

Elektronikmetalle - zukünftig steigender Bedarf bei unzureichender Versorgungslage?

Harald Elsner, Frank Melcher, Ulrich Schwarz-Schampera & Peter Buchholz

Die BGR beobachtet und analysiert in den Bereichen Rohstoff- und Wirtschaftsgeologie laufend die internationalen Rohstoffmärkte. Sie untersucht im Vorfeld industrieller Aktivitäten Rohstoffpotenziale und entwickelt Szenarien zur Versorgungssituation. Dieser Beitrag in der Reihe COMMODITY TOP NEWS der BGR zeigt auf, in welchen Industriesektoren die Elektronikmetalle Gallium, Indium, Scandium, Germanium, Neodym und Tantal Verwendung finden, vor allem wo sie gewonnen werden, welche Vorräte bekannt sind und wie sich die Versorgungssituation bis 2030 verändern könnte.

Erwartete Nachfrage aus Zukunftstechnologien

Im Oktober 2007 beauftragte das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) das Fraun-

hofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI gemeinsam mit dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT gGmbH mit der Erstellung einer Studie mit dem Titel „Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien.“ In dieser, im Frühjahr 2009 vorgelegten Studie wurde der „Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffverbrauchs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage“ untersucht, ausgewertet und dargestellt.

In der Studie wurden insgesamt knapp 100 Innovationen, die Impulse auf die zukünftige Rohstoffnachfrage entfalten könnten, recherchiert. Hiervon wurden letztendlich 32 Technologien ausgewählt und ihre Anwendung und Nutzbarkeit bis zum Jahr 2030 bewertet. Die Analyse der von der potenziellen Nutzung dieser neu-

Tabelle 1: Produktion 2006, Bedarfssumme 2006, erwartete Bedarfssumme 2030 sowie Indikator des Rohstoffbedarfs (Bedarfssumme/Rohstoffproduktion 2006) für ausgewählte Zukunftstechnologien, nach ANGERER et al. (2009). Aufgrund aktuellerer Produktionsdaten konnten zahlreiche Indikatoren neu berechnet werden.

Rohstoff	Produktion 2006 ¹⁾ (t)	Bedarfssumme 2006 (t)	Bedarfssumme 2030 (t)	Indikator 2006	Indikator 2030
Gallium	152 ⁶⁾	28	603	0,18 ¹⁾	3,97 ¹⁾
Indium	581	234	1.911	0,40 ¹⁾	3,29 ¹⁾
Scandium	1,3-2 ⁵⁾	0	3	0	2,31 ¹⁾
Germanium	100	28	220	0,28 ¹⁾	2,20 ¹⁾
Neodym	16.800 ⁶⁾	4.000	27.900	0,23 ¹⁾	1,66 ¹⁾
Platin	255	sehr klein	345	0	1,35 ¹⁾
Tantal	1.384	551	1.410	0,40 ¹⁾	1,02 ¹⁾
Silber	19.051	5.342	15.823	0,28 ¹⁾	0,83 ¹⁾
Zinn	327.676	188.405	233.344	0,57 ¹⁾	0,71 ¹⁾
Kobalt	62.279	12.820	26.860	0,21 ¹⁾	0,43 ¹⁾
Palladium	267	23	77	0,09 ¹⁾	0,29 ¹⁾
Titan	7.211.000 ³⁾	15.397	58.148	0,08	0,29
Kupfer	15.093.000	1.410.000	3.696.070	0,09	0,24
Selen	2.080	1	165	0	0,08 ¹⁾
Ruthenium	29 ⁴⁾	0	1	0	0,03
Niob	44.531	288	1.410	0,01	0,03
Yttrium	7.000	1	85	0	0,01
Antimon	172.223	28	71	<0,01	<0,01
Chrom	19.825.713 ²⁾	11.250	41.900	<0,01	<0,01

¹⁾ von BGR aufgrund neuerer Daten korrigierter Wert, ²⁾ Chromit, ³⁾ Erzkonzentrat, ⁴⁾ Verbrauch, ⁵⁾ nach Schätzungen zwischen 1,3 und 2 t Scandium aus Bergbauproduktion, ⁶⁾ Annahme voller Produktion in China und Russland

en Technologien ausgehenden Rohstoffnachfrage in Abhängigkeit des zu erwartenden durchschnittlichen Weltwirtschaftswachstums sowie des vermuteten Substitutions- und Recyclingpotenzials war eine Grundvoraussetzung zur Entwicklung eines Indikators für rohstoffspezifische Einzelaussagen. Der entwickelte „Indikator gibt an, welcher Anteil, in mehreren Fällen auch das Wievielfache, der heutigen Weltproduktion des jeweiligen Rohstoffs für diese Technologien 2030 benötigt wird. Er ist ein Maß für den Ausbaubedarf der Minenproduktion.“ (ANGERER et al. 2009) (s. Tab. 1). Besonders bei Platin und den Elektronikmetallen Gallium, Indium, Scandium, Germanium, Neodym und Tantal wurde für das Jahr 2030 ein Indikator errechnet, der zu Besorgnis Anlass gibt (vgl. Tab. 1). Ein über 1,0 liegender Indikator, wie bei diesen Rohstoffen gegeben, würde bedeuten, dass im Jahr 2030 alleine die näher betrachteten Zukunftstechnologien mehr von diesen Metallen verbrauchen, als derzeit weltweit produziert werden. Dies könnte zu ernsthaften weltweiten Versorgungsengpässen und Preissteigerungen und damit auch erheblichen Belastungen für die deutsche Industrie führen.

Gallium

Gallium (Ga) findet Verwendung als Quecksilberersatz in Thermometerfüllungen, als Legierungszusatz in der Dentaltechnik sowie als Flüssigmetall-Wärmeleitpaste in PCs. Aus Galliumnitrid werden blaue, weiße und grüne, aus Galliumphosphid rote und grüne Leuchtdioden hergestellt. Galliumarsenid wird zu Wafern vor allem für elektronische Hochfrequenzbauteile (Integrierte Schaltkreise und Leuchtdioden bzw. Laser) weiterverarbeitet. Daneben wird Galliumarsenid in hocheffizienten Solarzellen mit Wirkungsgraden >20 %, für Konzentratorzellen und in der Stromversorgung für Satelliten verwendet. Galliumantimonid ist Grundstoff für die Herstellung von optoelektronischen Bauelementen.

Produktionsländer im Jahr 2006 waren - soweit bekannt - Japan (90 t aus Schrott, 8 t aus Bauxit), Russland (Kapazität 19 t aus Bauxit und Zinnerzen), Deutschland (12 t aus Bauxit), China (Kapazität 10 t aus Bauxit), Kasachstan (7 t aus Bauxit), Ungarn (5,5 t aus Bauxit) sowie die Slowakei (0,5 t aus Bauxit). Insgesamt wurden im Jahr 2006 weltweit schätzungsweise 152 t Gallium produziert. Im Jahr 2008 produzierte die Fa. Recapture Metals Ltd. an ihrem Standort in Stade 24 t Gallium; die Kapazität lag bei 35 t.

Gallium ist ein zart hellblaues, silbrigweiß glänzendes, sehr weiches Metall, das auf der Erde zwar weit verbreitet, aber nur selten in höheren Konzentrationen zu finden ist. Wegen seiner chemischen Verwandtschaft mit Aluminium ist Gallium vor allem in Aluminiummineralen angereichert. Wichtigstes Primärerz ist daher das Aluminiumerz Bauxit, dem es nach dem Aufschluss mit Natronlauge (Bayer-Verfahren) als Begleitmetall aus der Lauge entzogen wird. In wirtschaftlich relevanten Gehalten findet sich Gallium in der Natur zudem noch in Zinkerzen, so dass es bei der Zinkerstellung mit gewonnen werden kann. Auch aus Kraftwerksaschen lässt sich Gallium, zusammen mit Germanium, abtrennen. Da die beiden letztgenannten Gewinnungsprozesse aufgrund anderer metallischer Verunreinigungen sehr komplex sind, wird in der Industrie derzeit die Abtrennung von Gallium aus Bauxit deutlich bevorzugt. Ein Großteil des gegenwärtig gehandelten Galliums stammt zudem aus dem Recycling von Gallium-, Zink- und Aluminiumschrotten.

Beispiele zu erhöhten Gehalten an Gallium in verschiedenen Ausgangsstoffen nach Literaturangaben sind:

- 33 – 86 ppm (Ø 50 ppm, JASKULA 2010) als Mittelwerte von Bauxiten aus Malaysia, Russland, Indien, Kasachstan und Arkansas/USA,
- 5 – 1.000 ppm in westdeutschen Steinkohlekraftwerksaschen,
- 40 – 700 ppm in Spodumen und Lepidolith aus russischen Pegmatiten,
- 5 – 300 ppm als Mittelwerte von Zinkkonzentraten aus verschiedenen Ländern Europas, aus Peru, Mexiko, Marokko, Mongolei, Namibia, Australien, Algerien, Kanada und den USA,
- 70 – 150 ppm in Staurolith- und Disthen-/Sillimanit-Schwermineralkonzentraten aus Florida bzw. der Ukraine,
- 49 ppm bzw. 52 ppm in den vermuteten bzw. angezeigten Ressourcen der Cordero Galliumlagerstätte in Nevada,
- 32 – 82 ppm (Ø 46 ppm) in Kaolin-Lagerstätten aus Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Spanien und den USA,
- 24 – 64 ppm (Ø 46 ppm) in deutschen Ton-Lagerstätten sowie
- 15 – 39 ppm (Ø 30 ppm) in Bentoniten aus Deutschland (Bayern), Japan und den USA.

Fazit: Berechnet man das Potenzial der Galliumgewinnung im Jahr 2030 kann man nach Berücksichtigung nur der wichtigsten Rohstoffquelle, Bauxit,

Entwarnung geben. Im Jahr 2008 wurden weltweit rund 216 Mio. t Bauxit abgebaut, aus denen neben vergleichsweise geringen Mengen an Tonerde zur Weiterverarbeitung zu Elektrokorund rund 39 Mio. t Aluminium gewonnen wurden. Bei Annahme einer jährlichen Abbaumenge von 200 Mio. t Bauxit für die Aluminiumgewinnung, des vom USGS (JASKULA 2010) angenommenen mittleren Galliumgehalts im Bauxit von 50 ppm sowie einem Ausbringen, wie derzeit üblich, von nur 40 % (JASKULA, frdl. schriftl. Mitt.) errechnet sich eine potenziell gewinnbare primäre Galliummenge von jährlich ca. 4.000 t. Dies allein entspricht knapp dem Siebenfachen der im Jahr 2030 benötigten Tonnage von 603 t für die von ANGERER et al. (2009) berücksichtigten Zukunftstechnologien weiße LED's, Hochleistungs-Mikrochips und Dünnschicht-Photovoltaik. Bis zum Jahr 2030 müssten demnach keine neuen Rohstoffquellen für Gallium erschlossen, sondern Aufbereitungstechnologien verfeinert und die Raffinadekapazitäten erhöht werden, die derzeit auf 184 t für Primärgallium, 167 t für Raffinadegallium und 78 t für Recyclinggallium geschätzt werden (JASKULA 2010).

Indium

Die Verwendung von Indium (In) bei der Produktion von Flachbildschirmen liegt mit einem Verbrauch von weltweit mehr als 50 % des primären Indiums und 80 % des recycelten Materials an erster Stelle. Ein weiteres wichtiges und wachsendes Anwendungsfeld ist die Produktion von Solarmodulen auf Indiumbasis. In der Entwicklung und Produktion schlüsselfertiger Produktionslinien für Solarmodule auf Dünnschicht- und kristalliner Siliziumbasis sind dabei besonders deutsche Unternehmen weltweit führend. Ihre Kapazitäten werden zurzeit deutlich erweitert, um der weltweiten Nachfrage gerecht zu werden. Forschungsvorhaben haben gezeigt, dass sich perspektivisch durch hocheffiziente Dünnschichttechnologie auf Indiumbasis in der Massenproduktion von Solarmodulen die höchsten Wirkungsgrade erzielen lassen und dabei außerdem die Produktionskosten sinken.

Große Bergwerke mit Indium führenden Erzen produzieren auf allen Kontinenten. Auch Raffinerien arbeiten in vielen Ländern, wobei die Haupttraffinadeländer China (310 t), Südkorea (75 t) und Japan (65 t) sind. In Bezug auf das Länderrisiko der Produktion wird die Stabilität der Indium-Verfügbarkeit also durch eine gute globale geographische und politische Verteilung erhöht.

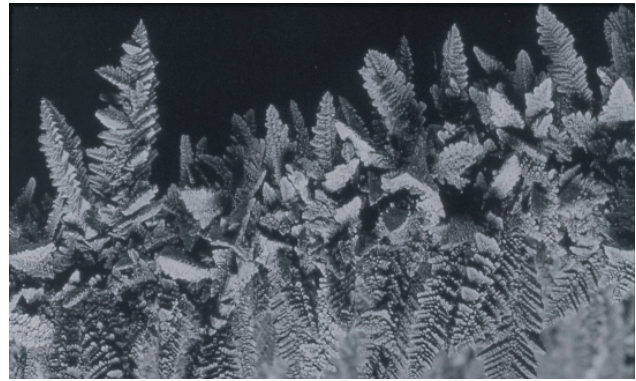


Abb. 1: Indiummetall auf Kathode, Foto BGR

Die Konzentration von Indium in der Erdkruste ist sehr gering, aber dennoch höher als die von Silber. Primärindium fällt industriell als klassisches Nebenprodukt bei der Verhüttung polymetallischer Erze mit den Buntmetallen Blei, Zink, Kupfer und Zinn an. In diesen Erzen beträgt der Indiumgehalt durchschnittlich 70 bis 200 ppm. Um die rasant steigende Nachfrage zu erfüllen, stieg die jährliche Indium-Primärproduktion in den letzten 20 Jahren von 70 t auf knapp 600 t an. Erreicht werden konnte dies durch Fokussierung und Ausweitung der Gewinnung von Spurenmetallen aus Buntmetallerzen und Verbesserungen der Gewinnungstechnologien. In den letzten fünf Jahren stieg der Verbrauch an Buntmetallen deutlich an und damit auch die Menge des bei der Verhüttung ausbringbaren Indiums. Darüber hinaus hat die hohe Nachfrage zu einem größeren Interesse und einer aktiveren Suche nach indiumhaltigen Konzentraten aus zusätzlichen Quellen sowie einer Verarbeitung größerer Mengen durch spezialisierte Metallhütten vor allem in Japan und China geführt. Eine derartige Spezialisierung war in der Vergangenheit aufgrund der geringen Erträge, der großen Entfernungen zu Konzentratlieferanten und die damit verbundenen Transportkosten unwirtschaftlich. In der Folge wurden indiumhaltige Konzentrate sehr oft von nicht spezialisierten Metallhütten verarbeitet; eine Gewinnung des enthaltenen Indiums unterblieb, der Rohstoff galt somit als verloren.

Traditionell wurden viele Jahre weniger als 20 % des Indium-Gehaltes aus den Konzentraten gewonnen. Bis heute werden nur etwa 35 % der 1.500 t Indium, die weltweit jährlich aus Indium reichen Erzen zur Verfügung stehen, auch zu Indiummetall verarbeitet (MIKOLAJCZAK 2009). Dies ist darin begründet, dass 30 % der indiumhaltigen Erze keine hoch spezialisierten Indium-Metallhütten erreichen und 70 % der Indium-Konzentrate von den Metallhütten nur zu 50 % extrahiert werden. Die verbleibenden 50 %, die

nicht sofort in reines Indium umgewandelt werden, bleiben mit anderen Elementen und Verschmutzungen als Rückstand zurück. Eine Reihe von Metallhütten hat über viele Jahre große Mengen dieser Rückstände angesammelt und führt dies auch weiterhin fort. Diese indiumhaltigen Materialien sind schwieriger und damit teurer zu bearbeiten. Eine durch Nachfrage und Preis gerechtfertigte Behandlung ist jedoch möglich. Nach einer Studie der Indium Corporation of America (MIKOLAJCZAK 2009) und Schätzungen der verarbeitenden Industrie betragen die gesamten potenziellen Indium-Vorräte in Rückständen weltweit mittlerweile über 15.000 t und wachsen jährlich um weitere 500 t an.

In der o.g. Studie der Indium Corporation of America wurde zudem herausgefunden, dass sich die primären Indium-Vorräte (Reserven und Ressourcen) in ausgewiesenen Buntmetallminen der „westlichen“ Welt auf 26.000 t belaufen. In der restlichen Welt (China und GUS) existieren Vorräte von derzeit 23.000 t Indium, womit die weltweiten Gesamtvorräte momentan bei knapp 49.000 t Indium liegen.

Aktuell werden die globalen Raffineriekapazitäten weiter ausgebaut. So hat beispielsweise Korea Zinc eine neue Förderung und Raffinationsverarbeitungsline in ihrer Zinkhütte in Korea installiert. Dowa Mining und XStrata erhöhten ihre Indium-Raffineriekapazitäten in Japan bzw. in Kanada. Neue Gewinnungs- und Raffinerielinien werden in Südamerika installiert. Eine große Zahl chinesischer Unternehmen haben Produktionslinien installiert, die Material mit weniger als 0,5 % Indium-Gehalt verarbeiten können. Andere chinesische Unternehmen haben Produktionslinien installiert, welche aus geringen Indiumqualitäten eine höhere Reinheit herstellen können.

Auch höhere Recyclingraten sind ein wichtiger Beitrag zur Vergrößerung der Verfügbarkeit von Indium. Flache Indium-Targets, aus zinndotiertem Indiumoxid (ITO), werden üblicherweise auf Glasplatten „gesputtert“ (Kathodenzerstäubung). Bei diesem Prozess wird jedoch weniger als 30 % des Materials vom Target auf das Glas aufgebracht. Die restlichen ~70 % bleiben als „gebrauchtes“ ITO-Target und Prozessschlamm auf den Schilden der „Sputter“-Kammern zurück. Im ITO-Target-Prozess könnte schätzungsweise 70 % des benötigten Indiums durch Verfeinerung in der Wiederverwertung zurück gewonnen werden. Tatsächlich erreicht die Rückgewinnung von Indium aus dem Sputterprozess jährlich bereits nahezu 1.000 t und

übertrifft hiermit die Primärproduktion deutlich. Kapazitätserweiterungen des ITO-Target Recyclings wachsen derzeit nahezu parallel zur Produktion von Flachbildschirmen. Zudem wurde die Verarbeitungszeit im Recyclingprozess deutlich verringert und beträgt heute nur noch weniger als 30 Tage. Diese Zykluszeitverbesserung hat zur Folge, dass der Gesamtbedarf an „frischem“ Indium der gesamten Flachbildschirm-Industrie deutlich reduziert wurde.

Fazit: Neben den primären, heute bekannten Vorräten von 49.000 t Indium können rund 15.000 t Indium aus gelagerten Rückständen gewonnen werden (MIKOLAJCZAK 2009). Da heute nur ca. 35 % der jährlich aus primären Quellen anfallenden 1.500 t Indium genutzt werden, kann eine Erhöhung des Ausbringens das Angebot um 500 t bis 1.000 t jährlich erhöhen. Weitere ungenutzte Potenziale im Sputter-Prozess könnten durch verbessertes Recycling genutzt werden. Wir kommen daher zum Schluss, dass ausreichend Möglichkeiten zur Verfügung stehen, um den bis zum Jahr 2030 zusätzlichen jährlichen Bedarf von 1.677 t Indium für die von ANGERER et al. (2009) untersuchten Zukunftstechnologien Flachbildschirme, Photovoltaik sowie weiße LED's zu decken.

Scandium

Obwohl neue Anwendungen in zukünftigen Antriebszellen und in der Luftfahrt erwartet werden (ANGERER et al. 2009), liegen die Hauptanwendungsgebiete von Scandium-Komponenten und -Legierungen zurzeit noch in Scandium-Aluminium-Leichtmetalllegierungen für Sportausrüstungen (Golf- und Baseballschläger) sowie in Form von Scandiumiodid für Hochleistungs-Hochdruck-Quecksilberdampf lampen, beispielsweise zur Stadionbeleuchtung. Die Nutzung in Leichtmetalllegierungen geht allerdings durch verbesserte Substitutionsmöglichkeiten durch Kohlenfaserwerkstoffe zurück. Scandiumoxid dient der Erhöhung der Ummagnetisierungsgeschwindigkeit in magnetischen Datenspeichern. Als Legierungszusatz zeigt Scandium gefügestabilisierende und Korngrößenfeinende Effekte.

Während die weltweite Nachfrage nach Seltenen Erden seit Jahren stark ansteigt, sind der Bedarf, aber auch die Produktion an Scandium limitiert. Scandium ist ein klassisches Nebenprodukt; eine Bergwerksförderung existiert lediglich in China, Kasachstan, Russland und der Ukraine als Beiprodukt aus Seltenen Erden-, Titan- und Uranlagerstätten. Die derzeitige Weltproduktion an Scandiumoxid aus Bergbauproduktion wird auf

2 t (entsprechend 1,3 t Scandium), die zusätzliche aus russischen Althalden auf 3 t geschätzt.

Scandium (Sc) wird gemeinsam mit Yttrium und 15 Lanthaniden traditionell zur Gruppe der Seltene Erden-Metalle gezählt und ist ein klassisches Nebenelement in magmatischen Lagerstätten. Zwar ist Scandium in der Erdkruste weit verbreitet, mit Thortveitit existiert jedoch nur ein häufiger auftretendes Scandiummineral. Anreicherungen von Scandium sind aus oberflächennahen Verwitterungslagerstätten bekannt. Die Eigenschaften von Scandium ähneln dabei denen von Aluminium, es ist daher auch in einigen Lateriten stark angereichert. So enthält z.B. die Nyngan-Lateritlagerstätte in der australischen Provinz New South Wales neben erhöhten Gehalten an Nickel, Kobalt und Platin auch Gesamtressourcen von über 12 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 261 ppm Scandium, entsprechend einem Inhalt von 3.135 t Scandium.

Bedeutende Scandiumvorräte lagern nicht nur in Seltenen Erden- und Uranlagerstätten sowie Lateriten sondern auch in Halden von Wolfram-, Tantal-, Zinn-, aber auch anderen Erzen. Auch bei der Bauxitverarbeitung anfallende Rotschlämme enthalten erhöhte Mengen an Scandium. Durch die Aufbereitung von Halden können derzeit schon jetzt die USA, ohne eigene Primärproduktion, und wohl auch Russland ihren Scandiumbedarf problemlos abdecken. Die geringe mineralische Anreicherung und das disperse Auftreten erfordern jedoch einen aufwendigen und kostenintensiven Produktionsprozess. Die Wirtschaftlichkeit wird hierbei über das Hauptprodukt, den Preis für Scandium und die zur Verfügung stehenden Raffineriekapazitäten bestimmt.

Fazit: Die weltweite Verbreitung, die geringe Nachfrage, das hohe Potenzial in Lateriten, Halden und die Assoziation mit Lagerstätten stark nachgefragter Rohstoffe (Seltene Erden, Uran, Titan) zeigen, dass beim Scandium eine weltweite Verknappung nicht absehbar ist. Die bereits in Produktion befindlichen Uran- und Titanlagerstätten und auch die Halden von Bergwerken gewährleisten ein ausreichendes Angebot - auch bei einem deutlichen Anstieg der weltweiten Nachfrage auf 3 t im Jahr bis zum Jahr 2030.

Germanium

Für Germanium (Ge) existieren mannigfache potenzielle Anwendungen, die allerdings durch den hohen Preis eingeschränkt werden. Der Weltverbrauch betrug 2008 knapp 140 t Germanium, der zu 30 % durch

Recycling gedeckt wurde. Germanium wird zu etwa 35 % bei der Herstellung optischer Fasern, beispielsweise bei der Produktion von Glasfaserlichtleitern, zu 30 % in der Infrarottechnik (z. B. Nachtsichtgeräte für militärische Anwendungen), zu 15 % als Katalysator für die Herstellung von farblosen Kunststoffen (PET) und zu weiteren 15 % in der Elektronik verwendet. Weitere Anwendungsgebiete sind Photodetektoren im nahen Infrarotbereich, Zusätze zu fluoreszierenden Materialien im Lebensmittelbereich, Hochenergie-detektoren zur Messung von Gamma- oder Röntgenstrahlen und als Zytostatika in der Krebsbekämpfung. Gute Zukunftsperspektiven haben Solarzellen auf Germaniumbasis, die bei gleichem Gewicht dreimal effektiver sind als Solarzellen auf Siliziumbasis, sowie Hochleistungsmikroprozessoren auf Silizium-Germanium- und Germanium-Antimon-Tellur-Basis. Diese Anwendung wird voraussichtlich den traditionellen Einsatz von Germanium in der Elektronikindustrie, der zeitweise durch das billigere Silizium stark einbrach, wiederbeleben. Der Einsatz von Germanium als Legierungsmetall ist noch wenig erforscht.

Die Nachfrage nach Germanium war in der Vergangenheit sehr wechselhaft, vor allem in der Mikroelektronik. Starkes Wachstum wird in der Glasfaserkabelproduktion, aber auch bei anderen Zukunftstechnologien erwartet. Insgesamt wird der zukünftige Bedarf an Germanium allein in Zukunftstechnologien auf über das Doppelte des heutigen Gesamtverbrauchs geschätzt (ANGERER et al. 2009).

Germanium ist ein Halbmetall mit grauweißer, metallisch glänzender Farbe und ein Halbleiterelement. Ähnlich dem Gallium ist es dispers in der Erdkruste verteilt. Seine mittlere Krustenhäufigkeit ist sehr niedrig und seine dem Silizium ähnliche geochemische Stellung bedingt eine Affinität zu siliziumreichen Gesteinen. Anreicherungsprozesse zu abbauwürdigen Lagerstätten fanden in der Erdgeschichte nur sehr untergeordnet statt. Solche Anreicherungen finden sich in polymetallischen (meistens Zink-Blei±Kupfer) Sulfidlagerstätten sowie in Kohlen und Ligniten, dort gebunden an die organische Substanz (Vitrain). Flugaschen aus der Kohleverbrennung enthalten teilweise wirtschaftlich interessante Germaniumkonzentrationen.

Wesentliche Produktionsländer im Jahr 2006 waren China (ca. 100 t), USA (40 t) und Russland (max. 20 t).

Die meisten der 26 bekannten Germaniumminerale sind äußerst selten, daher wird Germanium heute vorwiegend als Beiprodukt der Verhüttung von Zink- und Kupfersulfid erzen gewonnen. Beispielsweise wurden aus der derzeit bedeutendsten Zinklagerstätte, Red Dog in Alaska, im Jahr 2008 insgesamt 580.000 t Zink produziert; die dortige Zinkblende enthält im Mittel 106 ppm Germanium, das bei der Verhüttung zum Teil mit ausgebracht wird. Die Zinkblende in der allerdings sehr kleinen Zink-Germanium-Lagerstätte Tres Marias (Nord-Mexiko) enthält sogar ca. 1.000 ppm Germanium. In Europa haben Zink-Blei-Lagerstätten in den Ostalpen ein gewisses Germaniumpotenzial (Bleiberg/Österreich: Mittelwert 193 ppm Germanium im Konzentrat), ebenso wie die kupferreichen Sulfid erzgänge im iberischen Pyritgürtel.

Buntmetallagerstätten vom Tsumeb-Kipushi-Typ in Namibia, Sambia und Katanga (DR Kongo) hatten bis etwa 1996 einen wichtigen Anteil der Weltproduktion an Germanium. Aus politischen und wirtschaftlichen Gründen sind diese Vorkommen derzeit inaktiv. Die Halden von Lubumbashi, inmitten des kongolesischen

Kupfergürtels, enthalten 15 Mio. t Schlacken mit 100-250 ppm Germanium und stellen somit eine signifikante Germanium-Reserve von 2.250 t Germanium dar. Große Halden mit Germanium reichen Schlacken (ca. 530 t Germanium-Inhalt) werden auch in Tsumeb/Namibia auf eine mögliche Extraktion von elektronischen Metallen hin untersucht. Eine Extraktion von Germanium aus afrikanischem Haldenmaterial wird in geringen Mengen (etwa 2,5 t pro Jahr) bereits in Finnland durchgeführt.

Derzeit erzeugt China etwa 80 % des weltweit angebotenen Germaniums. Die Produktion stammt zum Einen aus Zink-Blei-Sulfidlagerstätten, zum Anderen aus Kohlen. Bei einem Durchschnittsgehalt von 850 ppm enthält die Lignit-Lagerstätte Lincang in Yunnan mindestens 1.060 t Germanium. Sie war 2008 für 65 % der chinesischen Germaniumproduktion verantwortlich. Die Zink-Blei-Sulfidlagerstätte Huize in Yunnan enthält 500-600 t Germanium (HÖLL et al. 2007).

Tabelle 2: Übersicht über die derzeitige bzw. zu erwartende Produktion an Germanium in wichtigen Bergbauländern und -projekten.

Land	Lagerstätte	Typ	Ge-Gehalt (ppm)	Ge-Vorräte (t)	Status	Ge-Produktion (t/a)
DR Kongo	Kipushi	Sulfid erz	68	1.590	gestundet	
	Lubumbashi	Schlacke	100-250	2.250	geringe Produktion	2 (max. 20)
Kanada	Andrew, Yukon	Sulfid erz	174	88	Exploration	ca. 10 ⁴⁾
Mexiko	Tres Marias	Sulfid erz	150	150	Exploration	max. 10
Namibia	Tsumeb	Schlacke	260	530	Exploration	
Russland	Tarbagataisk	Kohle	53	340	Produktion	5 (max. 20)
	Pavlovsk		450	1.015	Exploration?	
	Shotovsk		1.043	880	Produktion	
	Bikinsk		300	2.600	Exploration?	
	Novikovsk		700	1.665	Produktion	
VR China	Huize	Sulfid erz		600	Produktion	100 ²⁾
	Jinding (Lanping)		10er	350?	Produktion?	
	Fankou		100(?)		Produktion	
	Lincang	Kohle	850	1.060	Produktion ¹⁾	
	Wulantuga		270	1.600	Produktion	
	Wumuchang		30-50	4.000	Exploration?	
Ukraine	Lugansk	Kohle			Produktion	20
USA	Red Dog, AK	Sulfid erz	15	3.000	Beiprodukt aus ZnS-Konzentrat	40 ³⁾
	Pend Oreille, WA					
	Gordonville, TN		400	5.000		
	Sentinel, ND	Kohle	40-70	287	Exploration	ca. 12
Usbekistan	Angrensk	Kohle	30	180	Produktion?	6
Summe				> 27.185		

¹⁾ 65 % der chinesischen Produktion (2007), ²⁾ Schätzung der Gesamtproduktion im Jahr 2008, ³⁾ volle Auslastung der Produktionskapazität erreicht, ⁴⁾ Nach derzeitiger Planung beträgt die Laufzeit der Bergbauproduktion nur sechs Jahre

Nach SEREDIN & FINKELMAN (2008) sind alleine in den metallhaltigen Kohlen Chinas, Russlands und Usbekistans 13.720 t Germanium enthalten. Gemeinsam mit den bekannten Mengen in Sulfiderzen und Schlacken aus der Sulfidverhüttung ergeben sich damit gewinnbare Gesamtvorräte an Germanium von über 27.000 t (vgl. Tab. 2).

LEUTWEIN & RÖSSLER (1956) wiesen auf das Germaniumpotenzial in einigen mitteldeutschen Kohlevorkommen hin. Die bei der Verbrennung rheinischer Braunkohlen anfallenden Filteraschen enthalten dagegen nur geringe Gehalte an Spurenelementen (4-25 ppm Gallium, 3-10 ppm Germanium) (frdl. mdl. Mitt. RWE Power AG). Eine zusammenfassende Darstellung der Gehalte an Germanium und anderer Spurenelemente in derzeit in Deutschland produzierten Kohlen und Kraftwerksaschen liegt jedoch nicht vor.

Die Datenbasis zur derzeitigen weltweiten Produktion, Raffinadekapazität, Raffinerieauslastung und vor allem auch dem Potenzial an ausbringbarem Germanium in zukünftigen Bergbauprojekten ist völlig unzureichend.

Sollten alle in Tab. 2 aufgeführten Länder bis zum Jahr 2030 ihre maximale Produktionskapazität erreicht haben bzw. bis dahin halten können, könnten dann jährlich rund 250 t Germaniummetall erzeugt werden. Dies entspricht der bereits heute vorhandenen weltweiten Raffinadekapazität von ca. 250 t. Zusätzlich ist die Versorgung des Marktes, wie bisher, mit rund 40 t Germanium aus Recycling zu erwarten. Diese Angebotsmenge von 290 t entspricht der für das Jahr 2030 vorhergesagten Nachfragemenge von 220 t für Zukunftstechnologien zuzüglich 70 t in anderen Einsatzbereichen.

Fazit: Bis zum Jahr 2030 ist eine Verachtfachung des Germaniumbedarfs aus Zukunftstechnologien möglich (ANGERER et al. 2009). Dieser Bedarf könnte bei maximaler Auslastung aller Kapazitäten und derzeit bekannten Potenziale abgedeckt werden (Tab. 2). Die aktuelle Situation der Bergbauproduktion bedingt durch eine hohe Länderkonzentration (im Wesentlichen China, USA, Ukraine und Russland) ein erhöhtes Länder- und somit auch Lieferisiko. Zudem ist China an den US-amerikanischen Lagerstätten Red Dog und Pend Oreille finanziell beteiligt. Aufgrund dieser auch zukünftig eher angespannten Versorgungssituation ist langfristig ein deutlicher Preisanstieg für Germanium möglich. Als Gegenmaßnahmen wären Optimierun-

gen bei der Aufbereitung Germanium reicher Konzentrate, weitere Recyclingpotenziale sowie speziell in Deutschland die Verfügbarkeit von Germanium in heimischen sowie Importkohlen zu prüfen.

Neodym

Neodym (Nd) ist unverzichtbarer Bestandteil in hochwirksamen Magneten, wie sie in Kernspintomographen, Mikromotoren, Computerfestplatten, Dauermagnet-Rotoren, z. B. permanent erregten Gleichstrommaschinen zum Antrieb von Elektro- und Hybridfahrzeugen, Verwendung finden. Neodymsalze und -oxide werden zudem zum Färben von Emaille, Porzellan und Glas eingesetzt. Das Element ist weiterhin Bestandteil des industriell weitverbreiteten Neodym dotierten Yttrium-Aluminium-Granat-Lasers zum Bohren, Schweißen und Schneiden von Metallen.

Neodym ist ein silbrigweiß glänzendes Metall aus der Gruppe der Lanthaniden, die wiederum, zusammen mit Yttrium und Scandium (s.o.), unter der Bezeichnung Seltene Erden (SE) zusammengefasst werden. Von den 17 Elementen der SE ist Neodym nach Cer das Zweithäufigste. Neodym steht auf Platz 27 der Häufigkeit der Elemente in der kontinentalen Erdkruste, noch vor Blei und weit vor Zinn, Wolfram oder den Edelmetallen.

China produzierte im Jahr 2007 Erze mit einem Inhalt von rund 120.000 t Seltene Erdoxide (SEO) und dominierte mit einem Anteil von ca. 97 % den Weltmarkt. Nach HEDRICK (2009) wurden im gleichen Jahr rund 54.400 t SE-Verbindungen und -Metalle von China exportiert. Die Exportquote betrug 59.650 t SEO-Äquivalent und damit rund die Hälfte der Bergbauproduktion (KINGSNORTH 2009). Staatliche Vorgaben für Abbaubegrenzungen wurden bisher nicht eingehalten, doch ist dies aufgrund strengerer Kontrollen zukünftig zu erwarten (ASIAN METAL LTD. 2009).

Die beiden wichtigsten SE-Minerale, aus denen Neodym kommerziell gewonnen wird, sind das SE-Phosphat Monazit (Ce,La,Nd,Th)[PO]₄ und das SE-Fluorkarbonat Bastnäsit (Ce,Y,La)(CO₃)F.

Monazit tritt vor allem in Seifen auf und ist dann stets radioaktiv, da es zwischen 6-8 % ThO₂ und bis zu 0,5 % U₃O₈ enthält. Aufgrund der mit dieser Radioaktivität verbundenen Umweltproblematik wird Monazit seit vielen Jahren nicht mehr als wichtiges Wertmineral betrachtet und daher in fast allen Schwermineralgewinnungsbetrieben weltweit – mit Ausnahme

Indiens, Malaysias und Brasiliens – verworfen. Die Produktionszahlen an Monazit in Indien sind, da aus diesem Mineral Kernbrennstoffe von strategischer Bedeutung gewonnen werden, vertraulich. Sie werden jedoch für das Jahr 2007 auf rund 3.000 t geschätzt. Brasilien produzierte im Jahr 2007 1.173 t Monazit, Malaysia 682 t.

Nicht radioaktiver Monazit und vor allem Bastnäsit sind die Wertminerale in teils an SE angereicherten, magmatischen Karbonatitkörpern. Weltweit gibt es hiervon mehrere, zum Teil sehr große, von denen der Bedeutendste Bayan Obo in der Inneren Mongolei ist. Das Vorkommen Bayan Obo ging 1984 in Produktion. Ebenfalls in China stehen seit 1989 die Bastnäsit-Vorkommen Maoniuping in der Provinz Sichuan sowie schon seit den 1970er Jahren Weishan in der Provinz Shandong im Abbau. Die Gewinnung von SE aus Ionen-Adsorptionstonen in lateritischen Verwitterungskrusten in Südchina runden das Bild ab.

Der Anteil an Nd_2O_3 an den SEO beträgt im

- Seifenmonazit: 15,7 - 18,5 % (55 – 62 % SEO im Mineral),
- Bastnäsit aus Bayan Obo/China: 18,5 % (6 % SEO im Erz)
- Bastnäsit aus Mountain Pass/Kalifornien: 12,0 % (9,3 % SEO im Erz)
- Monazit von Mt. Weld/Australien: 18,5 % (9,7 % SEO im Erz)

- Ionen-Adsorptionston in Südchina: 3-31,7 % (1,0 % im Erz)

Aufgrund der zu erwartenden hohen Nachfrage nach Seltenen Erden, darunter Neodym, verbunden mit einer Drosselung sowohl der Produktion als auch der Exporte aufgrund zunehmenden Eigenbedarfs Chinas, befinden sich zahlreiche SE-Vorkommen in verschiedenen Stadien der Exploration oder sogar schon im Aufschluss. Einen Überblick über die gegenwärtigen bekannten Projekte gibt Tab. 3.

Die in Tab. 3 aufgeführten Projekte könnten im Jahr 2030 zusätzlich ca. 20.000 t Nd_2O_3 liefern. Zusätzlich wäre bis 2030 ohne große Probleme bei steigenden Preisen trotz Radioaktivität auch eine Wieder- bzw. Neuaufnahme der Produktion von Seifenmonazit in Australien, Indonesien, Madagaskar, Malawi, Mosambik, Namibia, Rep. Südafrika, Senegal, Sri Lanka, Vietnam und den USA möglich. Die publizierten Gesamtbestände an Seifenmonazit in den Schwermineralvorkommen dieser Länder betragen >2 Mio. t mit >200.000 t Nd_2O_3 -Inhalt. Die jährliche Monazitproduktion im Jahr 2030 aus diesen Ländern, einschließlich Brasilien und Malaysia, kann auf rund 20.000 t mit einem Inhalt von ca. 2.000 t Nd_2O_3 vorhergesagt werden.

Ein nennenswertes Recycling von Seltenen Erden findet derzeit noch nicht statt.

Tabelle 3: Übersicht über die zu erwartende Produktion an Seltenen Erden in wichtigen Bergbauländern und -projekten.

Land	Lagerstätte	Erzvorräte (Mio. t)	SEO-Gehalt (%)	Status	Prod. Ziel SEO (t/a)	davon Nd_2O_3 (t/a)
USA	Mountain Pass	50	8-9	Vorbereitung zur Wiederaufnahme der Produktion	20.000	2.500
Australien	Mt. Weld	7,7	11,9	im Aufschluss	21.000	3.900
	Nolans	30,3	2,8	Pre-Feasibility Studie, Pilotanlage	20.000	4.300
	Dubbo	73,2	0,89	Exploration	3.200	450
	Cummins Range	4,17	1,72	Exploration	?	?
Indien	Manavalakurichi, Chavara u.a.	8	57	Beiprodukt, Steigerung	7.000	735
Malawi	Kangankunde	2,53	4,24	Exploration	5.000	700
Kanada	Hoidas Lake	1,4	2,5	Exploration	4.000	875
	Thor Lake	61,15	2,05	Exploration	5.000	945
Grönland/ Dänemark	Kvanefjeld	457	1,07	Pre-Feasibility Studie	43.729 ¹⁾	5.640
Vietnam	verschiedene	>9	4-5	Vorbereitung	?	?
Mongolei	verschiedene	25	0,5-3	Exploration	?	?

¹⁾ nur 34 % Ausbringen in derzeitigen Aufbereitungsversuchen

Fazit: Unter Berücksichtigung der bisher bekannten Projekte werden bis zum Jahr 2030 durch Bemühungen der Rohstoff gewinnenden Industrie zusätzlich maximal ca. 22.000 t Neodymoxid jährlich, entsprechend ca. 18.800 t Neodym, für den Weltmarkt zur Verfügung stehen (Tab. 3). Selbst unter der Grundvoraussetzung, dass das grönländische Projekt Kvanefjeld in Produktion gebracht wird (Vorschlag: 2015), wird dies nicht ausreichen, um die von ANGERER et al. (2009) vorausgesagte Bedarfslücke von 23.900 t Neodym für die berücksichtigten Zukunftstechnologien Laser, Hochleistungs-Permanentmagnete sowie elektrische Traktionsmotoren für Fahrzeuge abzudecken. Da sich bis 2030 jedoch die chinesische Bergbauproduktion aufgrund stringenterer Kontrolle der Abbaubegrenzungen vermutlich deutlich verringert haben wird, wird diese Bedarfslücke wahrscheinlich größer ausfallen. Zusätzlich plant China weitere Exportbeschränkungen bei Seltenen Erden.

Tantal

Tantal (Ta) ist ein wichtiger Rohstoff für sehr kleine Kondensatoren mit hoher Kapazität, sogenannten Elektrolytkondensatoren (Elkos), die derzeit etwa 60 % des Tantalverbrauchs ausmachen. Elkos kommen in der Fahrzeugelektronik, in Laptop-Computern, Mobiltelefonen, Digitalkameras und Pagem zum Einsatz. In der Zukunft wird ein Zuwachs tantalbasierter Kondensatoren vor allem in der Raumfahrt- und Luftfahrtindustrie prognostiziert. Ein erbitterter Kampf um Rohstoffpreise führte in jüngster Zeit zu erheblichen Anstrengungen, Tantal in der Kondensatorenherstellung zu substituieren; dabei sind Niob, Aluminium und keramikbasierte Produkte zu nennen.

Weitere Verwendung finden Tantalprodukte als Tantalcarbide in der chemischen und als Superlegierungen in der metallurgischen Industrie. Als Legierungszusatz wird es zur Herstellung karbidhaltiger Werkzeug- und Schneidstähle, zur Herstellung von Superlegierungen, für Komponenten in der chemischen Prozessindustrie, Nuklearreaktoren und für Raketenteile verwendet. Als duktile Legierung kann Tantal zu Feindraht gezogen werden. Ebenso wird Tantal zur Herstellung von hochschmelzenden und hochfesten Legierungen eingesetzt. Tantaloxid wird für Spezialgläser mit einer hohen Brechzahl, beispielsweise für Kameralinsen, verwendet. Metallisches Tantal wird für Komponenten im Vakuumofenbau benötigt. Tantalpentoxid Ta_2O_5 wird zur Herstellung hochlichtbrechender Gläser und spezieller Kristallmaterialien verwendet. Da das Metall ungiftig und gegen Körperflüssigkeiten inert ist, wird

es auch für Implantate, etwa als Knochennagel, eingesetzt.

Tantal-Pulver mit nanoskaligen Primärteilchen ermöglicht die Herstellung von Kondensatoren, deren elektrisches Speichervermögen zwei- bis dreifach höher ist als das derzeit erreichbare.

Die primäre Bergbauproduktion von etwa 1.900 t Ta_2O_5 wurde bis 2009 zu über 75 % durch Australien (50-60 %), Brasilien (20 %) und Kanada (5 %) gedeckt. Seit einem rapiden und unerwarteten Preisanstieg im Jahr 2000 stellen afrikanische Länder zunehmend größere Kontingente an tantalhaltigen Konzentraten zur Verfügung. Bedingt durch den Rückzug mehrerer wichtiger Bergbauproduzenten (Talison, Australien; Noventa, Mosambik; Tanco, Kanada) haben sie 2009 die Hauptmenge der Tantalerze gewonnen. Neben kleineren, aber kontinuierlich produzierten Anteilen aus Mosambik und Äthiopien werden derzeit die größten Mengen an Tantal dementsprechend im artisanalen Bergbau gewonnen, vor allem in der DR Kongo, Ruanda, Nigeria, aber auch in Simbabwe, Burundi, Uganda, Elfenbeinküste, Sierra Leone und Namibia.

Geringe Tantalmenngen werden auch als Beiprodukt der Niobproduktion aus Pyrochlor in Karbonatitkomplexen, beispielsweise aus Brasilien und Kola-Halbinsel/Russland, gewonnen. Des Weiteren wird Tantal bereits seit mehreren Jahren aus Rückständen der Zinnerzproduktion in Südostasien extrahiert; derzeit beläuft sich die Menge jährlich auf etwa 500 t Tantal. So liegt beispielsweise der Gehalt an Ta_2O_5 in den Zinnschlacken der Thaisarco/Thailand zwischen 8 und 12 %.

Tantal ist ein duktiler, graphitgraues, glänzendes Metall mit hohem Schmelzpunkt (3017°C). In der Erdkruste ist es ein seltenes Element und tritt in wirtschaftlich interessanten Konzentrationen (etwa >200 ppm Ta_2O_5) ausschließlich in spezialisierten, sogenannten Selten-Element-Graniten und deren grobkörnigen Restdifferentiaten, den Pegmatiten, auf. In diesen Gesteinen findet sich Tantal häufig gemeinsam mit Niob, Zinn, Scandium, Uran und Seltenen Erdelementen. Wichtigste Tantalminerale sind die Glieder der Columbit-Tantalitreihe $(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$, gefolgt von Tapiolit $FeTa_2O_6$, Wodginit $(Mn,Sn,Ti)Ta_2O_6$ und Mikrolith $Ca_2Ta_2O_6(O,OH,F)$.

Die wahrscheinlichen weltweiten Tantalvorräte werden mit 700 Mio. Pfund Ta (317.000 t) angegeben (BURT 2010). Sie befinden sich vor allem in Südamerika

(41 %), Australien (21 %) und Afrika (16 %). Die möglichen Ressourcen liegen bei 400.000 t und verteilen sich auf Lagerstätten in Apograniten (61 %), Granitpegmatiten (25 %), Karbonatiten und Seifenvorkommen (7 %).

Mit Abu Dabbab in Ägypten wird ein bedeutendes Tantalprojekt etwa 2010 in Produktion gehen; eine Jahresproduktion von 300 t Ta_2O_5 ist geplant, die Ägypten zum dann größten industriellen Tantalproduzenten machen würde. Weitere fortgeschrittene Explorationsobjekte finden sich in Kanada, Saudi-Arabien, China, Brasilien und Mosambik (s. Tab. 4).

Der Recyclinganteil, derzeit im Wesentlichen aus Tantalcarbiden, Legierungen und Flugzeugantrieben, deckt bereits etwa 20 % des Bedarfs - mit steigender Tendenz.

Fazit: Die zukünftige Versorgung mit Tantal ist durch die bereits heute bekannten Ressourcen von 224.000 t Ta_2O_5 , entsprechend 187.500 t Tantal, zahlreiche Bergbauprojekte, die zusätzliche Verfügbarkeit in Zinnschlacken und den Möglichkeiten im Recyclingsektor prinzipiell gegeben (FETHERSTON 2004).

Allerdings sind viele Erzkörper aufgrund ihrer geringen Ausdehnung oder niedrigen Gehalte derzeit nicht ökonomisch abbaubar und auch mehrere Bergwerke gestundet. Die weiterhin niedrigen Tantalpreise begünstigen derzeit die artisanale Gewinnung aus eluvialen und alluvialen Seifen in tropischen und subtropischen Ländern (Zentralafrika, Brasilien).



Abb. 2: Abbau auf Tantalzerze in Wodgina/Australien, Foto BGR

Tabelle 4: Übersicht über die derzeitige bzw. zu erwartende Produktion an Tantal in wichtigen Bergbauländern und -projekten (ohne Kleinbergbau).

Land	Lagerstätte	Ta ₂ O ₅ -Gehalt (ppm)	Ta ₂ O ₅ -Vorräte (t)	Status	Ta ₂ O ₅ -Produktion (t) 2007
Aktive bzw. gestundete Bergwerke					
Äthiopien	Kenticha	220		in Produktion	54
Australien	Wodgina ¹⁾	270	23.300	gestundet	590
	Bald Hill	435	90	gestundet	0
	Greenbushes	157	27.000	gestundet	0
	Mount Cattlin			in Produktion ⁷⁾	0
Brasilien	Pitinga			in Produktion	91
	Mibra	388	2.830	in Produktion	45
China	Yichun, Jiangxi	200	6.800	in Produktion	58
	Nanping, Fujian	300	4.230	in Produktion	53
Kanada	Tanco ^{1),2)}	216		gestundet	55
Mosambik	Marropino ^{1),3)}	235	2.600	gestundet	134
Projekte					
Ägypten	Nuweibi ⁵⁾	143	14.000	konzeptionell	
	Abu Dabbab ⁵⁾	252	10.080	Feasibility	Plan: 300
Australien	Binneringie		230		
Brasilien	Caiçara	432	75	Prefeasibility	
China	Suzhou, Jiangxi		6.700		
	Xianghualing, Hunan		5.500		
	Boluo, Guangdong		5.450		
	Jinzhunong, Hunan		3.100		
	Hengfeng, Jiangxi		3.000		
	Limu Shuiximao, Guangxi		2.200		
	Keketuohai, Xinjiang		1.050		
	Aletsi, Xinjiang		300		
Finnland	Rosendal	255	270	konzeptionell	
Grönland	Motzfeldt	300-1.000	15.000-50.000	konzeptionell	
Kanada	Upper Fir ^{4), 6)}	217	2.900	konzeptionell	
	Verity ⁶⁾	196	680	konzeptionell	
Mosambik	Morrua		3.600	Feasibility	
	Mutala		2.400		
	Muiane	320	640		
Saudi-Arabien	Ghurayyah	245	94.325	Prefeasibility	Plan: 270
USA	McAllister, Alabama		550		
SUMME⁸⁾			224.000		

¹⁾ keine Produktion 2009

²⁾ Produktion für 2007

³⁾ Produktion für 2008, Wiedereröffnung geplant für April 2010

⁴⁾ Reservenbasis Januar 2010

⁵⁾ Gesamtvorräte

⁶⁾ Teil des Blue River Projekts

⁷⁾ Eröffnung November 2009

⁸⁾ nach BURT (2010)

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Studien über den Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien geben wertvolle Hinweise auf mögliche Bedarfsänderungen bei mineralischen Rohstoffen. Besonders hohe Nachfragezuwächse wurden in einer Studie von ANGERER et al. (2009) für Gallium, Indium, Scandium, Germanium, Neodym und Tantal ermittelt. Für diese Elektronikmetalle legt die BGR hiermit eine erste Einschätzung des Lagerstättenpotenzials und der Verfügbarkeit bis 2030 vor (s. Tab. 5).

Das Ergebnis der Untersuchungen legt nahe, dass für Indium, Scandium und Tantal auch bei stark zunehmender Nachfrage keine Versorgungsengpässe zu erwarten sind.

Für eine auch zukünftig ausreichende Versorgung mit Gallium bräuchten zunächst nur die Raffinadekapazitäten für die bereits heute übliche Galliumgewinnung aus Bauxiten erhöht werden.

Auch das Ausbringen könnte durch Innovationen im Bereich Forschung und Entwicklung verbessert werden.

Für Germanium besteht nach derzeitigem Kenntnisstand ein erhöhtes Versorgungsrisiko, verstärkt durch ein leicht erhöhtes Länderrisiko der Produktion, das vermutlich auch bei Umsetzung aller derzeitigen alternativen Versorgungsansätze bestehen bleiben wird. Eine Untersuchung des Recyclingpotenzials sowie des Potenzials an Germanium und evtl. anderer seltener Spurenelemente in Rohstoffvorkommen weltweit erscheint daher sinnvoll. Hierbei sind für Deutschland besonders die Potenziale in heimischen und Importkohlen von Interesse.

Für Neodym (und andere in der Studie nicht näher untersuchte Seltene Erden, speziell Dysprosium, Terbium und Praseodym) wird selbst dann bis zum Jahr 2030 ein Versorgungsengpass eintreten, wenn das Großprojekt Kvanefjeld in Grönland in Produktion gebracht wird. Wie die sich entwickelnde Angebotslücke geschlossen werden kann, ist zurzeit nicht absehbar.

Deutsche Unternehmen sollten sich bezüglich Germanium und Seltene Erden frühzeitig alternative Lieferquellen aufbauen, um die Versorgung innerhalb der Lieferkette zu sichern und Preisrisiken bei Rohstoff- und Produktionseinkäufen abzufedern.

Tabelle 5: Globaler Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien im Jahr 2030 im Verhältnis zur Weltproduktion (t) im Jahr 2006 und Angebotspotenzial bis 2030.

Rohstoff	Produktion 2006	Bedarf 2030	Angebotspotenzial bis 2030
Gallium	152 ¹⁾	603	Beiprodukt der Al-Gewinnung; 200 Mio. t Bauxit/J. @ Ø 50 ppm Ga und 40 % Ausbringen: 4.000 t Ga/a
Indium	581	1.911	Beiprodukt der Pb-Zn-/Cu-/Sn-Gewinnung; nicht genutzte Hütten-Rückstände: 15.000 t In + 500 t In/a; Erhöhung des Ausbringens: zusätzlich 500-1.000 t/a; Recyclingpotenzial im Sputterprozess 70 %
Scandium	1,3-2 ²⁾	3	Australische Ni-Co-Pt-Lagerstätte Nyngan mit 3.135 t Sc-Vorräten; erhöhte Sc-Potenziale in Bergbauhalden von U/SE/Ti/W/Ta/Sn u.a.
Germanium	100	220	Geplante Bergbauprojekte mit zusätzlich ca. 250 t Ge/a
Neodym	16.800	27.900	Geplante SE-Bergbauprojekte mit zusätzlich ca. 20.000 t Nd ₂ O ₃ /a; darüber hinaus ca. 2.000 t Nd ₂ O ₃ /a aus Monazitseifen
Tantal	1.384	1.410	Zahlreiche geplante Bergbauprojekte werden aufgrund Preisverfalls derzeit nicht weiterentwickelt. Vorratssituation unbedenklich.

¹⁾ Annahme voller Produktion in China und Russland

²⁾ nach Schätzungen zwischen 1,3 und 2 t aus Bergbauproduktion

Literatur

- ANGERER, G., MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F., LÜLLMANN, A., ERDMANN, L., SCHARP, M., HANDKE, V. & MARWEDE, M. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien.- Studie des Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI und des Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT gGmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie: 383 S., 89 Abb., 163 Tab.; Karlsruhe, Berlin.
- ASIAN METAL LTD. (2009): 2008 Annual Report on Rare Earth Market: 23 S.; Pittsburgh, Beijing.
- BURT, R. (2010) Tantalum - a rare metal in abundance?- T.I.C. Bulletin, 141: 2-7; Brüssel.
- FETHERSTON, J.M. (2004): Tantalum in Western Australia.- Geological Survey of Western Australia, Mineral Resources Bulletin, 22: 162 S., 32 Tab., 1 Taf.; Brisbane.
- HEDRICK, J.B. (2009): Rare Earths.- USGS Minerals Yearbook 2007: 60.1-60.19; Reston, VA.
- HÖLL, R., KLING, M. & SCHROLL, E. (2007): Metallogensis of germanium - a review.- Ore Geology Reviews, 30: 145-180, 1 Abb., 9 Tab.; Amsterdam.
- JASKULA, B. W. (2010): Gallium.- USGS Mineral Commodity Summaries January 2010: 58-59; Reston, VA.
- KINGSNORTH, D.J. (2009): „The Rare Earths Market: Can supply meet demand in 2014?“. - Präsentation PDAC 2009; Toronto.
- LEUTWEIN, F. & RÖSLER, H. J. (1956): Geochemische Untersuchungen an paläozoischen und mesozoischen Kohlen Mittel- und Ostdeutschlands.- Freiburger Forschungshefte, C19: 67 Abb., 95 Tab.; Berlin.
- MIKOLAJCZAK, C. (2009): Availability of Indium and Gallium.- Indium Corporation of America: 4 S.; Utica, NY.
- SREDIN, V. V. & FINKELMAN, R. B. (2008): Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types.- International Journal of Coal Geology, 76, 4: 253-289, 33 Abb., 18 Tab.; Amsterdam.

Hannover, den 22.04.2010

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN
UND ROHSTOFFE
Stilleweg 2
D-30655 Hannover
Telefax: 0511 - 6 43 36 61

Harald.Elsner@bgr.de
Tel. 0511 - 6 43 23 47

Frank.Melcher@bgr.de
Tel. 0511 - 6 43 25 62

Ulrich.Schwarz-Schampera@bgr.de
Tel. 0511 - 6 43 22 32

Peter.Buchholz@bgr.de
Tel. 0511 - 6 43 25 18