oekom verlag

Luitgard Marschall, Heike Holdinghausen
Seltene Erden
Umkämpfte Rohstoffe des Hightech-Zeitalters
ISBN 978-3-86581-844-7
192 Seiten, 14,5 x 23,3 cm, 24,00 Euro
oekom verlag, München 2017
©oekom verlag 2017
www.oekom.de

Stoffgeschichten – Band 10

Eine Buchreihe des Wissenschaftszentrums Umwelt der Universität Augsburg in Kooperation mit dem oekom e.V.

Herausgegeben von Prof. Dr. Armin Reller und Dr. Jens Soentgen

Die Dinge und Materialien, mit denen wir täglich hantieren, haben oft weite Wege hinter sich, ehe sie zu uns gelangen. Ihre wechselvolle Vorgeschichte wird aber im fertigen Produkt ausgeblendet. Was wir an der Kasse kaufen, präsentiert sich uns als neu und geschichtslos. Wenn man seiner Vorgeschichte nachgeht, stößt man auf Überraschendes und Erstaunliches. Auch Verdrängtes und Fragwürdiges taucht auf. Am Leitfaden der Stoffe zeigen sich in scharfer, neuartiger Beleuchtung die ökologischen und politischen Konflikte unserer globalisierten Welt.

Deshalb stellen die Bände der Reihe Stoffgeschichten einzelne Stoffe in den Mittelpunkt. Sie sind die oftmals widerspenstigen Helden, die eigensinnigen Protagonisten unserer Geschichten. Ausgewählt und dargestellt werden Stoffe, die gesellschaftlich, ökologisch und politisch relevant sind, Stoffe, die Geschichte schreiben oder geschrieben haben. Stoffgeschichten erzählen von den Landschaften, von den gesellschaftlichen Szenen, die jene Stoffe, mit denen wir täglich umgehen durchquert haben. Sie berichten von den globalen Wegen, die viele Stoffe hinter sich haben und blicken von dort aus in die Zukunft.

»Seltene Erden« ist der zehnte Band der Reihe. Er befasst sich mit einer Gruppe von 17 Elementen, die in den letzten zwei Jahrzehnten immer wieder die Schlagzeilen beherrschten, weil sie nicht nur für die digitale Welt, für Smartphones und Computer, sondern auch für die Energiewende oder die Elektromobilität unerlässlich sind – ganz abgesehen von ihrer Bedeutung für die Militärtechnologie. In der öffentlichen Diskussion stehen bisher vor allem die technischen und ökonomischen Aspekte im Vordergrund. Dieses Buch deckt demgegenüber auch die ökologischen und politischen Konflikte auf, die im Endprodukt nicht mehr sichtbar sind. Zugleich werden Perspektiven für eine nachhaltigere Nutzung dieser wichtigen Substanzen aufgezeigt.

Einleitung

Postfossil und digital: Seltene Erden als Metalle unserer Zeit

Der wichtigste Rohstoff der deutschen Industrie ist der Erfindungsgeist ihrer Ingenieure. Dieses oft verwendete Bonmot ist natürlich richtig, aber ganz ehrlich ist es nicht. Denn ohne Eisen und Stahl, Kupfer und Aluminium, Wolfram, Neodym und Lithium kommt auch der klügste Ingenieur nicht weit. Was sich banal anhört, war in Unternehmen und Öffentlichkeit erstaunlicherweise lange Zeit kein Thema. Für die Wirtschaft schien es selbstverständlich zu sein, garantiert und zu akzeptablen Preisen über notwendige Stoffe verfügen zu können.

Doch dann kam das Jahr 2008, in dem fast alle wichtigen Rohstoffe sehr schnell unglaublich teuer wurden. Kurz danach stürzten die Preise stark ab. Die Unternehmen müssten sich wohl, urteilten Experten, künftig auf weniger stabile, vielmehr stark schwankende Preise einstellen. Zwei Jahre später, Unternehmen und Staaten kämpften mit der Wirtschafts- und Finanzkrise, gab China bekannt, dass es den Export Seltener Erden einschränken werde. Schon vorher hatte sich angedeutet, dass das Riesenreich andere Pläne hatte, als seine kostbaren Metalle zu Spottpreisen an die Industrienationen zu liefern; lieber würde die Regierung sie für eigene politische und wirtschaftliche Zwecke verwenden. Nun waren Industrie und Politik in den USA und Europa ernsthaft alarmiert, denn die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen insgesamt schien nicht mehr sicher. So gelangte das Rohstoffthema ganz oben auf die wirtschaftspolitische Agenda. Der amerikanische Präsident drohte China mit einem Verfahren vor der Welthandelsorganisation WTO und tatsächlich kam es bald darauf zu einem langen Handelsstreit. Die deutsche Bundeskanzlerin Angela Merkel thematisierte die Seltenen Erden auf einer Chinareise und mahnte offene Märkte an. In Deutschland meldeten sich besorgt die Unternehmen zu Wort: »Bosch befürchtet Engpass bei wichtigen Rohstoffen«, meldete eine Nachrichtenagentur, eine andere sah »Reserven nur noch für vier Wochen«.[1]

Die Metalle der Seltenen Erden standen im Zentrum für diese Entwicklung. Obwohl sie meist nur in kleinsten Mengen verwendet werden und ihre weltweite Jahresproduktion mühelos in einem Massengutfrachter Platz hätte, besitzen die meisten der 17 Metalle, die unter der Bezeichnung »Seltene Erden« zusammengefasst werden, eine große strategische Bedeutung – etwa in der Militärtechnologie oder der Kommunikations- und Energietechnik. Einzeln betrachtet, finden einige von ihnen häufiger Verwendung, etwa die supermagnetischen Elemente Neodym und Praseodym in Windturbinen. Andere haben geringe(re)n praktischen Nutzen, etwa metallisches Lutetium, das in kleinen Mengen als Katalysator in der Erdöl-Raffination eingesetzt wird.

Egal, ob sie häufig oder weniger häufig gebraucht, ob sie in kleinen oder sehr kleinen Mengen eingesetzt werden: Seltene Erden sind »Enabler« – »Möglichmacher« – von bestimmten Produkten und somit unverzichtbare Grundlage ganzer Industriezweige. Aufgrund ihrer besonderen Materialeigenschaften finden sie sich in zahllosen Produkten, in Mobiltelefonen, Laptops, elektrischen Zahnbürsten, Windrädern, Hybrid- und Elektroautos; sie sind in Lasersystemen und Beleuchtungsmitteln verbaut, von der Energiesparlampe bis zum Leuchtkugelschreiber. Darüber hinaus ermöglichen sie als Katalysatoren den reibungslosen und effizienten Ablauf vieler Produktionsprozesse, vor allem in der Erdöl- und Chemieindustrie. Ohne sie zu bemerken, gestalten wir unseren modernen Alltag von früh bis spät mit Hilfe der Seltenen Erden.

Von der Ankündigung Chinas – Quasi-Monopolist in der Produktion der Seltenen Erden – den Export der Metalle zu begrenzen oder gar einzustellen, fühlten sich die Industriegesellschaften also zu Recht existenziell bedroht.

War da was?

Umso erstaunlicher ist die Lage fünf Jahre später: »Der Hype um die Seltenen Erden ist vorbei«, heißt es 2015 lapidar in der Presse.[2] Die US-amerikanische Mine Mountain Pass, nach Jahren des Stillstands 2010 unter großer öffentlicher Aufmerksamkeit als Konkurrenz zu China wieder eröffnet, hat

ihren Betrieb inzwischen schon wieder eingestellt; die Anleger an der Börse sitzen auf einmal auf schlechten Rohstoffpapieren. Das so besorgniserregende Thema hat fünf Jahre später scheinbar seine Wirkung verloren. Neue Vorkommen wurden entdeckt, die Industrie habe durch den Ersatz Seltener Erden durch andere Metalle oder durch neue Technologien große Mengen an Seltenerdmetallen eingespart, heißt es. Wichtiger als die Versorgungssicherheit mit Rohstoffen sei für die Unternehmen inzwischen, den Eintritt in das digitale Zeitalter, die »Industrie 4.0«, nicht zu verpassen.[3]

Die große Aufregung und das nachfolgende Desinteresse passt gut zu den Metallen der Seltenen Erden, denn ihre Geschichte war schon immer voller Missverständnisse und Fehldeutungen. Chemiker aus Schweden, Finnland, Deutschland, Frankreich, Österreich und der Schweiz, die angetreten sind, um die Rätsel um die Seltenen Erden zu lösen, kämpften seit dem 18. Jahrhundert mit dürftigen Kommunikationsmöglichkeiten und unzweckmäßigen Analyse- und Trennmethoden.[4] Sie arbeiteten zur gleichen Zeit an denselben Fragestellungen, ohne sich austauschen zu können; immer wieder warfen ungenaue und fehlerhafte Experimente und Berichte den Erkenntnisprozess zurück. Zum Teil verschwendeten die Wissenschaftler viel Zeit und Energie, um ihre Ansprüche als Erstentdecker oder Namensgeber durchzusetzen.

Insgesamt vergingen mehr als 150 Jahre, ehe alle 17 Elemente entdeckt und beschrieben waren. Heute bezeichnet die »International Union of Pure and Applied Chemistry« (IUPAC) mit dem Sammelnamen »Seltene Erden« oder »Seltenerdmetalle« Elemente des Periodensystems mit den Protonenzahlen 21 und 39 sowie 57 bis 71. Letztere tragen auch noch den alten Namen »Lanthanoide«, verliehen durch das Element mit der Ordnungszahl 57, das Metall Lanthan. In der Gruppe der Seltenen Erden werden jedenfalls folgende Metalle mit teils exotisch klingenden Namen zusammengefasst: Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium.

Es begann in Ytterby

Ende des 18. Jahrhunderts – in Paris braute sich die Französische Revolution zusammen, überall in Europa wurden die Ideen der Aufklärer diskutiert – war der Soldat Carl Axel Arrhenius in dem Festungsstädtchen Vaxholm in den Schären vor Stockholm stationiert. Er interessierte sich für die Naturwissenschaften, besonders für Mineralogie und Chemie. 1787 reiste er nach Paris und traf dort den berühmten Chemiker Antoine Laurent de Lavoisier, der die moderne Chemie als Naturwissenschaft mitbegründete. Lavoisier war darüber hinaus Jurist – und einer der Inspekteure der Französischen Schießpulverfabriken. In diesem Amt sollte ihm Arrhenius in Schweden später nachfolgen – so, wie er der »neuen Chemie« Lavoisiers folgte, die sich u. a. auf überprüfbare Messmethoden gründete.

Kurz vor seiner Reise hatte der Hobbymineraloge ein kleines Bergwerk in der Nähe der heimatlichen Festung durchstöbert, in dem seit dem frühen 18. Jahrhundert Feldspat für die Porzellanindustrie abgebaut wurde. Die »Ytterby gruva«, die »Grube Ytterby«, hielt neben Silikat-Mineralen viele Überraschungen bereit. So fand Arrhenius 1787 einen auffällig schweren und pechschwarzen Stein. Aus diesem, nach seinem Fundort benannten »Ytterbit«, isolierte der finnische Chemiker Johan Gadolin 1794 – Arrhenius hatte längst im Militär Karriere gemacht – die bis dahin unbekannte »Yttererde«. Unter einer »Erde« verstanden Chemiker damals das Oxid eines Metalls – daher auch der Name »Tonerde« für Aluminiumoxid. Mit unserer heutigen Vorstellung von »Erde«, in die wir Blumen pflanzen, hat der Name also nichts zu tun.

In der Folge entpuppte sich die Yttererde indes als etwas anderes, nämlich als ein Gemisch *verschiedener*, eng miteinander verwandter Metalloxide. Wie viele es waren, blieb lange unklar, weil geeignete Trennmethoden fehlten. Immer wieder erwies sich ein vermeintlich neu nachgewiesenes Metall als weiteres Gemisch unterschiedlicher Metalle. Erst 1843 gelang es dem schwedischen Chemiker Carl Gustav Mosander, die Elemente Yttrium und Terbium in Reinform zu gewinnen und zu beschreiben. Seinen Landsmann Arrhenius hatte man zu diesem Zeitpunkt, als Major und Mitglied der schwedischen Akademie der Wissenschaften, schon lange beerdigt.

Und erst 1949 wurde das letzte Seltenerdelement aufgespürt: Promethium, ein radioaktives Spaltprodukt des Uran. Jacob Marinsky, Lawrence Glendenin und Charles Coryell entdeckten es im Oak Ridge National Laboratory in Tennessee. Mit seiner kurzen Halbwertszeit von 18 Jahren kann es in der Natur nicht nachgewiesen werden.[5]

Seltenerdchemie

Mitte des 20. Jahrhunderts waren also alle Seltenerd-Elemente entdeckt – doch längst nicht alle Unklarheiten beseitigt. Noch immer galt die Seltenerdchemie als schwieriges und experimentell extrem anspruchsvolles Gebiet, auf dem die sonst üblichen Nachweis- und Trennverfahren versagten, da sich die einzelnen Elemente in ihrem chemischen und physikalischen Verhalten zu ähnlich sind. So stöhnte der britische Chemiker und Physiker Sir William Crookes 1902: »Diese Elemente verblüffen uns in unseren Untersuchungen, widersprechen unseren Annahmen und verfolgen uns in unseren Träumen. Sie erstrecken sich wie ein unbekanntes Meer vor uns, spottend und rätselhaft murmeln sie seltsame Offenbarungen und Möglichkeiten.«[6] Bertram Boltwood, ein Radiochemiker aus den USA, schloss sich dem drei Jahre später an: »Hinsichtlich korrekter Aussagen ist ihre Radium-Familie eine Sonntagsschule, verglichen mit den Seltenerd-Elementen, deren chemisches Verhalten einfach empörend ist. Es ist absolut entmutigend, irgendetwas mit ihnen zu tun zu haben.«[7]

Jedenfalls verursachte es viel Arbeit und verschlang massenhaft Zeit, die einzelnen so kapriziösen Metalle in Reinform zu gewinnen. Denn bis etwa 1950 war die fraktionierte Kristallisation (eine Vorgehensweise, die sich aus mehreren Tausenden Arbeitsschritten zusammensetzte, die es auf äußerst akribische Weise durchzuführen galt) die einzige Möglichkeit, die Elemente – im reinen Zustand silbrig-weiße Metalle, die sich aufgrund ihres ausgeprägten Reaktionsvermögens schnell mit einer weißen Oxidationsschicht überziehen[8] – zu erhalten.

Inzwischen gibt es effizientere und schnellere Methoden – doch die Gewinnung der Metalle ist noch immer ausgesprochen aufwendig. In der Natur kommen sie stets vergesellschaftet vor. Wer reines Neodym, Cer

oder Praseodym verwenden will, muss es zunächst von seinen Geschwistern trennen und dazu jede Menge Energie und Chemie einsetzen. Dies ist eine der Ursachen für die schwierige Stellung der Seltenen Erden in den Umweltbilanzen von Produkten. Einerseits sind sie wichtiger Bestandteil in »grünen Zukunftstechnologien«, andererseits sind ihr Abbau und ihre Gewinnung wenig nachhaltig. So leiden Menschen und Umwelt in den Regionen, in denen die Metalle abgebaut und produziert werden; zum Teil unter den radioaktiven Beistoffen, die bei der Gewinnung mobilisiert werden, zum Teil unter den giftigen Chemikalien, die in den Bergwerken und Raffinationsanlagen eingesetzt werden.

Umso wichtiger wäre ein bewusster Umgang mit den Metallen, der ihren gesamten Lebensweg immer im Blick hat. Doch daran mangelt es: Von der Weltproduktion von 123.000 Tonnen im Jahr 2010 gingen schätzungsweise rund 110.000 Tonnen durch Feinverteilung verloren, ihre Dissipationsrate liegt demnach zwischen 90 und 100 Prozent. Dissipation oder Feinverteilung bedeutet, dass sich die Metalle durch den menschlichen Gebrauch in feinster Form und nicht mehr rückholbar in der Umwelt verteilen – etwa als Zusatz von Düngern, Tierfutter oder Medikamenten, als Abrieb von Bremsen oder Katalysatoren, als winziger Bestandteil elektronischer Geräte. Wirksame Strategien, diese punktuell kleinen, insgesamt aber immensen Verluste zu vermeiden oder die feinverteilten Partikel aus Boden, Wasser oder Luft zurückzugewinnen, fehlen bis heute.

Auch die Erkenntnis, dass Europa über keine nennenswerten natürlichen Vorkommen an den Metallen verfügt, hat nicht dazu geführt, die eigenen »anthropogenen Lager« bislang zu nutzen. Diese Reservoirs aus ausrangierten Laptops, alten Handys oder kaputten Energiesparlampen werden weder systematisch aufgebaut noch statistisch erfasst oder genutzt. Noch nicht einmal ein Prozent der darin enthaltenen Seltenen Erden wird recycelt. Zu klein sind die eingesetzten Mengen in zahlreichen Produkten, als dass sich ein Recycling lohnen würde, zu verworren die Wege, die die Produkte im Laufe ihrer Nutzung nehmen, und vor allem danach. Der Schock über mögliche Versorgungsengpässe hat zwar weltweit viele Forschungsprojekte auf dem Feld des Recyclings angestoßen. Bislang haben sie aber kaum Eingang in die Unternehmen gefunden.

Metalle für den Erfindergeist

Bei der Substitution sieht das anders aus. Die Anstrengungen, die monopolartig produzierten Metalle durch weniger knappe Rohstoffe zu ersetzen, waren erstaunlich schnell von Erfolg gekrönt. Dabei wendeten die Unternehmen unterschiedliche Strategien an. So ersetzten sie etwa die Seltenen Erden durch andere Metalle, die über ähnliche Eigenschaften verfügen – bisweilen aber auch ähnlich knapp sind. Oder sie entwickelten neue Technologien, die mit deutlich weniger oder ganz ohne Seltenerdmetalle auskamen, etwa die Leuchtstoffindustrie. Der enorme Nachfragerückgang, beispielsweise von Terbium, Europium und Yttrium, ist vor allem darauf zurückzuführen, dass moderne LEDs die Energiesparlampen sehr schnell vom Markt verdrängten und, im Unterschied zu ihnen, fast ohne die Seltenen Erden leuchten.

Da ist er wieder, der Erfindergeist, der offenbar auf jede Krise eine technische Antwort findet. Anders als Kupfer und Eisen prägen die Seltenen Erden Wirtschaft und Kultur des Menschen erst in jüngster Zeit, und der Mensch drückt dem Metall erst seit einigen Jahren seinen Stempel auf. Die Seltenen Erden stehen wie kaum ein anderes Metall für die großen Themen unserer Zeit – sei es die Energiewende, sei es die Industrie 4.0. Weder die High-Tech-Strategie der Bundesregierung noch ihre Digitale Agenda oder ihre Nachhaltigkeitsstrategie lassen sich ohne Dysprosium, Cer und Lanthan umsetzen. Es lohnt sich also, die Seltenen Erden im Blick zu behalten – unabhängig von Marktpreis und Versorgungslage, denn die Metallfamilie erzählt eine faszinierende Geschichte unserer modernen Industriegesellschaft.