

Rohstoffmangel in der Elektronik

Autor(en): **Novotny, Radomir**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **102 (2011)**

Heft (10)

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-856857>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Rohstoffmangel in der Elektronik

Geologische Engpässe, ökonomische Interessen und der Einfluss neuer Technologien

Neue Technologien werden den Bedarf an gewissen Rohstoffen künftig deutlich steigern, beispielsweise den Bedarf an Metallen der Seltenen Erden. Dabei ist es nicht die geologische Knappheit der Ressourcen, die Schwierigkeiten bereitet, sondern ökonomische und politische Interessen. Ein Blick auf die Versorgungslage und präventiven Massnahmen zur Vermeidung von Engpässen

Radomir Novotny

Die Gleichung scheint einfach: Die irdischen Rohstoffressourcen sind beschränkt, Technologien sind auf Rohstoffe angewiesen, also gehen diese Rohstoffe irgendwann aus. Artikeltitle wie «Weniger Rohstoffe für mehr Menschen»¹⁾ suggerieren, dass das aktuelle Hauptproblem die in Kürze aufgebrauchten Rohstoffe sind. Aber so einfach ist die Sache glücklicherweise nicht.

Werfen wir zunächst einen Blick auf die Situation bei den oft im Rampenlicht stehenden Seltenen Erden und anschliessend auf spezifische Einsatzgebiete und die Verfügbarkeit von Rohstoffen in der Elektronik und Elektrotechnik.

Natürlich gibt es Rohstoffengpässe nicht nur im «elektrischen» Bereich, sondern auch in der Stahlindustrie und in der Baubranche, die aber hier aus Relevanzgründen unberücksichtigt bleiben.

Machtmittel «Seltene Erden»

Die Gründe für einen akuten Rohstoffmangel können vielfältig sein. Beispielsweise nutzt China bekanntlich seine Monopolstellung bei den Seltenerdmetallen – rund 97% des weltweiten Jahresbedarfs von etwa 140 000 t kommt aus dem chinesischen Bergbau [1] – auch als politisches Werkzeug: Im September 2010 hatte ein Zusammenstoss zwischen einem chinesi-

schen Fischkutter und einem Patrouillenboot der japanischen Küstenwache zu einer diplomatischen Verstimmung zwischen den Ländern geführt. Knapp zwei Monate dauerte der chinesische Rohstoff-Lieferstopp nach Japan, der dem zweiwöchigen Arrest des chinesischen Kapitäns in Japan folgte [2].

Zum politischen Einsatz der Monopolstellung kommen auch ökonomische Überlegungen. Seit einigen Jahren drosselt China den Export, statt den Abbau zu intensivieren. Der Preis der Seltenen Erden kann so hoch gehalten werden und chinesische Technologiefirmen profitieren von einem Rohstoffvorteil.

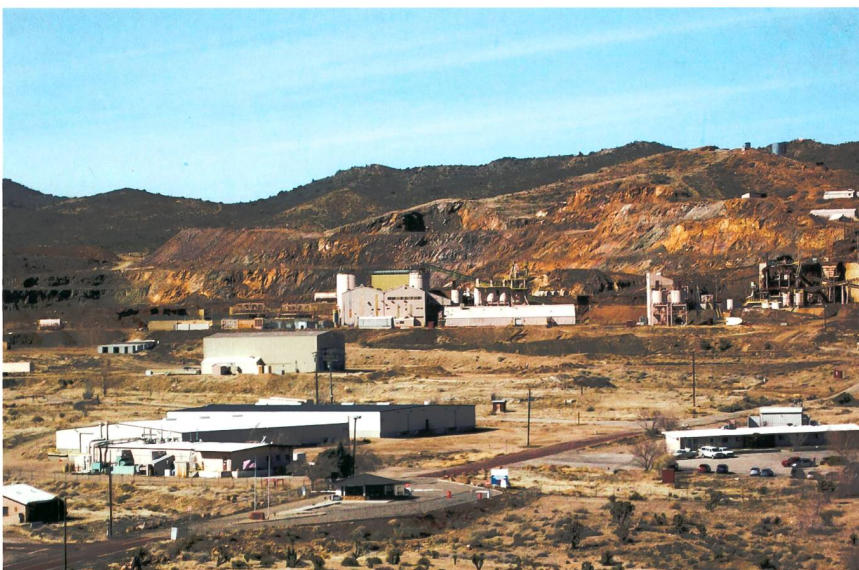
Erschliessung weiterer Quellen

Während man in den USA an der Wiederaufnahme des Abbaus von Seltenen Erden am Mountain Pass Deposit (**Bild 1**) im Südosten Kaliforniens arbeitet²⁾ und sich Australien auf den Abbau in der mit 1,18 Mio. t Seltenen Erden weltweit grössten Lagerstätte (Mount Weld) vorbereitet [3], hat der japanische Fahrzeughersteller Toyota eine Rohstoffarbeitsgruppe gegründet. Ein Konsortium aus den Unternehmen Toyota, Tsusho und Sumitomo wird bald Seltenerdmetalle in Vietnam und Kasachstan abbauen [4].

Ein neu entdecktes Vorkommen in Grönland wäre in der Lage, jährlich etwa die gleiche Menge zu liefern wie China. In Afghanistan scheinen auch nutzbare Lagerstätten vorhanden zu sein [5]. Es braucht aber einige Jahre, bis die Fördermenge der chinesischen Produktion entspricht.

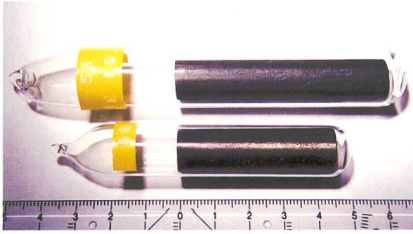
Wie selten sind Seltene Erden?

Der Name «Seltene Erden»³⁾ ist irreführend, denn selten sind diese Metalloxide nicht: Yttrium und Neodym kommen in der Erdkruste durchschnittlich häufiger vor, als beispielsweise Blei oder Arsen. Das häufigste Metall der Seltenen Erden, Cer (**Bild 2**), kommt sogar häufiger vor als Kupfer, Blei und Zinn. Auch das seltenste Metall der Seltenen Erden, Thulium (**Bild 3**), ist immer noch häufiger als Silber und Gold [6]. Das Problem ist nicht das beschränkte Vorkommen, sondern die Tatsache, dass sie selten in der für einen



Plazak

Bild 1 Die südostkalifornische Mountain Pass Mine war bis zu ihrer Stilllegung 2002 eine bedeutende Abbaustelle für Seltenerdmetalle – bis 1991 sogar die grösste. Ein schwerer Unfall 1998 führte wegen der Umweltauflagen zur Stilllegung. Ab 2012 soll sie wieder genutzt werden, um dem Versorgungsengpass bei den Seltenen Erden und der Abhängigkeit von China entgegenzuwirken.



Heinrich Pfnok

Bild 2 Das Lanthanoid Cer ist das häufigste Seltenerdmetall. Es kommt in der Erdkruste häufiger als beispielsweise Kupfer und Blei vor. Praktisch alle Gläser und Linsen werden mit Ceroxid poliert. Cer wird auch in Abgaskatalysatoren und in weissen LEDs verwendet.

wirtschaftlichen Abbau benötigten Konzentration vorliegen.

Ungünstige Konzentrationen

Seltene Erden kommen in zahlreichen Erzen als Gemisch in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Obwohl der Abbau relativ billig ist, ist die Verhüttung und die spätere chemische Trennung der sich chemisch sehr ähnlich verhaltenden Seltenerdmetalle teuer.

Ein weiteres Problem ist das in den Mineralien vorgefundene Mischverhältnis. Bei den Metallanteilen des Phosphatminerals namens Monazit – des wichtigsten Rohstoffs für die Gewinnung Seltener Erden – findet man etwa 50% Cer, 33% Lanthan, 15% Neodym, und weitere Metalle im einstelligen Prozentbereich [7]. Wenn man ein benötigtes Oxid abbaut, muss man aber gleichzeitig gezwungener-

maßen die anderen vorhandenen Erze abbauen (Kuppelproduktion). Da die effektive Nachfrage nicht mit dem vorgefundenen Verhältnis zwischen den Oxiden übereinstimmt, gibt es bei gewissen Oxiden einen Überschuss, der sich negativ auf deren Marktpreis auswirkt. Wegen diesem Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage ist man heute nicht in der Lage, mehr als etwa 75% der produzierten Seltenen Erden zu verwenden.

Der durch die Kuppelproduktion bei gewissen Metallen verursachte Preiszerfall mag auch ein Grund sein, wieso China den Abbau reduziert. Man erhofft sich durch die reduzierte Produktion eine Preisstabilisierung bei den häufiger vorkommenden Seltenen Erden, wodurch ein Mangel bei anderen Oxiden entsteht. Ein Problem, das uns noch längerfristig beschäftigen wird.

Rohstoffe in der Elektronik

Will man die künftig in der Elektronik und Elektrotechnik eingesetzte Rohstoffmenge abschätzen, genügt es nicht, den aktuellen Jahresverbrauch linear zu extrapolieren. Man muss auch den Rohstoffbedarf der zukünftigen Technologien berücksichtigen.⁴⁾ Prognosen geben Aufschluss darüber, bei welchen Rohstoffen ein Mangel entstehen könnte.

Hybrid- und elektrische Fahrzeuge

Sowohl die Hochleistungsbatterien als auch der Elektromotor – meist eine Permanent-Synchronmaschine – fallen

bei Hybrid- und Elektroantrieben bezüglich Rohstoffbedarf ins Gewicht.

Ein heutiges Auto enthält durchschnittlich 22 kg Kupfer, bei künftigen Fahrzeugen dürfte sich der Kupferanteil in den nächsten 20 Jahren auf rund 40 kg steigern, da eine bezüglich Komfort und Sicherheit höherwertige Ausstattung von den Besitzern erwartet wird. Die Einführung eines 42-V-Bordnetzes könnte dank den geringeren Kabelquerschnitten dieses Wachstum leicht bremsen. Bei Hybrid-PKW liegt der Kupferbedarf um rund einen Drittel höher.

Wenn der Verkaufsanteil von Hybridfahrzeugen nur leicht ansteigt, würde man 2030 knapp 1% der Weltjahreskupferproduktion von 2007 benötigen. Wenn aber 2030 praktisch nur Hybridfahrzeuge ausgeliefert würden, wären 20% der Weltjahresproduktion für den Fahrzeugbau erforderlich. Kritischer sieht der Bedarf aber bei den Permanentmagneten aus.

Hochleistungs-Permanentmagnete

Die in Elektro- bzw. Hybridautos verwendeten Permanentmagnete enthalten Neodym oder Samarium. Nimmt man pro Fahrzeug 0,5 bis 1 kg Neodym an und berücksichtigt nebst dem allgemeinen Wachstum der PKW-Produktion eine Steigerung des E-Anteils von 10%, erreicht man 2030 einen Neodym-Bedarf von 2700 t, etwa 37% der heutigen Jahresproduktion. Bei einer jährlichen Elektro-Steigerung von 26% würde der Neodym-Bedarf auf 53 000 t hochschnellen – die Jahresproduktion müsste um das Siebenfache gesteigert werden! Und dies ohne Berücksichtigung des Neodym-Bedarfs für Magnete in Windkraftwerken.

Lithium-Ionen-Akkus

Für E-Fahrzeuge gibt es zahlreiche Akkutechnologien, auch ohne Lithium. Aber Lithium-Akkus verfügen über die grösste Energiedichte und sind somit die wichtigsten Kandidaten für den künftigen Fahrzeugbau.

Ein grosses Wachstum des Akkubedarfs bis 2030 wird zwar die Primärproduktion markant erhöhen, aber kaum zu einem Bedarf führen, der die aktuelle jährliche Weltproduktion von rund 20 000 t übertrifft. Lithium ist nicht selten, die weltweiten Reserven werden auf rund 9,9 Mio. t geschätzt. Durch die starke Verteilung ist der Abbau aber schwierig, was dazu führen könnte, dass die Förderaktivitäten auf bisher unberührte Landschaften (beispielsweise auf



Heinrich Pfnok (www.pse-mendeleejew.de)

Bild 3 Thulium, das seltenste stabile Seltenerdmetall, kommt häufiger als Silber, Platin und Gold vor. Es wird selten eingesetzt – ein Anwendungsgebiet sind Präzisionslaser für medizinische Zwecke.

den bolivianischen Salar de Uyuni) erweitert werden müssten – mit den entsprechenden ökologischen Folgen [8].

Das aus Rohstoff-sicht kritische Glied bei Li-Ionen-Akkus ist nicht das Lithium, sondern das für die Kathoden verwendete Kobalt (Bild 5). Aber auch dessen Verbrauch sollte 2030 unter der aktuellen jährlichen Erzeugung liegen; zusätzlich könnte sich das Recycling von Kobalt positiv auswirken, denn die Erlöse aus der Metallrückgewinnung könnten die Sammel- und Aufarbeitungskosten von Li-Ionen-Akkus abdecken.

RFID und bleifreie Lote

Der Einsatz von RFID-Lösungen wächst ungebremsst. Das Anwendungsspektrum ist beeindruckend: Fahrzeuge, Medikamente, Tiere, Personen und Waren aller Art können mit RFID-Transpondern identifiziert werden. Obwohl diese sehr klein sein können, stellt ihre Menge ein Rohstoff-Problem dar. Nebst der Tatsache, dass sie Schwierigkeiten beim Recycling der Verpackungen, auf denen sie angebracht sind, verursachen können, scheint es sich abzuzeichnen, dass sie für das mengenmässig grösste Wachstum am Silberbedarf verantwortlich sind.

Silber wird u.a. in der Leitpaste von RFID-Transpondern verwendet und kann nicht substituiert werden. Es wird geschätzt, dass 2030 die RFID-Tags etwa gleich viel Silber benötigen werden, wie dies heute die bleifreien Weichlote tun, nämlich rund 5000 t; die Silbergewinnung müsste etwa verdreifacht werden.

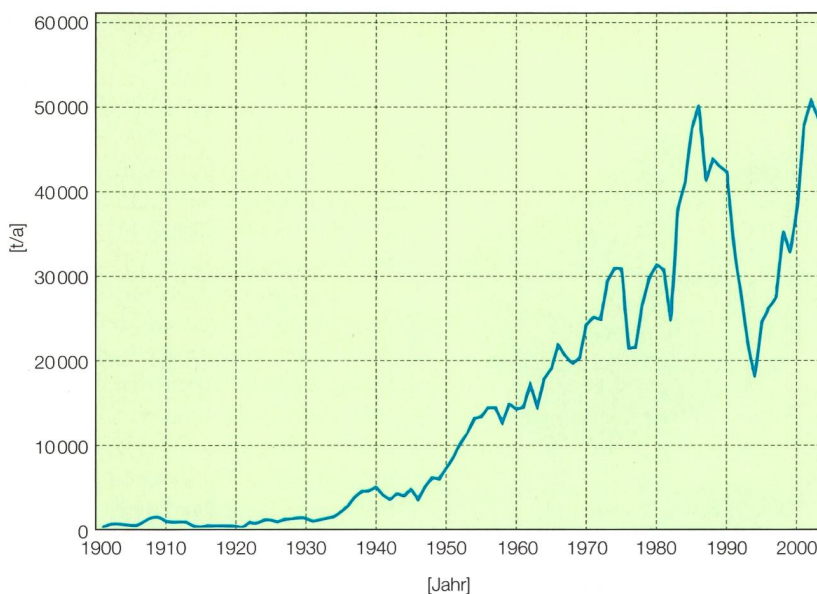


Bild 5 Zeitliche Entwicklung der weltweiten Kobaltförderung (in Tonnen pro Jahr).



Bild 4 Das silberweisse, weiche Schwermetall Indium wird hauptsächlich als Indiumzinnoxid für Flachbildschirme verwendet.

Displaytechnik und weisse LED

Indium spielt bei Displays als transparente Elektrode aus Indiumzinnoxid (ITO), bei der Dünnschicht-Fotovoltaik als Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) und bei weissen LEDs als Indiumgalliumnitrid eine bedeutende Rolle. Der Indiumbedarf dieser drei Technologien zusammen belief sich 2006 auf 234 t und wird 2030 schätzungsweise 1911 t betragen, mehr als das dreifache der aktuellen Produktion. Indium zählt weltweit zu den knappsten Rohstoffen. Das Recycling übertrifft die Primärproduktion: Im Jahr 2008 wurden 800 t rezykliert.

Es gibt Bestrebungen, das Indium in Touchscreens zu ersetzen. Beispielsweise entwickeln Forscher des Fraunhofer IPA ein neues Elektrodenmaterial, das ITO ebenbürtig und dazu noch billiger ist. Hauptbestandteile sind Carbon-Nanotubes und preiswerte Polymere, als Trägermaterial dient PET. Bezüglich elektrischem Widerstand und Haltbarkeit wird am neuen Material noch gearbeitet.

Glasfaserkabel, Infrarotoptik

Der Ausbau des Glasfasernetzes ist in vollem Gang – der Bedarf an Lichtleitern steigt. Bei der Herstellung von Glas gibt es eigentlich keine Engpässe, allerdings wird dem Glas Germanium beigemischt, um den Lichtbrechungsindex zu erhöhen. Germanium ist beispielsweise in IR-Linsen nicht substituierbar. Es wird heute meist als Nebenprodukt bei der Gewinnung anderer Metalle hergestellt. Rund 30% des genutzten Germaniums stammt aus Recyclingmaterial.

Ein Drittel der heutigen Germaniumproduktion wird für Glasfaserkabel verwendet. Der Bedarf für 2030 wird bei vorsichtiger Schätzung auf fast das achtfache prognostiziert, nämlich 220 t. Über die weltweiten Ressourcen ist wenig bekannt; in den USA werden die Reserven mit 450 t angegeben. Wird ein ausreichender Ausbau des Netzes früh erreicht, könnte ein Rohstoff-Engpass vermieden werden.

Kondensatoren

Tantal spielt bei vielen Kondensatoren eine wichtige Rolle. Rund 60% der Tantalproduktion wird für elektronische Komponenten verwendet. Nimmt man an, dass in vielen Anwendungsbereichen Tantal- durch Niobkondensatoren ersetzt werden und Marktverschiebungen von Elektrolyt- zu Keramikkondensatoren stattfinden, wird der Tantalbedarf reduziert. Allerdings wird der wachsende Bedarf an Kondensatoren diesen Effekt mehr als ausgleichen: Der für 2030 geschätzte Tantalbedarf dürfte in der Grössenordnung der heutigen globalen Tantalproduktion liegen (1400 t). Die Reserven betragen in 2007 110 000 t [9].

Hochleistungs-Mikrochips

Galliumarsenid (GaAs) ist ein vielversprechendes Material für Hochleistungshalbleiter. Seine im Vergleich zu Silizium höhere Durchschlagsspannung und seine Fähigkeit, bei Transistoren einen rauscharmen Betrieb bei Frequenzen bis mehrere hundert GHz zu ermöglichen, machen es beliebt.

Derzeit wird etwa ein Fünftel der rund 100 t umfassenden Galliumproduktion für GaAs-Wafer eingesetzt. Der Bedarf 2030 dürfte irgendwo zwischen dem doppelten und dem zehnfachen der aktuellen Jahresproduktion liegen.

Die wenigen Hersteller von Gallium behandeln ihre Produktionsdaten vertraulich. Verlässliche Daten über die Reserven gibt es deshalb nicht.

US Geological Survey

Thermoelektrische Generatoren

Die direkte Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme steckt zwar aus industrieller Sicht noch in den Kinderschuhen, ist aber vielversprechend. Die Forschung leistet zurzeit Bahnbrechendes – davon zeugt beispielsweise der 2009 an Wulf Glatz verliehene Swisselectric Research Award für seine Entwicklung eines kostengünstigeren, auf einer biegsamen Kunststoffolie aufgetragenen thermoelektrischen Generators (TEG) mit Bismut-Tellurit.

Bei einem Mittelklasse-PKW liesse sich mit einem TEG mit 12% Wirkungsgrad eine elektrische Leistung von etwa 1 kW erzeugen – der Alternator wäre überflüssig. Bei einer grossen Verbreitung dieser Technologie entsteht eine signifikante Nachfrage nach Tellur, Bismut, Silber, Antimon und weiteren Rohstoffen. Bei gewissen Rohstoffen müsste der Abbau deutlich gesteigert werden; die geologische Verfügbarkeit stellt kein Hindernis dar.

Dünnschicht-Fotovoltaik

Es gibt diverse Dünnschicht-FV-Technologien. Je nachdem, welche Technologie sich im Markt etabliert, entstehen bei den eingesetzten Halbleitermaterialien signifikante Nachfrageschübe, die mittel- bis langfristig zu Versorgungsengpässen führen könnten.

Besonders beim Indium, das – wie wir bereits gesehen haben – auch bei Flachbildschirmen und weissen Leuchtdioden eingesetzt wird, könnte ein Versorgungsengpass entstehen.

Falls sich CdTe-Zellen durchsetzen, verschiebt sich das Verfügbarkeitsproblem auf Tellur. Setzen sich aber GaAs-Dünnschichten auf monokristallinem Germanium durch, ist Germanium der limitierende Rohstoff. Man kann also wählen, auf welche Abhängigkeiten man sich einlassen will.

Festkörperlaser

Bei Festkörperlasern dominiert als Material Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat (Nd:YAG). Bei diesen Stoffen sieht die Bedarfsprognose für 2030 unproblematisch aus. Lediglich der Bedarf an Yttrium dürfte etwa die gesamte Weltproduktion von 2006 erreichen (rund 7000 t).

Versorgungslage und Massnahmen

Was können wir nach diesem «Rohstoff-Rundgang» bezüglich der Versorgungslage Grundsätzliches sagen? Es wurde klar, dass ein wichtiger Grund für die Rohstoffkritikalität die Produktionskonzentration in gewissen Ländern ist und die Gefahr besteht, dass Rohstoffe zur Unterstützung politischer und wirtschaftlicher Interessen eingesetzt werden. Ausserdem wird uns das ungünstige Rohstoffverhältnis bei der Kuppelproduktion der Seltenen Erden auch in den nächsten Jahren beschäftigen, denn es wird die Verfügbarkeit gewisser Stoffe weiterhin beeinträchtigen.

Bei den Metallen der Seltenen Erden könnte sich die Situation mittelfristig entspannen, da bestehende Abbaugelände reaktiviert (USA) bzw. neue erschlossen werden (Australien, japanischer Abbau in Vietnam, Kasachstan). Zudem besteht weiteres Abbaupotenzial beispielsweise in Grönland und Afghanistan.

Zur Vermeidung von Engpässen gibt es folgende Massnahmen:

- Strategische Diversifizierung der globalen Versorgungsketten.
- Unternehmen können langfristige Lieferverträge abschliessen.
- Materialsubstitution: Suche nach alternativen Stoffen mit ähnlichen Eigenschaften (Ersatzstoffe können aber auch kritisch werden!).
- Optimierter Einsatz der Ressourcen.
- Intensivierung des Recyclings.

- Funktionale Substitution: Entwicklung von Designs, die die gewünschte Funktion auf andere Weise erreichen (beispielsweise Ersatz von Festplatten mit Permanentmagneten durch nichtflüchtige Halbleiterspeicher ohne Seltenerdmetalle).

Es ist mehr denn je wichtig, vor und während der Entwicklung neuer Produkte die aktuelle Rohstoffsituation kontinuierlich im Auge zu behalten, um gefährlichen Abhängigkeiten rechtzeitig begegnen zu können.

Literatur

- Gerhard Angerer et al., Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Fraunhofer ISI, 2009. Download unter: <http://www.verlag.fraunhofer.de/bookshop/artikel.jsp?v=229184>.
- Patrick A. Wäger, Daniel J. Lang, Seltene Metalle – Rohstoffe für Zukunftstechnologien, SATW, 2010.
- U.S. Department of Energy, Critical Materials Strategy, December 2010.
- Doris Schlüter et al., Study on Rare Earths and Their Recycling, Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament, Januar 2011.

Links

- http://de.wikipedia.org/wiki/Seltene_Erden
- <http://isi.fraunhofer.de/isi-de/n/projekte/rohstoffbedarf.php>

Referenzen

- [1] Joachim Stubenrauch, «Nicht selten – und dennoch rar», Chemische Rundschau Nr. 12, 7. Dezember 2010, S. 13–15.
- [2] «China verschifft seltene Erden wieder nach Japan», NZZ Online, 24. November 2010.
- [3] Gerhard Angerer et al., Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Fraunhofer ISI, 2009, S. 309.
- [4] Stubenrauch, S. 14.
- [5] Stubenrauch, S. 15.
- [6] Angerer, S. 305.
- [7] Stubenrauch, S. 14.
- [8] Patrick A. Wäger, Daniel J. Lang, Seltene Metalle – Rohstoffe für Zukunftstechnologien, SATW, 2010, S. 15.
- [9] Wäger, S. 24.



Angaben zum Autor

Radomir Novotny, El.-Ing. HTL, ist Chefredaktor Electrosuisse beim Bulletin SEV/VSE.

Electrosuisse, 8320 Fehraltorf
radomir.novotny@electrosuisse.ch

Résumé

Pénurie de matière première dans l'électronique

Goulets d'étranglement géologiques, intérêts économiques et influence des nouvelles technologies

À l'avenir, les nouvelles technologies vont considérablement accroître le besoin au niveau de certaines matières premières telles que l'yttrium. Ce n'est pas à ce niveau la rareté géologique des ressources qui est à l'origine des difficultés mais les intérêts économiques et politiques. Dans différents domaines, la situation relative à l'approvisionnement en matières premières pourrait devenir critique: c'est le cas des terres rares pour les aimants permanents des véhicules hybrides, de l'argent pour la RFID, de l'indium pour la technologie de l'affichage, etc. Quelques mesures sont possibles pour désamorcer le problème: une diversification des chaînes d'approvisionnement, des substitutions matérielles et fonctionnelles, ainsi qu'un recyclage plus intensif. La situation actuelle des matières premières doit être prise en compte lors du développement de nouveaux produits.

No

¹⁾ Thomas Meier, Weniger Rohstoffe für mehr Menschen. Swiss Engineering Nr. 11, 2010, S. 7.

²⁾ Gemäss dem Bergbauunternehmen Molycorp Inc. sollte man bis Ende 2012 die volle Förderkapazität erreichen. Cathy Proctor, Molycorp gets OK for rare-earths processing plant, Denver Business Journal, 13.12.2010.

³⁾ Der Name «Seltene Erden» stammt aus der Entdeckungszeit dieser Oxide – «Erden» ist die frühere Bezeichnung für «Oxide» – in seltenen Mineralien. Aus diesen Oxiden werden die Seltenerdmetalle isoliert. Zu diesen Metallen rechnet man die 14 Lanthanoide sowie Lanthan, Scandium und Yttrium.

⁴⁾ Die Prognosen und Mengenangaben in diesem Abschnitt basieren – wenn nicht anders vermerkt – auf Gerhard Angerer et al., «Rohstoffe für Zukunftstechnologien» (eine empfehlenswerte Informationsquelle für alle Rohstoff-Interessierten).