diese Stoffe richtig eingesetzt werden können. Durch relativ einfache Mittel und sachgemäßen Umgang kann die Gefahr der Exposition reduziert werden, z. B. durch Nutzung von Behältern, Kokillen mit Überlauf zum Verdampfen und Auffangen von Quecksilber. Hier ist die Vermittlung von Wissen über die Zusammenhänge und vor allem über diese recht simplen Methoden wichtig. Zudem benötigen die ArbeiterInnen geeignete Geräte, um sicherer und mit weniger Umweltbelastungen arbeiten zu können.

### NUTZUNG

Gold wird überwiegend zu Schmuck verarbeitet und im Finanzwesen als Investment und Währungsreserve genutzt. Ein geringer Anteil von etwa 10 % wird in der Elektronikindustrie eingesetzt. Gold verschleißt im Prinzip nicht und kann wiederholt recycelt werden. Meist wird Schmuck recycelt und zu neuen Ketten, Ringen, Armreifen u.v.m. verarbeitet, aber auch beim Elektroschrottreycling ist Gold eine wesentliche wirtschaftliche Quelle. Das Recycling von Elektronik ist vor allem dann lukrativ, wenn viele goldhaltige Bauteile, Kontakte und Stecker auf den Platinen verbaut sind. Ein Blick in die Preise von Schrott- und Rohstoffhändlern

zeigt, dass z.B. Handy-Platinen den höchsten Wert erzielen, weil dort recht viele vergoldete Kontakte vorhanden sind.

### END-OF-LIFE / DEPONIE

Aufgrund seines hohen Preises bzw. Wertes, geht wohl sehr wenig Gold verloren. Selbst auf den illegalen Schrottplätzen der Welt wird Gold aus Elektroschrott gewonnen, weil das Recycling relativ einfach durchführbar ist, v.a. wenn die Auswirkungen auf Mensch und Natur missachtet werden. So ist Gold vermutlich das Element mit der geringsten Dissipation weltweit!

### POLITIK & SOZIALES

Um die erheblichen Umweltbelastungen durch die Nutzung von Quecksilber in Produkten und auch die Quecksilberlaugung in der Herstellung zu reduzieren,

wurde 2013 das **Minamata-Übereinkommen als völkerrechtlicher Vertrag** eingeführt. Nach der Ratifizierung durch 50 Staaten trat das Abkommen am 16. August 2017 in Kraft. Das Abkommen sieht u.a. vor, Vorschriften, Regeln, Verfahren und Pläne in Kraft zu setzen, welche die Nutzung von quecksilberhaltigen Produkten ab 2020 verbieten bzw. stark einschränken soll.

Gold zählt oft auch zu den Konfliktrohstoffen, weil der Wert sehr hoch ist und die Rohstoffe leicht geschmuggelt werden können. Ein Rohstoff wird als Konfliktrohstoff bezeichnet, wenn mit dem Erlös aus dem Abbau Waffen gekauft und Kriege finanziert werden. Oft sind auch Zwangsarbeit, Kinderarbeit, Unterdrückung, illegaler Bergbau und Schmuggel mit Konfliktrohstoffen verbunden.

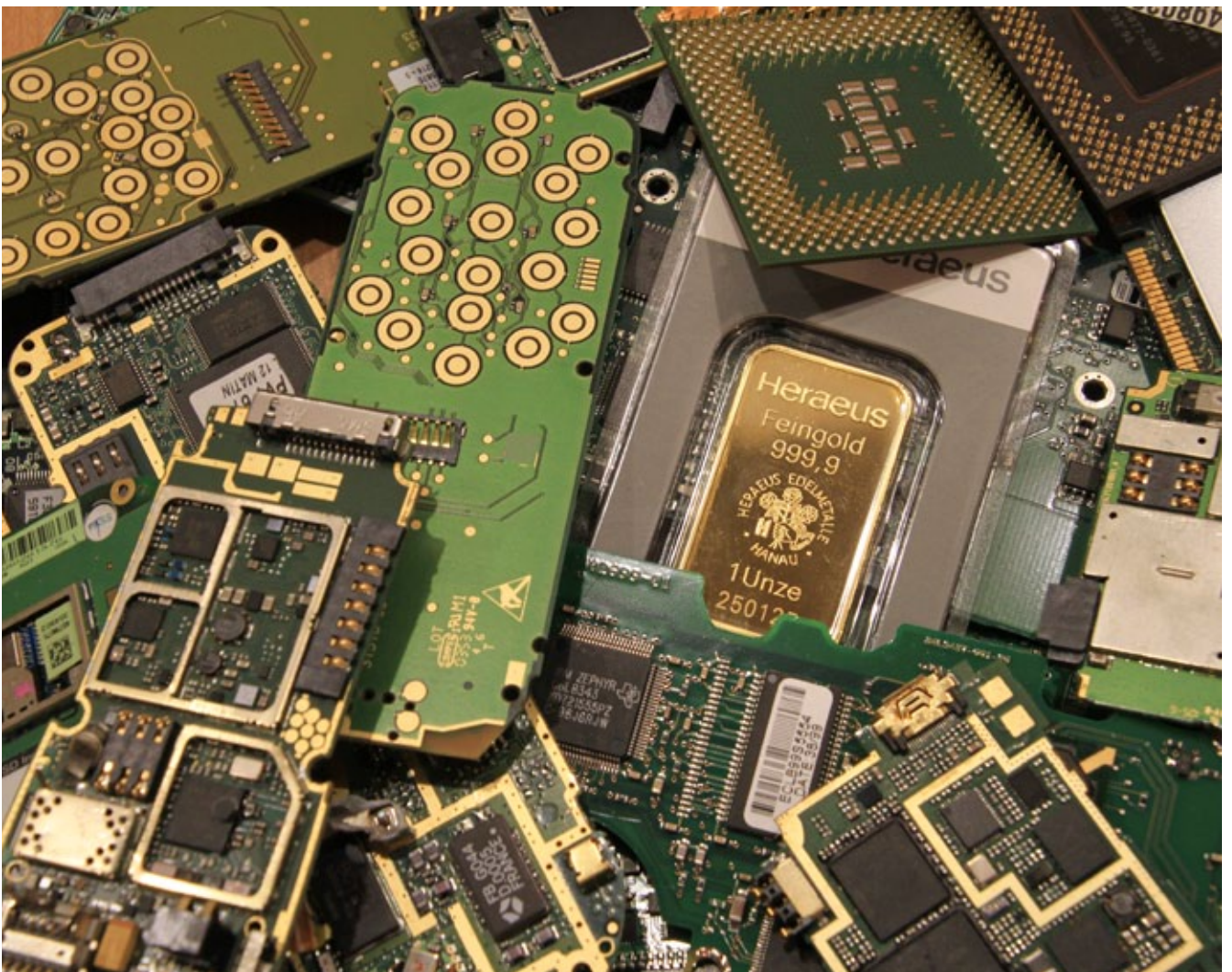


Bild 12: Goldhaltige Kontakte auf Handyplatinen und Goldbarren. Foto: Zepf 2018.

## 5.5. Indium – transparenter elektrischer Leiter

### HIGHLIGHTS

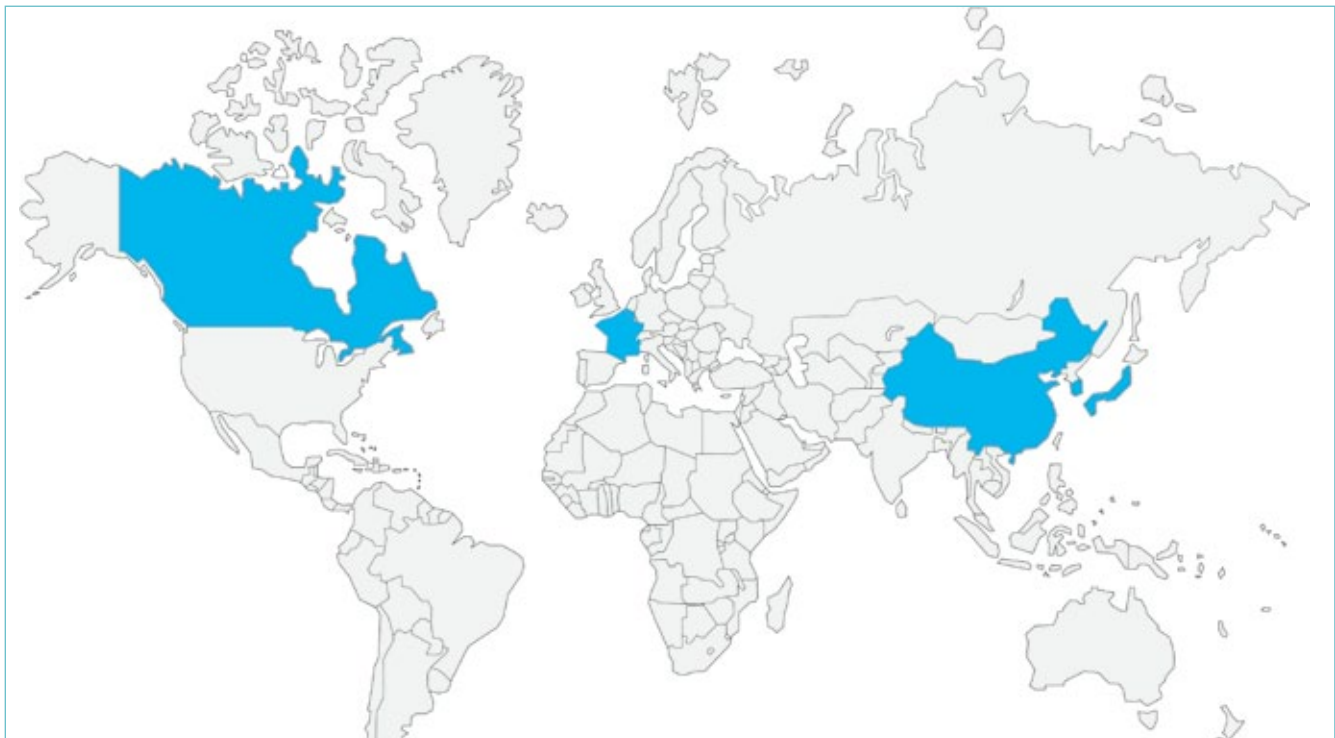
- Indium ist ein durchsichtiger metallischer Halbleiter und essentiell für die Funktionsfähigkeit moderner Bildschirme. Als Indium-Zinn-Oxid-Schicht (Indium-Tin-Oxide, ITO) dient es zur Ansteuerung von Transistoren und Kondensatoren auf bzw. in den Flatscreens. Auch bei Photovoltaik-Modulen wird ITO eingesetzt. Die Anwendungen für Indium sind 55 % für ITO in Flatscreens, 14 % für Legierungen, 8 % Photovoltaik und 23 % für andere Anwendungen (DERA 2016: Rohstoffe für Zukunftstechnologien).
- Indium ist hauptsächlich ein Nebenprodukt der Zink-Raffination. Es wird in geringerem Maß auch als Nebenprodukt der Kupfer-, Blei- und Silber-Raffinade gewonnen.

### SUBSTITUIERBARKEIT

Indium ist heute ein essentieller Rohstoff für die Produktion von Flatscreens und Photovoltaik-Modulen, die insgesamt für etwa 70 % des Indium-Bedarfs verantwortlich ist. Seine außergewöhnlichen Eigenschaften als durchsichtiger Halbleiter sind für die Funktion des Flatscreens essentiell, jedoch derzeit nicht adäquat substituierbar. Mögliche Substitute gehen mit Leistungseinbußen einher und sind selber knappe und teils toxische Rohstoffe: z. B. Antimon, Gallium oder das sehr seltene Hafnium.

### BERGBAU UND VERHÜTTUNG

Es gibt keine speziellen Indium-Erze und deshalb auch keinen Indium-Bergbau. Indium wird als Nebenprodukt



### INDIUM, IN, 49

#### Eigenschaften & Historie

Benannt nach der indigo-blauen Linie im Spektrum. Entdeckt 1863 in Deutschland von Ferdinand Reich und Hieronymus Theodor Richter.

Spez. Dichte bei 20 °C 7,31 g/cm<sup>3</sup>

Schmelzpunkt 156,2 °C

Siedepunkt 2080 °C

Quelle: Merck PSE 2010

Indium	2016	2017	2018
Primärproduktion [t]	680	714	750
Jahresdurchschnittspreis [US\$/kg]	203	197	266
Gesamtwert [US\$]	138 Mio.	141 Mio.	200 Mio.

Abbildung 8: Übersicht Indium



im Rahmen der Zink-Verhüttung gewonnen und es unterliegt der Nachfrage und der Verhüttung von Zinkerzen, meist Sphalerit (Zinkblende, ZnS). Somit gelten für den „Indium-Abbau“ quasi die Bedingungen des Zink-Abbaus, der hier aber nicht vertieft wird.

Für die meisten Anwendungen wird hochreines Indium benötigt. In den Hütten wird oft nur eine Reinheit von 99,5 % erreicht, sodass für die Gewinnung reineren Indiums weitere Prozesse und Raffinationen notwendig sind. Vor allem in den ITO-Anwendungen werden Reinheiten von 99,9999 % benötigt. Diese Güte lässt sich nur durch aufwändige Verfahren herstellen, größtenteils durch eine mehrstufige Elektrolyse, welche Elektrolyte und elektrische Energie benötigt.

### RECYCLING UND DEPONIE

Das Recycling von Indium findet überwiegend aus Produktionsabfällen statt, denn hier sind die Materialien noch relativ rein und die Abfälle können mit einem vertretbaren Aufwand wieder in die Produktionskette eingeschleust werden.

Das Recycling aus Altgeräten, also Flatscreens, scheitert (derzeit) daran, dass in einem Bildschirm nur sehr wenig Indium verbaut ist. Nach Rasenack (2014) sind bei einem Bildschirm von durchschnittlicher Leistungsfähigkeit und Helligkeit etwa 0,7 g Indium je m<sup>2</sup> Bildschirmfläche verbaut, was einem 55 Zoll Fernsehgerät und dem Gegenwert von ca. 17 Cent entspricht. Ein Computerbildschirm mit 22 Zoll Bildschirmdiagonale hat etwa 0,15 m<sup>2</sup> Fläche und enthält damit rechnerisch ca. 0,1 g Indium im Wert von ca. 2,5 Cent. Das Recycling von Flatscreens beschränkt sich derzeit auf die

Wiedergewinnung von den Fraktionen Metall, Glas, Plastik und Elektronik.

Somit unterliegt die Nutzung von Indium in Bildschirmen und vermutlich auch bei Photovoltaik-Modulen einer fast völligen Dissipation, während die Produktionsabfälle weitgehend recycelt werden.

### POLITIK & ÖKONOMIE

Die Produktion von Indium hängt sehr stark von der Verhüttung und damit der Nachfrage nach Zink ab. Die Weltmarktanteile an der Zinkverhüttung haben China 45 %, Südkorea 30 %, Japan 11 % und Kanada 10 %. Damit ist ein einigermaßen gestreutes Angebot verfügbar und politische Einflussnahme ist eher unwahrscheinlich. Die Jahresproduktion von Primärindium beträgt etwa 655 t zu der noch etwa 400 t aus dem Recycling von Produktionsabfällen kommen. Der Spotmarktpreis für ein Kilogramm Indium liegt im Januar 2018 zwischen 250 und 300 \$/kg. Somit entspricht die globale Jahresproduktion etwa 270–320 Millionen \$. Von 2005 bis etwa 2015 lag der Preis im Durchschnitt allerdings doppelt so hoch wie heute.

### ÖKOLOGIE

Bislang sind keine nennenswerten negativen Auswirkungen bei der Produktion und Nutzung von Indium bekannt. Indium ist ein essentieller Bestandteil für die Funktionalität des Flatscreens, der jedoch aktuell aus Altgeräten nicht oder kaum recycelt wird und damit dissipiert, also ‚verloren‘ geht. Unter diesen Voraussetzungen zeichnen sich langfristig Versorgungssengpässe ab.



Bild 13: Flatpanel mit abgetrennter Glasplatte: Indium zwischen der Flüssigkristallschicht (feuchtes Aussehen) und der Glasplatte. Foto: Zepf 2018.

## 5.6. Palladium – Kondensatoren

### HIGHLIGHTS

- Palladium ist ein Edelmetall und zählt zu den Platingruppenmetallen (PGM) bestehend aus Platin, Palladium, Rhodium, Osmium, Ruthenium, Iridium.
- Palladium ist ein wesentlicher Rohstoff für die Herstellung von Autoabgaskatalysatoren (ca. 80 %) und elektronischen Bauteilen (ca. 10 %).
- Das größte Abbaugelände von Palladium befindet sich nahe der sibirischen Stadt Norilsk. Dort werden etwa 40 % der Jahresproduktion gefördert. In diesem Gebiet herrschen extreme klimatische Bedingungen und die Natur ist schon massiv geschädigt. Norilsk gilt als die am stärksten verschmutzte Stadt in Russland und steht weltweit an 7. Stelle. Der Bergwerkskonzern NorNickel unternimmt zunehmend Maßnahmen, um die Umweltbelastungen zu reduzieren.

Palladium wird nur in wenigen Regionen auf der Erde fast ausschließlich im Untertagebau gefördert:

1. Norilsk, Russland, durch die Firma Norilsk Nickel (ca. 40 % der Jahresproduktion).
2. Südafrika und Zimbabwe, Bushveld Komplex. Dort bauen mehrere Gesellschaften weitere 40 % der Jahresproduktion ab. Die größten Produzenten im südlichen Afrika sind AngloAmerican, Impala, Lonmin, Aquarius Platinum und Northam. (Über die Internetauftritte dieser Produzenten können vielerlei Informationen abgerufen werden).
3. Weitere kleinere Abbaugelände liegen in Kanada (ca. 12 % der Jahresproduktion) und den USA (ca. 5 %).

Der Fokus der Beschreibung hier liegt auf der Stadt Norilsk wegen seiner extremen klimatischen und ökologischen Bedingungen.



### PALLADIUM, PD, 46

#### Eigenschaften & Historie

Edelmetall der Platingruppe.  
Entdeckt 1803 von William Hyde Wollaston, England.  
Benannt nach dem Asteroiden Pallas.

Spez. Dichte 12,02 g/cm<sup>3</sup>  
Schmelzpunkt 1552 °C  
Siedepunkt 3140 °C

Quelle: Merck PSE 2010

#### Palladium

	2016	2017	2018
Primärproduktion SEE [t]	207	214	213
Recycling [t]	78	91	100
Andere [t]	37	26	19
Produktion Gesamt [t]	322	331	332
in Feinunzen [Oz]	10 353 698	10 643 087	10 675 241
Jahresdurchschnittspreis [US\$/oz]	613	869	1 029
Gesamtwert [US\$]	6,3 Mrd.	9,2 Mrd.	11 Mrd.

Abbildung 9: Übersicht Palladium

### ALLGEMEINES

Die Stadt mit ihren 180.000 EW liegt 300 km nördlich des Polarkreises in Sibirien. Vorherrschend sind Tundra und Permafrostböden, die nur an wenigen Wochen des Jahres oberflächlich antauen. Erreichbar ist die Stadt NUR per Flugzeug oder per Schiff über den knapp 100 km nordwestlich gelegenen, arktischen Hafen Dudinka und von dort weiter mit der Eisenbahn. Norilsk ist für Ausländer gesperrt; eine Einreise für Fremde ist nur mit einer Sondergenehmigung möglich. Der Winter dauert von August bis Mai und ist geprägt von extremer Kälte, starken, eisigen Winden und der hier 45 Tage dauernden Polarnacht zwischen November und Januar. Im Januar und Februar sind Temperaturen von bis zu -50 °C möglich.

### BERGBAU UND VERHÜTTUNG

Der Abbau der Kupfer-Nickel-Sulfid-Erze erfolgt in vier Untertagebergwerken und einem Tagebau, die sich in einem Umkreis von etwa 30 km um Norilsk befinden. Zum Komplex gehören noch zwei Verhüttungsanlagen, die Konzentrate erzeugen sowie ein Hochofen, der die Konzentrate weiter aufbereitet. Eine äußerst umweltschädliche Nickel-Hütte wurde 2016 geschlossen und zwei neue Anlagen auf der Kola-Halbinsel und in Finnland in Betrieb genommen. In Finnland wird derzeit der Großteil der Palladiumkonzentrate weiter verarbeitet. Palladium wird überwiegend in Autoabgaskatalysatoren genutzt, wo es hilft, die Emissionen und Feinstäube zu filtern. In der Elektronik wird Palladium vor allem in Mehrschicht-Keramik-Kondensatoren (multilayer ceramic capacitors MLCC) benötigt. Diese Bauteile sind Kurzzeitenergiespeicher, die in quasi allen elektronischen Geräten Anwendung finden. Die jeweils benötigte Menge an Palladium ist zwar äußerst gering, doch die schiere Anzahl an Kondensatoren resultiert in der absoluten Menge an benötigtem Palladium.

Die Anwendungen in der Medizin, als Schmuck und in weiteren Produkten, werden meist nur nebensächlich betrachtet. Substituiert werden kann Palladium durch das Edelmetall Platin, das aber ebenfalls zu den kritischen, knappen und sehr teuren Materialien zählt, so dass diese Substitution eher theoretischer Natur ist.

Durch den recht hohen Rohstoffpreis und den prognostizierten Zuwächsen in der Automobilindustrie, ist das Recycling von Palladium rentabel. Derzeit wird geschätzt, dass knapp 80 t Palladium pro Jahr recycelt werden, v.a. aus Abgaskatalysatoren, aber auch aus elektronischen Bauteilen. In Europa hat die Firma Umicore derzeit eine Recyclingkapazität von ca. 25 t Palladium pro Jahr und trägt dazu bei, das Defizit zwischen Primärangebot und Nachfrage von etwa 100 t/Jahr zu decken. Dieses jährliche Defizit zwischen Angebot und Nachfrage wird vor allem durch Lagerbestände aus

Russland und durch Lagerverkäufe von Finanzinvestoren gedeckt. Es ist jedoch nicht bekannt, wie lange diese Art der Bedarfsdeckung noch möglich sein wird, v.a. in Bezug auf die prognostizierte Nachfragesteigerung. Auch wenn diese Recyclingmenge zunächst beachtlich erscheint, so heißt es doch auch, dass erhebliche Mengen dissipieren. Der Verbleib dieser Materialien ist nicht bekannt. Je besser jedoch das Potential für das Recycling von Palladium, v.a. aus Abgaskatalysatoren bekannt wird, desto mehr ist anzunehmen, dass der Recyclinganteil künftig steigen wird.

Ein weiterer Aspekt der Dissipation ist der, dass durch die Feinverteilung verschiedenster Stoffe sich diese vor allem neben Straßen ablagern und völlig neue Konglomerate bilden können, die für Mensch und Natur gefährlich, sprich bioaktiv werden können. Die Forschung hierzu steht jedoch noch ganz am Anfang. Es gilt als Präventivmaßnahme, die Feinabriebe zu minimieren – so schwierig das in der Praxis auch sein mag.

Die Jahresproduktion von Palladium lag 2018 bei etwa 213 t mit einem Marktwert von ca. 7 Mrd. \$. Allerdings schwankt der Preis recht stark. Der Durchschnittspreis im Jahr 2016 betrug etwa 610 \$ je Unze bei einer Schwankung von 480 bis 770 \$. Von Januar 2016 bis Januar 2018 hat sich der Preis etwa verdoppelt und lag 2018 bei etwa 1030 \$ je Unze. Im Februar 2020, kurz vor der Corona-Krise, kletterte der Preis für eine Feinunze Palladium auf über 2500 \$. Der Verbrauch, bzw. die Nachfrage liegt bei 332 t (2018), was etwa 11 Mio. Unzen und 11 Mrd. \$ entspricht!

In dieser Situation ist es möglich, dass v.a. bei einer Zunahme der PKW-Produktion es auf absehbare Zeit zu Lieferengpässen bei Palladium kommen kann. Umso mehr gilt es, hier Kreisläufe noch besser zu schließen.

### ÖKOLOGIE

Der Bergbau in Norilsk ist als überaus umweltschädigend bekannt. Dazu tragen vor allem die starken Emissionen aus der Verhüttung bei, die zu saurem Regen und dem Absterben der Vegetation führen. Wegen der Permafrostböden und der kurzen Vegetationsdauer kann sich die Natur kaum selbst regenerieren. Zudem ereignen sich wiederholt Unfälle mit Abwässern, die aus Rückhaltebecken austreten und die Natur zusätzlich schädigen. Die Biodiversität ist bereits erheblich zurückgegangen und in einem Umkreis von etwa 30 km um die Stadt ist die Tundra faktisch zerstört.

Durch die Stilllegung der Nickelhütte (2016) wurde einer der schlimmsten Emittenten geschlossen und die Bergbaufirma unternimmt Anstrengungen im Sinne des Umweltschutzes. Dennoch wird es vermutlich Jahre dauern, bis sich die Bedingungen verbessern.

## SOZIALES

Das Leben in Norilsk ist äußerst beschwerlich. Der erreichbare Radius für die Bevölkerung beschränkt sich auf drei kleinere Wohngebiete bzw. Kommunen. Alle Lebensmittel und Produkte des täglichen Lebens müssen eingeflogen werden und frische Lebensmittel gibt es selten. Die extremen Temperaturen, die lange Polarnacht und die vergiftete Umwelt setzen den Bewohnern zu. Nachgewiesen wurde auch eine kürzere Lebensdauer der Menschen, die in Norilsk wohnen. Und dennoch scheinen zumindest einige Einwohner stolz darauf zu sein, in Norilsk auszuharren. Das könnte damit zusammen hängen, dass die Löhne für die Bergarbeiter

höher sind als in anderen Teilen Russlands, und dass die Arbeiter Anspruch auf eine ganze Reihe von Privilegien und Sonderurlaub haben.

In Südafrika hingegen, das von trockenen Klimaten beherrscht wird, ergeben sich die Herausforderungen durch die Notwendigkeit der Kühlung der Untertagebaue und die dafür benötigten Energien. Weitaus gravierender sind jedoch die sozialen Aspekte, denn es kommt immer wieder zu Streiks der Bergarbeiter, die für gerechtere Löhne und bessere Bedingungen kämpfen. In den letzten Jahren haben die Streiks wiederholt zu Produktionsausfällen geführt.

## Informationen und Literatur zu Flatscreens

Informationen über Flatscreens, deren Aufbau und Funktionsweisen gibt es vor allem in einschlägigen Foren im Internet. Die Informationsflut ist groß, jedoch mit qualitativ unterschiedlichen Inhalten. Empfehlenswert sind Berichte, Texte und Präsentationen von großen TV- und Monitorherstellern oder von Universitäten. Ansprechend sind viele Videos und Animationen, welche die Funktionsweise erklären.

In Bezug auf die Umweltgefahren und dem Recycling finden sich zwar auch eine Fülle an Informationen, jedoch sind hier v. a. englischsprachige Studien zielführend, darunter die Studie: McDonnell T. J., Williams K. S. (2010): The location and character of mercury in waste LCD backlights. A wrap report.

Verkaufszahlen und Statistiken gibt es beim teils kostenpflichtigen Portal statista oder bei englischsprachigen Analystenportalen wie IDC oder Gartner. Teilweise veröffentlichen auch deutsche Fachzeitschriften wie heise, CT, chip oder PCInside entsprechende Statistiken. Hilfreich sind hier Suchbegriffe, die etwas über den tatsächlich gesuchten Zeitraum oder Umfang hinausgehen, zum Beispiel „PC Verkäufe weltweit 2000 2015“, „PC sales 2000 2020“, „Smartphone shipments 2000 2020“ etc.

### STATISTISCHE DATEN, BEGRIFFE UND FAKTEN ZU SELTENEN METALLEN UND ROHSTOFFEN

Neben einer Fülle an Datenportalen bieten sich u.a. folgende, überwiegend kostenlosen Datenportale und Dienste zur Rohstoff-Recherche an:

- British Geological Survey - World Mineral Statistics
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) - Commodity Top News
- Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
- International Journal of Refractory Metals and Hard Materials
- IUPAC (2005): Nomenclature of Inorganic Chemistry. IUPAC Recommendations 2005. Cambridge.
- United States Geological Survey - Mineral Commodity Summaries und Minerals Yearbooks.

### LITERATUR ZU STOFFGESCHICHTEN

Böschen S., Reller A., Soentgen J. (2004): Stoffgeschichten - eine neue Perspektive für transdisziplinäre Umweltforschung, In: GAIA 13/2004. S. 19-25.

Marschall L., Schmidt C., Soentgen J. (2013): Stoffgeschichten - Ein Instrument zur Analyse und Kommunikation stoffbezogener Themen. In: Reller A., Marschall L., Meissner S., Schmidt C. (Hrsg.): Ressourcenstrategien: Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit

Rohstoffen. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. S. 195-210.

Schmidt C. (2015): Ressource Bildung - ein didaktisches Konzept für Entscheidungen unter Nachhaltigkeit. Würzburg: Ergon Verlag.

Schmidt C. (2017): Bildung zur Nachhaltigkeit - Stoffgeschichten. Ein Konzept zur Vermittlung komplexer interdisziplinärer Themen. In: Schulverwaltung Bayern. 2017 (4), 40. Jg., S. 123-126.

Schmidt C. (2017): Titandioxid und seine Reise. In: Praxis Geographie 1/2017. S. 22-26.

Schmidt C., Lubberger A. (2018): Gold u. seine Herkunft - eine Stoffreise. In: Praxis Geographie 2/2018. S. 24-28.

Schmidt C., Marschall L., Reller A. (2014): Mit Stoffgeschichten Kreisläufen und Zusammenhängen auf der Spur. In: Praxis Geographie (4). Braunschweig: Westermann, S. 24-28.

Schmidt C., Reller A. (2012): Bewerten lernen durch Stoffgeschichten und Kritikalitätsanalysen. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie. Jg. 23, H. 127. S. 44-47. Seelze.

Schmidt C., Reller A. (2012): Von der Ressource zur Ware. In: Forum Ware, 40 (2012) 1-4, S. 1-7.

Schmidt C., Steber C., Soentgen J., Reller, A. (2007): Stoffgeschichten im Unterricht. In: Schmidt C., Steber C. (Hrsg.): Qualitätssicherung an Schulen. Band 2. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Donauwörth: Auer Verlag. S. 97-117.

### LITERATUR ZU SELTENEN METALLEN

Briehl H. (2008): Chemie der Werkstoffe. 2., überarb. u. erw. Aufl., Wiesbaden.

Evans A. M. (1992): Lagerstättenkunde. Stuttgart.

Hesemann J. (1981): Geologie. Eine Einführung in erdgeschichtliche Vorgänge u. Erscheinungen. Paderborn.

Karcher R. (1998): Lexikon der Chemie.

Lewis R. J., Hawley G. G. (1993): Hawley's condensed chemical dictionary. 12. rev. ed., New York.

Marscheider-Weidemann F., Langkau S., Hummen T., Erdmann L., Tercero Espinoza L., Angerer G., Marwede M. & Benecke S. (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. 28. DERA Rohstoffinformationen. Berlin.

Mortimer C. E. (2001): Chemie. Stuttgart.

Okrusch M., Matthes S. (2005): Mineralogie. Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. Berlin.



### LITERATUR ZU SELTENEN ERDEN

Marschall L., Holdinghausen H. (2017): Seltene Erden. Umkämpfte Rohstoffe des Hightech-Zeitalters. Oekom Verlag; 192 S.

Zepf V. (2013): Rare Earth Elements. A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use. Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets. Springer; Berlin, Heidelberg; 157 p. Springer Theses Reihe: Recognizing Outstanding Ph.D. Research.

Zepf V. (2015): Seltene Erden - umkämpfte Rohstoffe für Gegenwart und Zukunft. In: Technisches Museum Wien [Hrsg.]: Blätter für Technikgeschichte. Band 77. Materialien. S. 101-121.

Zepf, V. (2015): An Overview of the Usefulness and Strategic Value of Rare Earth Metals. In: Borges d. L., Leal F. [Eds.]: Rare Earth Industry: Technological, Economic, and Environmental Implications. Amsterdam et al.: Elsevier. S. 3-17.

Zepf, V. (2015): Das verkannte Recyclingpotential der Seltenen Erden - Quantitative Ergebnisse für Neodym in Deutschland. In: Thomé-Kozminsky K.J., Goldmann D. (2015): Recycling und Rohstoffe. Band 8. S. 463-476.

### INFORMATIONEN ZU SELTENEN ERDEN

Leuchtpulver - Leuchtmittelhersteller wie OSRAM, LED-VANCE, Philips, Sylvania bieten vielerlei Informationen im Internet an.

Lampen und Leuchtpulver-Recycling - Informationen gibt es auf den Internetseiten von Lightcycle, Umweltbundesamt bzw. über die Suchworte „Lampenrecycling Deutschland“ sowie mit den Suchworten „Rare Earth Recycling“, „Solvay“, „La Rochelle“, „Rhodia“.

SEE-Marktinformationen bieten u.a. die Rare Earth Industry Association (REIA), ein europäischer Industrieverband, der sich v.a. auf die SEE-basierten Magnetwerkstoffe fokussiert oder Analystenportale wie Investorintel oder asianmetal.

SEE-haltige Magnete - Internetpräsenzen von Magnetherstellern bieten hier ein umfassendes Informationsangebot, z. B. Vakuumschmelze (VAC), Hanau; MS Magnete Schramberg oder IBS Magnete, Berlin.

### LITERATUR ZU INDIUM

Amato A., Rocchetti L., Beolchini F. (2016): Environmental impact assessment of different end-of-life LCD management strategies. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.09.024

Broadbandtvnews (2017): IHS Markit: Flat panel demand to grow 7,2% in 2018. <https://www.broadbandtvnews.com/2017/11/22/ihs-markit-flat-panel-demand-to-grow-7-2-in-2018/>

DESTATIS (2015): Statistisches Jahrbuch. Deutschland und Internationales. 2015.

Hasani B., Preuler L., Klußmann Z. (2013): Gallium und Indium. Bakkalaureatsarbeit an der Montanuniversität Leoben.

NREL (2015): The Availability of Indium: The Present, Medium Term, and Long Term.

Rasenack K., Goldmann D. (2014): Herausforderungen des Indium-Recyclings aus LCD-Bildschirmen und Lösungsansätze.

Salhofer S., Spitzbart M., Maurer K. (2010): Recycling of flat screens as a new challenge. In: Waste and Resource Management. Volume 165, Issue WR1.

UNEP (2011): Recycling rates of Metals. A Status Report. <http://www.unep.org/resourcepanel/>

USGS (2006, 2011, 2018) Mineral Yearbooks Indium.

USGS (2017): 2015 Minerals Yearbook. Indium, Advanced Release.

USGS (2018): Mineral Commodity Summaries.

White S.J., Shine J. P. (2016): Exposure Potential and Health Impacts of Indium and Gallium, Metals Critical to Emerging Electronics and Energy Technologies. DOI: 10.1007/s40572-016-0118-8.

Zhang X., Yang L., Li Y., Li H., Wang W., Ye B. (2012): Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. DOI: 10.1007/s10661-011-2115-6.

### LITERATUR UND INFORMATIONEN ZU PALLADIUM

International Platinum Group Metals Association.

Edelmetallhändler und Produzent Platinum Matthey.

Der russische Produzent Norilsk Nickel bietet sehr anschauliche Jahresberichte (Annual Reports 2016, 2017 und 2018), die auf einigen Seiten sehr detaillierte und gut aufbereitete Informationen zum Bergbau in Norilsk bereitstellen.

### LITERATUR UND INFORMATIONEN ZU GOLD

Kleinbergbau - viele Informationen bietet z. B. das Artisanal Gold Council (AGC).

Nachhaltiger Goldbergbau - eine Fülle an Informationen bietet das Internet mit dem Suchwort „Minamata-Abkommen“.

Refinitiv (2019): GFMS Gold Survey 2019.

Schmidt C., Lubberger A. (2018): Gold u. seine Herkunft - eine Stoffreise. In: Praxis Geographie 2/2018. S. 24-28.

## Impressum

### Herausgeber

Universität Augsburg, Anwenderzentrum Material- und Umweltforschung (AMU), Universitätsstraße 1, 86159 Augsburg

### Internet

[www.flatscreenjourney.de](http://www.flatscreenjourney.de)  
[www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/bildung/projekte/](http://www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/bildung/projekte/)

### E-Mail

[marietta.menner@amu.uni-augsburg.de](mailto:marietta.menner@amu.uni-augsburg.de)

### Bearbeitung / Gestaltung / Text

Institut Dr. Volker Zepf und Universität Augsburg, AMU

### Redaktion

Dr. Volker Zepf

Alle Inhalte und Texte wurden sorgfältig recherchiert, geprüft und die Abbildungen entsprechend erstellt. Sollten sich dennoch Fehler eingeschlichen haben, bitten wir Sie, diese an Dr. Marietta Menner (AMU) und Dr. Volker Zepf ([mail@drvollerzepf.de](mailto:mail@drvollerzepf.de)) zu melden.

### Bildnachweis

Alle Fotos Volker Zepf.

### Urheberrechte

Dieses Handbuch darf nur zu schulischen Zwecken vervielfältigt werden und bedarf der Angabe der Quelle. Eine kommerzielle Nutzung ist ausgeschlossen.

### Stand

2. überarb. u. erw. Auflage, 2020  
© Universität Augsburg, alle Rechte vorbehalten  
Band 1: Flatscreen & Co, Theorie  
Band 2: Flatscreen & Co, Methodik, Umsetzung, Handreichungen

### Gefördert

durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

## Autoren

### Dr. Marietta Menner

Studium Lehramt Gymnasium, Universität Augsburg, Master of Education; Projektleitung MAI Carbon Bildungsoffensive; Leitung Geschäftsbereich MINT\_Bildung AMU, Universität Augsburg

### M. Sc. Nadja Anderle

Studium der Materialwissenschaften, Universität Augsburg; Koordinierung und wissenschaftliche Mitarbeit im Projekt Flatscreen & Co unter die Lupe genommen

Marietta Menner und Nadja Anderle leiten und koordinieren das Bildungsprojekt Flatscreen & Co unter die Lupe genommen an der Universität Augsburg. Sie führen die LehrerInnen- und Studierendenfortbildungen und SchülerInnenlabore durch und erarbeiten das didaktische Konzept. Alle organisatorischen Belange, Kooperationen, Werbung, Berichtswesen und alle Transfermaßnahmen für die Verstetigung des Projektes liegen in ihrer Zuständigkeit.

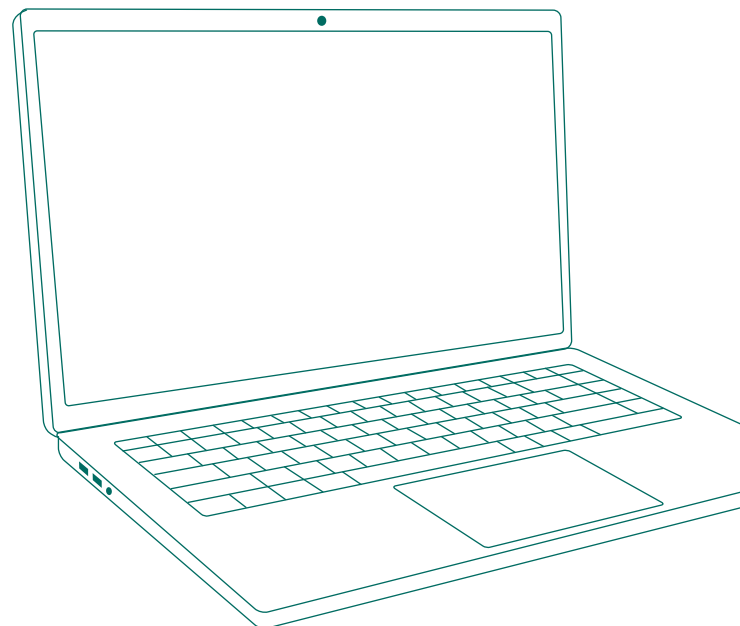
### Dr. Volker Zepf (Kooperationspartner)

Studium Diplom-Geographie, Universität Augsburg; wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg; Promotion zum Thema Rare Earth Elements; Koordinator Graduiertenkolleg ‚Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme‘ am Institut für Materials Resource Management der Universität Augsburg; Lehraufträge und Gastvorträge an Universitäten und Hochschulen in Deutschland, Österreich, Schweiz, Großbritannien; Leitung privatwirtschaftliches Unternehmen: Institut Dr. Volker Zepf - Geographie, Ressourcenstrategie, Kreislaufwirtschaft.

Dr. Volker Zepf ist am Projekt Flatscreen unter die Lupe genommen vor allem zuständig für die fachwissenschaftliche Recherche und Erarbeitung von Inhalten zu umweltkritischen Metallen und Flatscreens. Dieses Handbuch wurde von Dr. Zepf mit Zuarbeiten des AMU Universität Augsburg erstellt. Ein besonderer Dank gilt der Fachexpertise von Dr. habil. Claudia Schmidt, Mitbegründerin des Konzeptes der Stoffgeschichten für den schulischen Bereich sowie Rainer Zepf, Zepf Werbung, für die Expertise und Unterstützung beim Layout und der Gestaltung dieses Handbuches.

# Abkürzungsverzeichnis und Glossar

\$	US Dollar
Au	Chemisches Zeichen für Gold
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
CCFL	Cold Cathode Fluorescent Lamp. Kaltkathodenleuchtstoffröhre.
CIS	Copper Indium Selenide
CIGS	Copper Indium Gallium Selenide
CRT	Cathode Ray Tube (Kathodenstrahlrohrgeräte, TV oder Computermonitor)
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Fördergeber des Projektes)
Eu	Chemisches Zeichen für Europium
EW	Einwohner
FPD	Flat Panel Display
In	Chemisches Zeichen für Indium
ITO	Abkürzung für Indium-Tin-Oxide (Indium-Zinn-Oxid)
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
MLCC	Multi layer ceramic capacitor
Nd	Chemisches Zeichen für Neodym
NdFeB	Abkürzung für Neodym-Eisen-Bor (Magnet)
OLED	Organic Light Emitting Diode
ÖPNV	Öffentlicher Personen-Nahverkehr
ÖrE	Öffentlich-rechtliche Entsorger
Pd	Chemisches Zeichen für Palladium
PGM	Platingruppenmetalle
PV	Photovoltaik
REE	Rare Earth Elements. Englisch für Seltene Erdelemente
REO	Rare Earth Oxide
SEE	Seltene Erdelemente, oft auch Seltene Erden genannt. Es handelt sich um eine Gruppe von 17 Elementen: Scandium, Yttrium, Lanthan und die Gruppe der Lanthanoiden
SEO	Seltenerdoxid
TFT	Thin Film Transistor
Unze	bei Edelmetallen 31,1 Gramm
USGS	United States Geological Survey
Zoll	entspricht 2,54 Zentimeter



## KONTAKT

### **Dr. Marietta Menner**

MINT-Managerin MINT-Region A<sup>3</sup>, Leitung MINT\_Bildung  
Anwenderzentrum Material- und Umweltforschung - AMU  
Universität Augsburg  
Universitätsstr. 1a  
86159 Augsburg  
Tel. +49 821 598 - 3598  
marietta.menner@amu.uni-augsburg.de  
[www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/](http://www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/)



## BUCHUNG SCHÜLERLABORE

### **Andrea Kandler**

Sekretariat  
Tel. +49 821 598 3590  
andrea.kandler@amu.uni-augsburg.de

## PROJEKTPARTNER

### **Institut Dr. Volker Zepf**

Geographie, Ressourcenstrategie, Kreislaufwirtschaft  
Fontanestr. 1  
86161 Augsburg  
mail@drvolkerzepf.de  
www.drvolkerzepf.de  
Tel. +49 0151 41 932 735

### **Mintwissen - Verlag für Wissenskommunikation**

Tieckstr. 6  
10115 Berlin  
Tel. +49 30 200 92 866  
mobil +49 171 43 66 848  
www.mintwissen.com

## WEB

[www.flatscreenjourney.de](http://www.flatscreenjourney.de)