

## DAS MINERALISCHE ROHSTOFFPOTENZIAL DER ARKTIS

Harald Elsner, Henrike Sievers, Michael Szurlies und Hildegard Wilken

### 1 EINLEITUNG

Der internationale Wettbewerb um Rohstoffe und der seit Anfang dieses Jahrtausends signifikant zunehmende Rohstoffbedarf insbesondere Chinas äußern sich in steigenden und volatilen Preisen sowie Bedenken bezüglich möglicher Versorgungsrisiken. Auf der Suche nach neuen Rohstoffquellen, als Beitrag zur Sicherung der globalen Rohstoffversorgung, sind in den letzten Jahren nun auch die Rohstoffe der Arktis verstärkt ins Blickfeld von Wirtschaft und Politik geraten. Der wesentliche Grund dafür ist die Klimaveränderung in der Arktis und damit verbunden eine wachsende geopolitische und geoökonomische Bedeutung dieser Region, was auch in den jüngst erschienen Leitlinien deutscher Arktispolitik zum Ausdruck kommt (Auswärtiges Amt 2013). Aufgrund extremer Temperaturen, dem Auftreten von Permafrost, ausgedehnter Mooregebiete sowie langer Polarnächte, wird die Erkundung des mineralischen Rohstoffpotenzials der Arktis sowie die Errichtung von Bergwerken jedoch weiterhin vor enorme Herausforderungen gestellt.

Vor diesem Hintergrund hat die BGR im Zeitraum von 2010 bis 2012 umfangreiche Informationen zu den mineralischen Rohstoffen (Metalle und Industriemineralien) der kontinentalen arktischen Regionen zusammengetragen und auch das Rohstoffpotenzial bewertet. Die Ergebnisse wurden zwischenzeitlich in vier Regionalstudien publiziert:

- Das mineralische Rohstoffpotenzial Grönlands (ELSNER 2010)
- Das mineralische Rohstoffpotenzial der nordeuropäischen Arktis (ELSNER 2012)
- Das mineralische Rohstoffpotenzial der russischen Arktis (URAZOVA & BUCHHOLZ 2012)
- Das mineralische Rohstoffpotenzial der nordamerikanischen Arktis (KLIMESCH 2012)

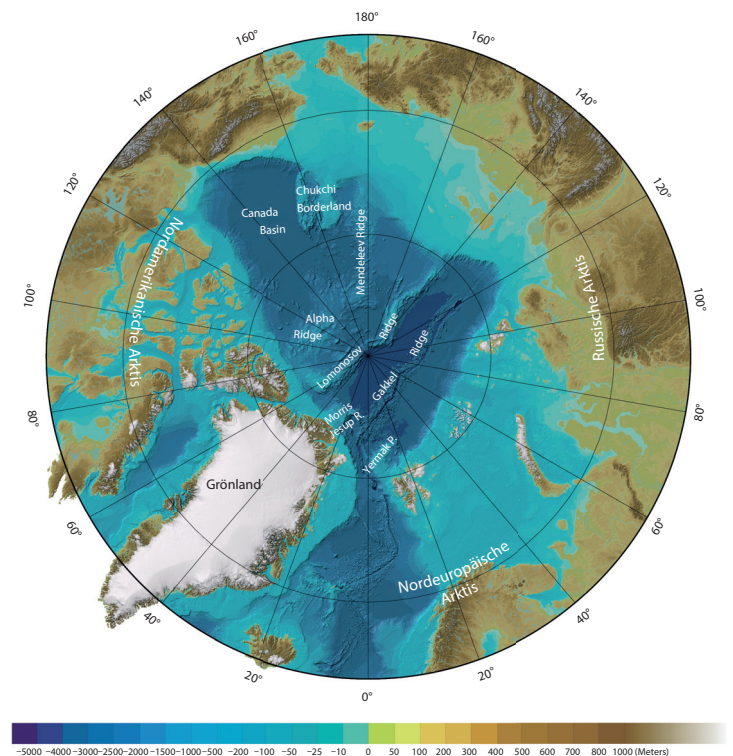


Abb. 1: Karte der arktischen Regionen (verändert nach JAKOBSSON et al. 2012)

Der vorliegende Beitrag in der Reihe Commodity TopNews der BGR fasst diese vier Studien zusammen und ergänzt ihn durch aktualisierte Firmendaten. Er gibt einen Überblick über die rohstoffwirtschaftliche Bedeutung der Arktis sowie das Potenzial ausgewählter mineralischer Rohstoffe und schließt mit einer zusammenfassenden Bewertung.

## 2 DIE ROHSTOFFWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DER ARKTIS

### Nordskandinavien

Der arktische Gebietsanteil Skandinaviens ist überaus reich an Rohstoffen. In Finnland ist bisher nur ein kleiner Teil der zu erwartenden zahlreichen Vorkommen exploriert. Im Gegensatz hierzu kann der lagerstättengeologische Kenntnisstand in Norwegen und Schweden als gut bis sehr gut eingestuft werden. In diesen Ländern sind daher zukünftig wesentlich weniger Neuentdeckungen zu erwarten, vielmehr wird sich die Exploration dort weitgehend auf die genauere Untersuchung bereits bekannter Lagerstätten konzentrieren. Island hingegen ist aufgrund seiner Geologie arm an abbauwürdigen Rohstoffvorkommen.

Die traditionellen europäischen Bergbauländer Norwegen und Schweden tragen auch mit ihren arktischen Landesteilen bereits seit vielen Jahrzehnten zur Rohstoffversorgung Europas und damit auch Deutschlands bei. Schweden und Finnland sind innerhalb der EU bedeutende Förderländer von Metallerzen. So steht z. B. bei Kiruna (Schweden) bereits seit 1898 der große Eisenerzkörper von Kirunavaara im Abbau.

### Grönland

Grönland besitzt auch im globalen Maßstab ein erhebliches Rohstoffpotenzial. So zählen die Vorkommen von Gold, Platin/Palladium, Seltenen Erden, Uran und Strontium zu den größten der Welt. Insgesamt gesehen ist das mineralische Rohstoffpotenzial Grönlands noch nicht vollständig exploriert, obwohl dort bereits zahlreiche Unternehmen

in der Rohstoffexploration tätig waren oder aktiv sind.

Bislang gab es auf Grönland nur einen geringen Rohstoffabbau, da die hohen logistischen Anforderungen und die damit verbundenen sehr hohen Kosten einen nennenswerten Abbau verhinderten und zwischenzeitlich auch die letzten aktiven Abbauvorhaben zum Erliegen brachten. Das extreme Klima und insbesondere auch das Fehlen jeglicher Infrastruktur (d. h. hohe Explorations-, Erschließungs- und Abbaukosten), der Mangel an Fachpersonal, die sehr hohen und ständig steigenden Energiekosten sowie die hohen ökologischen Risiken erschweren auch weiterhin den Bergbau.

### Russische Arktis

Die russische Arktis, zumindest östlich der Kola-Halbinsel, ist – von wenigen Ausnahmen abgesehen – noch weitgehend unterexploriert, so dass sich das wirkliche Potenzial dieser Region gegenwärtig nur schwer abschätzen lässt. Aufgrund der geologischen Vielfalt dieses Gebiets sind hier aber zahlreiche Lagerstätten zu erwarten. Grundsätzlich ist die Informationsbasis zu Rohstoffvorkommen und Explorationsaktivitäten in der russischen Arktis – zumindest in der englischsprachigen Literatur – im Vergleich zu den übrigen Gebieten der Arktis eher gering.

Aufgrund der weltweit hohen Rohstoffnachfrage hat das Interesse an der Erkundung neuer Rohstoffvorkommen auch in der russischen Arktis zugenommen. Derzeit gibt es bereits etwa 20 aktive Bergwerksbetriebe nördlich des Polarkreises. Große Bergbaudistrikte liegen hier insbesondere auf der Kola-Halbinsel und in Sibirien.

Die russische Arktis ist insgesamt reich an Eisen, Bunt- und Edelmetallen sowie seltenen Metallen, Diamanten und Düngemittelrohstoffen. Hier liegt der überwiegende Teil der russischen Rohstoffreserven, vor allem an Platingruppenmetallen, Diamanten, Apatit, Nickel, Seltenen Erden, Silber, Aluminium, Quecksilber, Antimon, Kupfer, Zinn, Wolfram, Gold und Kobalt.

### Nordamerikanische Arktis

Alaska und die nördlichen Provinzen Kanadas blicken auf eine lange Bergbautradition zurück, die mit der Entdeckung von Goldlagerstätten begann, woraus beginnend am Ende des 19. Jahrhunderts vielerorts in der nordamerikanischen Arktis (z. B. Klondike) ein Goldrausch resultierte. Neben Gold werden in der nordamerikanischen Arktis u. a. auch Blei und Zink gewonnen. Der Bergbausektor trägt dort auch heute noch wesentlich zum Bruttoinlandsprodukt (BIP) bei. So betrug in den letzten Jahren der Anteil der Bergbauindustrie am BIP Alaskas insgesamt etwa 4 %, wovon ca. 75 % aus dem Metallerzbergbau resultierten. In den Northwest-Territorien Kanadas hatte die Rohstoff gewinnende Industrie (mineralische und Energierohstoffe) zuletzt einen Anteil von ca. 33 % am BIP. Allerdings sind große Gebiete der nordamerikanischen Arktis bislang nur unzureichend exploriert und somit ist ihr Rohstoffpotenzial zum Teil noch unbekannt.

In der kanadischen Arktis kommt der indigenen Bevölkerung bei der Verwaltung und Nutzung der natürlichen Ressourcen eine besondere Rolle zu. Sie leben vor allem von der Jagd und vom Fischfang, also von Aktivitäten, die durch mögliche Bergbauprojekte beeinträchtigt werden könnten.

## 3 DAS MINERALISCHE ROHSTOFFPOTENZIAL DER ARKTIS

Die arktischen Regionen verfügen über zahlreiche im Weltmaßstab bedeutende Vorkommen an mineralischen Rohstoffen, insbesondere an Metallrohstoffen und Industriemineralen. Im Folgenden wird dieses Potenzial für alle wichtigen Rohstoffe näher beschrieben.

### Hochtechnologie-Metalle

Die gesamten grönländischen Vorräte an **Seltenen Erden** reichen aus, um den gegenwärtigen Weltbedarf für etwa 150 Jahre zu decken. So besitzt Grönland mit Kvanefjeld (Südgrönland) das drittgrößte Seltene-Erden-Vorkommen der Erde. Allerdings ist dieses Vorkommen eher reich an

den sogenannten leichten Seltenen Erden, für die es auf dem globalen Markt gegenwärtig ein Überangebot gibt. Zudem ist das dortige Seltene-Erden-Erz stark radioaktiv. Ursprünglich errechnete Erschließungskosten von 2,3 Mrd. US\$ machten Kvanefjeld über mehrere Jahre zum weltweit teuersten Seltene-Erden-Projekt der Welt.

Das ebenfalls in Südgrönland gelegene Vorkommen Kringlerne (auch TANBREEZ genannt, nach den englischen Bezeichnungen der enthaltenen Wertminerale **Tantal**, **Niob**, Seltene Erden und Zirkon) hingegen, enthält wesentlich mehr der gesuchten schweren Seltenen Erden und ist kaum radioaktiv. Durch seine enormen Ausmaße ist es das derzeit weltweit größte bekannte Vorkommen an schweren Seltenen Erden. Positiv kommt hinzu, dass Kringlerne näher an der Küste liegt und dass die Genehmigungsunterlagen für dieses Vorkommen bereits vollständig sind, so dass der Abbau, so sich Investoren finden, zeitnah realisiert werden könnte.

Die bisher größte bekannte grönländische Anreicherung an Tantal und Niob, ist das Anfang der 1980er Jahre entdeckte Motzfeldt-Vorkommen in Südgrönland. Die geschätzten Vorräte betragen lokal ca. 50 Mio. t Pyrochlorerz, mit Gehalten von 0,03 bis 0,10 % Tantaloxid ( $Ta_2O_5$ ) bzw. ca. 130 Mio. t Pyrochlorerz, mit Gehalten von 0,4 bis 1,0 % Nioboxid ( $Nb_2O_5$ ) (Ram Resources Ltd.).

Auf der russischen Kola-Halbinsel befinden sich die bedeutendsten Vorkommen bzw. Lagerstätten von Niob, Tantal und Seltenen Erden im Lovozero-Massiv. Hier stehen die Lagerstätten Karnasurt und Umbozero im Abbau (Tagebau und Untertageabbau). Im Jahr 2012 wurden aus 6.713 t dort gewonnenem Loparitkonzentrat in der Solikamsk-Hütte (Region Perm) insgesamt 2.131 t Seltene-Erden-Oxide (SEO), 450 t  $Nb_2O_5$ , 30 t  $Ta_2O_5$  sowie 1.900 t Titanschwamm erzeugt (DETKOV 2013).

Auch in der sibirischen Arktis wurden Seltene Erden nachgewiesen. Die Ressourcen der Lagerstätte Tomtor werden auf rund 154 Mio. t Seltene Erden, bei Gehalten von durchschnittlichen 9,53 % SEO zuzüglich 0,595 % Yttrium-

Oxid, geschätzt (EPSTEIN et al. 1994). Tomtor ist damit die bislang größte bekannte Seltene-Erden-Lagerstätte weltweit. Trotz ihrer großen Ressourcen und ihrer hohen Seltene-Erden-Gehalte wird Tomtor aber als kaum bauwürdig erachtet, da dort extreme klimatische Verhältnisse herrschen, keinerlei Infrastruktur vorhanden ist und das Erz, durch kryptokristalline Strukturen, metallurgisch nur sehr schwer aufzuschließen ist. Nur infolge massiver Preisanstiege für die Rohstoffgruppe der Seltenen Erden, könnte sich die wirtschaftliche Situation und damit die Erschließung des Vorkommens Tomtor ändern.



**Abb. 2:** Platinnugget aus einer Seife auf Kamtschatka, direkt südlich des russischen Teils der Arktis, Russische Föderation (Pacific Rim Geological Consulting Inc.)

### Edelmetalle

Die größte bekannte grönländische Lagerstätte an **Platingruppenmetallen** (PGM) ist die bereits 1931 entdeckte Skaergaard-Intrusion in Ostgrönland. Hier treten vor allem Platin und Palladium, aber auch Gold auf. Außerdem führt dieses Vorkommen Anreicherungen von Silber, Kupfer, Titan und Vanadium.

Die wirtschaftlich wichtigsten PGM-Lagerstätten in der russischen Arktis stehen in Zusammenhang mit ultramafischen bis mafischen Intrusionen in der Region Norilsk. Die bedeutenden PGM-Lagerstätten enthalten dabei wesentlich mehr Palladium als Platin. Neben den vorgenannten primären Lagerstätten sind auch PGM-Seifenlagerstätten bekannt (u. a. Platinseifen im Polarural). Des Wei-

teren haben auch Althalden ein PGM-Potenzial, insbesondere im Gebiet Norilsk-Talnach. Derzeit bezieht die Russische Föderation aus den Kupfer-Nickel-Lagerstätten Norilsk-Talnach bis zu 90 % seines Platins, was die Firma Norilsk Nickel (siehe auch Abschnitt Nichteisenmetalle) zum größten Platin-Produzenten der Welt macht (ca. 40 % der Weltproduktion).

In Nordkanada wurden in Bereichen der Muskox-Intrusion aussichtsreiche PGM-, Nickel- und Kupfer-Werte nachgewiesen. Die Erkundungsarbeiten stehen hier jedoch erst am Anfang.

Die wichtigsten nordfinnischen **Gold**vorkommen befinden sich im Kittilä-Erzdistrikt, wovon Suurikuusikko zurzeit die größte Goldlagerstätte in Skandinavien ist. Die Vorbereitungsarbeiten für den Abbau in dieser 1986 entdeckten Lagerstätte begannen 2008. Die Suurikuusikko-Lagerstätte, die derzeit bis 1.000 m Teufe erkundet ist, besitzt, bei Gehalten von 2,4 – 4,4 g Gold/t, Vorräte von insgesamt rund 4,9 Mio. oz bzw. 152 t Gold (Agnico Eagle Mines Ltd.).

Das 1985 entdeckte Pahtavaara-Goldvorkommen in Sodankylä befindet sich im östlichen Teil des Kittilä-Erzdistrikts. Es wurde zwischen 1996 und 2000 abgebaut und lieferte insgesamt 1,697 Mio. t Erz mit durchschnittlich 2,14 g Gold/t bzw. 3.814 kg Gold. Der zwischenzeitlich unterbrochene Abbau ist seit 2008 wieder aktiv. Die nachgewiesenen und angezeigten Ressourcen (inkl. Reserven) betragen Ende 2012 1,482 Mio. t Erz mit 1,77 g Gold/t bzw. 2.628 kg Goldinhalt (Lapland Goldminers AB).

Die seit 1990 in Südgrönland laufende intensive Exploration auf Gold führte schließlich 2004 zur Eröffnung der Nalunaq-Goldmine. Insgesamt wurden dort zwischen 2004 und 2008 rund 520.000 t Erz abgebaut, aus denen zunächst in Spanien und später in Kanada ca. 270.000 oz (8,3 t) Gold ausgebracht wurden. Die Nalunaq-Mine wurde im Mai 2011 wiedereröffnet, doch im Frühjahr 2013 musste der neue Betreiber, Angel Mining (Gold) A/S, Insolvenz anmelden (Angel Mining Plc).



Die Goldvorkommen der russischen Arktis befinden sich überwiegend in Ostsibirien und Fernost. Die wirtschaftliche Bedeutung sekundärer Goldseifen ist dabei in den letzten 20 Jahren stark zurückgegangen, wohingegen die Bedeutung der primären Goldlagerstätten auch in der Arktis gestiegen ist (z. B. die Lagerstätten Karalweem, Sowinoe, Maiskoe, Dor, Kupol und Kúchus).

Die Lagerstätte Oleninskoe ist die größte Goldlagerstätte der Kola-Halbinsel. Erste Berechnungen ergaben Vorräte von 2,58 Mio. t Erz mit Gehalten von 3,1 g Gold/t, entsprechend 257.000 oz bzw. 8 t Goldinhalt. Neben gediegen Gold treten hier auch Pyrrhotin, Arsenopyrit, Chalkopyrit, Zinkblende und Bleiglanz auf (Fennoscandian Ore Deposit Database).

Die Lupin-Goldmine in Kanada produzierte von ihrer Eröffnung im Jahr 1982 bis zu ihrer Schließung im Jahr 2005 insgesamt 3,36 Mio. oz Gold, bei einem durchschnittlichen Goldgehalt von ca. 9,3 g/t (Elgin Mining Inc.). Weitere bekannte Goldvorkommen in der kanadischen Arktis sind Antler, Anuri, Inuk, Raven, Three Bluffs und West Plain im sogenannten Committee-Bay-Grünsteingürtel sowie das Hope-Bay-Gold-Projekt im gleichnamigen Grünsteingürtel.

Zum Chandalar-Bergbaudistrikt in Alaska zählen die Lagerstätten Red Dog und Ambler. Seit der Entdeckung dieses Distrikts vor ca. 100 Jahren wurden dort aus Seifen- und Ganglagerstätten ca. 85.000 oz Gold gefördert (Goldrich Mining Company), davon ca. 90 % aus Goldseifen.

### Eisen

Zwischen 1910 und 1997 wurde mit Unterbrechungen **Eisenerz** bei Kobbervik im Raum Sydvaranger in Nordnorwegen, wenige Kilometer südlich Kirkenes gewonnen. Im Sommer 2009 wurde der Abbau aus dem größten verbliebenen Einzelvorkommen Bjørnevatn durch eine australische Firma erneut aufgenommen. Die verbliebenen Gesamtreserven im Sydvaranger-Distrikt werden mit 129,4 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 32 % Eisen, die verbliebenen vermuteten und angenommenen Gesamtressour-

cen mit 451 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 31 % Eisen angegeben (Northern Iron Ltd.).

Das seit 1975 bis heute aus dem Ørtfjell-Vorkommen bei Storforshei, seit 1999 ausschließlich aus dem Untertageabbau Kvannevan, gewonnene Eisenerz führt durchschnittlich 34 % Eisen. Hieraus werden im 40 km entfernt gelegenen Gullsmédvika nahe Mo i Rana Eisenerzkonzentrate mit 64 % Eisen produziert. Die ursprünglichen Erzvorräte betragen rund 417 Mio. t mit 140 Mio. t Eiseninhalt (Fennoscandian Ore Deposit Database).

Bei Kiruna in Nordschweden werden der bereits 1696 entdeckte große Erzkörper von Kirunavaara, der wesentlich kleinere Erzkörper von Luossavaara sowie die kleinen Vorkommen Rektorn, Henry, Haukivaara, Nukutusvaara, Lappmalmen (Per Geijer Erze) und Tuolluvaara unterschieden. Der großmaßstäbliche Erzbergbau bei Kiruna setzte, zuerst im Tagebau, im Jahr 1898 ein. Fast alle der vorgenannten Erzkörper standen danach im Abbau. Der letzte Tagebau wurde 1975 eingestellt. Zwischenzeitlich wird nur noch aus dem Kirunavaara-Erzkörper im Untertagebergbau Eisenerz gewonnen, im Jahr 2012 insgesamt 26,8 Mio. t Erz mit rund 47 % Eisen. Die Vorratsangaben für das Kiruna-Eisenerzrevier schwanken zwischen ca. 2.000 Mio. und ca. 4.500 Mio. t hochwertiger Magnetit-Apatit-Erze mit 58 – 68 % Eisen. Ende 2012 beliefen sich die Reserven für Kirunavaara nach Firmenangaben (LKAB) auf 682 Mio. t Erz, die zusätzlichen Ressourcen auf 287 Mio. t Erz.

Bei Malmberget, rund 100 km südsüdöstlich von Kiruna, liegt der Gällivare-Eisenerzdistrikt, der rund 20 Erzkörper umfasst. Die dortigen Eisenerzvorkommen wurden 1669 entdeckt. Mit der Fertigstellung einer Eisenbahnlinie zunächst nach Luleå am Botnischen Meerbusen im Jahr 1887 und später über Kiruna zum ständig eisfreien Hafen Narvik in Nordnorwegen, setzte ab 1888 der großmaßstäbliche Bergbau ein. Bisher wurden rund 550 Mio. t (derzeit jährlich rund 14 Mio. t) Eisenerz gewonnen. Ende 2012 beliefen sich die Reserven für Malmberget laut Firmenangaben (LKAB) auf 271 Mio. t Erz, die zusätzlichen Res-

sources auf 228 Mio. t Eisenerz. Die verbliebenen Vorräte im gesamten Gällivare-Eisenerzdistrikt betragen ca. 840 Mio. t hochwertiger Magnetit-Apatit-Erze mit 51 – 64 % Eisen.

Neben Kiruna und Gällivare treten Eisenerze vom Kiruna-Typ auch in anderen Gebieten Nordschwedens auf. Die bereits 1654 entdeckte Lagerstätte Gruvberget mit Restvorräten von 64,1 Mio. t Eisenerz (Magnetit und Hämatit) mit 56,9 % Eisen bzw. 36,4 Mio. t Eiseninhalt (bis 300 m Teufe) ging 2010 wieder in Produktion (LKAB).

Unter den zahlreichen Skarneisenerz-Lagerstätten Nordschwedens ist der Erzdistrikt Kaunisvaara an der Grenze zu Finnland von besonderer Bedeutung. In ihm liegen auch die Einzellagerstätten Stora Sahavaara (Ressourcen: 145 Mio. t Erz mit 43,1 % Eisen) und Tapuli (Ressourcen: 103,9 Mio. t Erz mit 29,4 % Eisen), deren Abbau in Planung ist (Fennoscandian Ore Deposit Database).

Das größte grönländische Vorkommen an Eisenerz liegt bei Isukasia im Südwesten des Landes. Es wurde bereits 1962 entdeckt und in den folgenden Jahren im Detail exploriert. Derzeit werden die angezeigten bis vermuteten Ressourcen auf etwa 1.107 Mio. t Erz (mit durchschnittlich 32,6 % Eisen) geschätzt (London Mining Plc). Darüber hinaus konnten noch zahlreiche weitere Eisenerzvorkommen in verschiedenen Regionen Grönlands nachgewiesen werden.

Die Kola-Halbinsel beinhaltet Vorräte von ca. 1.342 Mio. t magmatischen Eisenerzes mit 311 Mio. t Eiseninhalt sowie Vorräte von ca. 689 Mio. t Eisen-Quarzit-Erzes mit 230 Mio. t Eiseninhalt (EILU et al. 2008).

Von großer Bedeutung sind dabei drei Eisen-Quarzit führende Zonen innerhalb des Olenegorsk-Grünsteingürtels. Die wichtigsten in Abbau stehenden Einzellagerstätten in dessen östlichem Teil sind Olenegorskoe, Komsomol'skoe Ayvar (auch Aivar) sowie Pechegubskoe. Die ursprünglichen Erzvorräte des seit 1954 im Tagebau und seit 2005 auch untertage abgebauten Olenegorsk-Erzkörpers betragen 634,7 Mio. t Erz mit

einem Durchschnittsgehalt von 30,6 % Eisen. Hiervon waren bis 2011 insgesamt 88,81 Mio. t abgebaut (Fennoscandian Ore Deposit Database). Nach Informationen des Betreibers Severstal liegt die jährliche Produktionskapazität aus dem Tagebau derzeit bei rund 2,8 Mio. t Erz und aus dem Bergwerk bei 1,5 Mio. t Erz. Die zentrale Zone des Olenegorsk-Grünsteingürtels umfasst die Erzkörper Kirova Gora bzw. Kirovogorskoe, Professor Bauman, Zheleznaya Varaka, Süd Kakhizerskoe, Kurkenpakhk, XV. Oktyabr'skoi Revolyutsii und Svintsovotundrovskoe. Zu den Erzkörpern der westlichen Zone zählen Kutskol, Volchétundrovskoe, Yukspor und Priozero.

Magmatische Eisenerze werden auch im Bereich des Kovdor-Intrusivkomplexes gewonnen (Kola-Halbinsel), der sich rund 130 km westlich Kirovsk unweit der finnischen Grenze befindet. Im Südwesten dieses, im Wesentlichen aus ultramafischen Gesteinen bestehenden Komplexes bilden Eisenerze gemeinsam mit apatithaltigen Gesteinen einen Erzkörper. Eisenerz wird dort bereits seit 1961 abgebaut. Von den ursprünglichen Vorräten von 2.232,8 Mio. t Eisenerz waren bis 2011 insgesamt 613,52 Mio. t mit einem Durchschnittsgehalt von 27,5 % Eisen gewonnen worden (Fennoscandian Ore Deposit Database).

Das aus dem im Tagebau Zhelezny gewonnenen Apatit-Magnetit-Baddeleyit-„Komplexerz“ aufbereitete Magnetitkonzentrat (jährlich rund 6 Mio. t) enthält durchschnittlich 65 % Eisen (PARCHMANN 1991).

Die bedeutendsten Eisenerzlagerstätten der kanadischen Arktis liegen im Mary-River-Gebiet (Deposit 1 bis 4). Die Abbaurechte dafür hält die Baffinland Iron Mines Corporation. Das Erz ist so genanntes „direct-shipping ore“ (DSO), d. h., dass, abgesehen von Zerkleinern und Sortieren, keine Weiterverarbeitung nötig ist. Laut Firmenangaben betragen die Reserven des Deposit 1 (Nuluujaak Mountain) insgesamt 365 Mio. t Eisenerz (> 64 % Eisen). Es wird eine jährliche Förderung von 18 Mio. t über einen Zeitraum von über 21 Jahren angestrebt (Baffinland Iron Mines Corp.).

### Nichteisenmetalle

Die Russische Föderation verfügt weltweit über die größten **Nickel**vorräte. Die Kola-Halbinsel besitzt bedeutende Nickel-Kupfer-Kobalt-Sulfiderz-Lagerstätten, die von Norilsk Nickel, dem weltweit größten Nickel-Produzenten, um Pechenga und Allarechka im Nordwesten sowie Monchegorsk im Zentrum der Kola-Halbinsel abgebaut werden bzw. wurden.

Im Westen des Pechenga-Reviere sind nur noch die Lagerstätten Kootsel'vaara-Kammikivi und Semiletka im Tiefbau (Kootselvaara-Bergwerk) in Betrieb. Von den in der Lagerstätte Kootsel'vaara-Kammikivi nachgewiesenen 34,4 Mio. t Erz wurden bis Ende 2008 bereits 26,9 Mio. t mit durchschnittlich 1,2 % Nickel, 0,64 % Kupfer, 0,018 % Kobalt sowie 1,4 g Silber/t und 0,185 g Gold/t gefördert. Als Metallinhalte wurden daraus 323.000 t Nickel und 144.000 t Kupfer ausgebracht (Fennoscandian Ore Deposit Database).

Derzeit im Abbau stehen im Nordosten des Pechenga-Reviere die Lagerstätten Zapolyarnoe sowie Zhdanovskoe (Severny-Bergwerk), wobei letztere die größte Lagerstätte des gesamten Pechenga-Reviere darstellt. In Zhdanovskoe wurden von 1959 bis 2011 insgesamt 423,44 Mio. t Erz der Gesamtvorräte von 1.447,88 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,57 % Nickel, 0,25 % Kupfer, 0,023 % Kobalt, 1,18 g Silber/t, 0,058 g PGM/t und 0,008 g Gold/t gefördert. Daraus wurden insgesamt 419.000 t Nickel und 247.000 t Kupfer ausgebracht (Fennoscandian Ore Deposit Database). Nach Informationen des Betreibers Norilsk Nickel betragen die Reserven Ende 2011 1.024,44 Mio. t Erz. In Zapolyarnoe wurden zwischen 1973 und 2011 insgesamt 9,77 Mio. t Erz der Gesamtreserven von 20,57 Mio. t Erz mit durchschnittlich 2,19 % Nickel, 1,16 % Kupfer, 0,046 % Kobalt sowie 3,4 g Silber/t, 0,185 g PGM/t und 0,008 g Gold/t gefördert und daraus 214.000 t Nickel und 109.000 t Kupfer ausgebracht (Fennoscandian Ore Deposit Database).

Weitere Anreicherungen von Nickel treten im Lotta-Distrikt und im Gebiet von Imandra-Varzuga im Südwesten bzw. im Süden der Kola-Halbinsel auf.

Der wirtschaftlich bedeutendste Bergbaubezirk der russischen Arktis, östlich der Kola-Halbinsel, ist das Gebiet um Norilsk, im Norden der Region Krasnojarsk, mit seinen großen Einzellagerstätten. Dort werden neben Nickel auch zahlreiche weitere Metalle gewonnen (z. B. PGM). Die Hauptproduktion stammt derzeit aus den Talnach- und Oktjabrskoe-Lagerstätten, deren Reserven bei abnehmender Erzqualität noch für 10 – 15 Jahre, maximal aber 20 Jahre reichen. Im Jahr 2012 produzierte das Unternehmen Norilsk Nickel aus seinen russischen Lagerstätten 233.632 t Nickel, 352.466 t Kupfer sowie 2,628 Mio. oz Palladium und 660.000 oz Platin (MMC Norilsk Nickel). Als Koppelprodukte wurden außerdem noch Kobalt, Gold, Silber, Schwefel, Selen und Tellur gewonnen.

Die weitaus bedeutendste **Kupfer**lagerstätte Skandinaviens ist Aitik in Nordschweden. Der Kupfertagebau wurde dort 1968 eröffnet und seine Produktionskapazität seitdem ständig erweitert. Es wird ein Kupferkonzentrat mit 27,2 % Kupfer, 8 g Gold/t und 250 g Silber/t produziert. Im Jahr 2012 wurden etwa 34,3 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 0,22 % Kupfer, 0,11 g Gold/t und 2,5 g Silber/t bzw. Metallinhalten von 67.108 t Kupfer, 1.959 kg Gold und 51.698 kg Silber gewonnen (Boliden AB).



Abb. 3: Kupfertagebau Aitik, Schweden (Boliden AB)



Die Kupfervorkommen des Ambler-Bergbaudistrikts im nordwestlichen Alaska liegen in einem der größten noch unerschlossenen Massivsulfid-Gebiete Nordamerikas. Das Upper-Kobuk-Mineral-Projekt (NovaCopper Inc.) umfasst mehrere dieser Lagerstätten im Edelmetall reichen Ambler-Schiefergürtel. Von den dortigen Lagerstätten wird die Kupfer-Zink-Gold-Silber-Lagerstätte Arctic als am aussichtsreichsten angesehen. Die Ressourcen werden auf insgesamt 27,2 Mio. t Erz mit ca. 3,3 % Kupfer geschätzt. Außerdem enthält das Erz noch 4,5 % Zink, 0,8 % Blei, 0,7 g Gold/t und 53 g Silber/t (NovaCopper Inc.).

Die Pahtavuoma-Kupfer-Zink-Lagerstätte liegt im Westen des nordfinnischen Kittilä-Erzdistrikts. Die Lagerstätte umfasst vier schichtgebundene Kupfer-Erzkörper, sechs Zink-Mineralisationen und drei gangförmige Uranvorkommen. Die Gesamtvorräte (abzüglich der bereits abgebauten 295.000 t Erz) von Pahtavuoma belaufen sich auf 17 Mio. t Erz mit 0,81 % Zink, 0,11 % Kupfer, 0,09 % Blei, 0,02 % Nickel, 0,01 % Kobalt und 7 g Silber/t (Fennoscandian Ore Deposit Database).

Eine der wichtigeren noch nicht vollständig abgebauten **Blei-Zink**-Lagerstätten in der nordnorwegischen Region um Mo i Rana ist Mofjell(et). Diese Lagerstätte stand zwischen 1928 und 1987 durchgängig in Abbau. Die langjährigen Durchschnittsgehalte im Erz – insgesamt wurden 4,35 Mio. t gewonnen – betragen 3,61 % Zink, ca. 7 % Schwefel, 0,71 % Blei, 0,31 % Kupfer sowie 10 g Silber/t. Seit einigen Jahren wird geprüft, ob der Abbau wieder aufgenommen werden



Abb. 4: Malmbjerg-Granitintrusion, Grönland (Minex 2005)

kann. Bisher wurden Restvorräte von 3,22 Mio. t Erz festgestellt (GEXCO AB).

Im westgrönländischen Maarmorilik wurde bereits 1938 ein großes Blei-Zink-Vorkommen entdeckt. Zwischen 1973 und 1990 wurden dort ca. 11,2 Mio. t Erz mit Gehalten von durchschnittlich 12,6 % Zink, 4,1 % Blei und 29 g Silber/t abgebaut (Angel Mining Plc). Viele Jahre wurde geprüft, ob die in den Pfeilern des Abbaus verbliebenen 2,4 Mio. t Erz zumindest teilweise noch gewinnbar sind, doch musste der Lizenzinhaber, Angel Mining Plc, schließlich im Jahr 2012 Konkurs anmelden.

Eine weitere Blei-Zink-Lagerstätte von Bedeutung befindet sich am nordgrönländischen Citronen-Fjord. Hier lagern Erzvorräte von etwa 132 Mio. t mit durchschnittlich 4,5 % Zink und Blei (Ironbark Gold Ltd.).

Nördlich des Polarkreises gibt es in Kanada zwei große Zink-Blei-Lagerstätten: Polaris und Nanisivik, deren Erze bis 2002 abgebaut wurden. Die dortige Region birgt aber noch Explorationspotenzial für weitere Lagerstätten.

Red Dog in Alaska ist eine sedimentär-exhalative Zink-Blei-Silber-Lagerstätte, mit den Einzellagerstätten: Red Dog Main Deposit, Hilltop, Aqqaluk und Paalaaq. Im Jahr 2012 wurden im Red-Dog-Bergwerk ca. 3,6 Mio. t Erz gefördert und 1,4 Mio. t Konzentrat verschifft (Teck Resources Ltd.). Die Erzgehalte betragen durchschnittlich 18,2 % Zink, 4,6 % Blei und 99,5 g Silber/t. Zusätzlich wird Indium als Beiprodukt bei der Zinkverhüttung ausgebracht. Nach Erschöpfung der Red-Dog-Hauptlagerstätte wurde 2010 die nahegelegene Aqqaluk-Lagerstätte in Betrieb genommen. Außerdem wurde 1999 das Anarraaq-Vorkommen entdeckt, dessen Ressourcen auf 17,2 Mio. t Erz mit durchschnittlich 15,8 % Zink, 4,8 % Blei und 17 g Silber/t geschätzt werden (Teck Cominco Ltd.).

Das bekannte ostgrönländische Malmbjerg-Molybdän-Vorkommen wurde im Jahr 1954 entdeckt und bis 1979 detailliert erkundet. Nach neueren Berechnungen betragen die gemessenen



und angezeigten Erzvorräte etwa 216,8 Mio. t mit einem Gehalt von etwa 0,2 % Molybdänsulfid (KGHM International Ltd.). Auch die Gehalte an Wolfram, Eisen, Mangan, Titan, Zirkon, Niob, Silber und Bismut sind in diesem Vorkommen erhöht. Aufgrund der infrastrukturell sehr ungünstigen Lage zwischen zwei Gletschern, ist das Malmbjerg-Vorkommen bisher noch nicht in Produktion gegangen.

### Edelsteine

Die **Diamant**vorkommen der russischen Arktis umfassen sowohl primäre als auch sekundäre Lagerstätten. Im Marchino-Alakit-Kimberlitfeld in der Republik Sacha (Jakutien) stehen die Kimberlitpipes Aichal, Jubileinaja, Cytykanskaja, Krasnopresnenskaja und Komsomolskaja in Abbau. Östlich des Marchino-Alakit-Kimberlitfeldes liegt das Daldyn-Kimberlitfeld. Es enthält mit dem Udatschny-Pipe die größte primäre Diamantlagerstätte Russlands. Des Weiteren ist der Sarniza-Pipe wegen seines hohen Anteils an Diamanten in Schmuckqualität bauwürdig. Neben den primären verfügt die Republik Sacha auch über sekundäre Seifenlagerstätten, u. a. die im Abbau stehenden Seifen am Fluss Anabar.

In Nordkanada findet die Exploration auf Diamanten u. a. im Amaruk-, Barrow-, Aviat- und Darby-Vorkommen statt. Es wird vermutet, dass diese Region das Potenzial für weitere Diamantvorkommen besitzt.

### Industrieminerale und Naturwerksteine

Der Khibiny-Komplex im Zentralteil der Kola-Halbinsel stellt das größte magmatische **Phosphat**vorkommen der Erde dar und ist eine der wichtigsten russischen Rohstoffquellen für die Düngemittelproduktion. Der kommerzielle Abbau begann bereits 1930 und geht heute in fünf Tagebauen um, bei einer Gesamtjahreskapazität von 55 Mio. t Apatiterz. Insgesamt betragen die verbliebenen Gesamtvorräte im Khibiny-Komplex noch rund 3.800 Mio. t Apatiterz mit durchschnittlich 15 % Phosphoroxid ( $P_2O_5$ ), entsprechend 550 Mio. t  $P_2O_5$ -Inhalt bzw. 2.700 Mio. t **Nephelin**erz, aus denen 500 Mio. t Nephelinkonzentrat

gewonnen werden könnten (DUDKIN & TYAPINA 1997, ILYIN 1989). Bei der Flotation der Apatiterze fallen seit 1939 große Mengen (ca. 60 % der Abgänge) an Nephelin an, von denen nur rund 10 % der jährlich anfallenden ca. 1,6 Mio. t zur Herstellung von Tonerde genutzt werden.

Im Südwesten des Kovdor-Komplexes im Westen der Kola-Halbinsel befinden sich Vorräte an „Apatiterz“ von ca. 54 Mio. t Erz mit Gehalten von durchschnittlich 17 – 18 %  $P_2O_5$  und < 15 % Eisen (Fennoscandian Ore Deposit Database). Zudem treten bauwürdige Konzentrationen an Vanadium, Niob, Zirkon, Mangan, Titan, Kobalt und Nickel auf. Aus den Aufbereitungsabgängen der Eisenerzaufbereitung wird zudem seit 1975 Apatit flotativ gewonnen. Im Jahr 2007 belief sich die Produktion von Apatitkonzentrat dabei auf 2,5 Mio. t. Die verbliebenen Eisenerzvorräte im Kovdor-Komplex betragen Ende 2011 rund 1.619 Mio. t mit durchschnittlich 7 – 8 %  $P_2O_5$ , was umgerechnet ca. 290 Mio. t Apatiterz entspricht (Fennoscandian Ore Deposit Database). Da der Apatit aus Kovdor jedoch hohe Gehalte von durchschnittlich 4,5 % Magnesiumoxid enthält, wird er weniger zur Düngemittelproduktion, sondern bevorzugt als Viehfutterbeimischung genutzt (ILYIN 1989).

Aus den Abgängen der Aufbereitung der Apatit reichen Magnetiterze im Kovdor-Komplex wird seit 1976 auch **Baddeleyit** ( $ZrO_2$ ) gewonnen. Im Jahr 2011 betrug die Gesamtproduktion an Baddeleyitkonzentrat 8.914 t (BGR – Fachinformationssystem Rohstoffe).

Im Kovdor-Komplex treten zudem auch **Phlogopit** reiche Gesteine auf. Seit 1963 wird ein Phlogopitvorkommen mit Gehalten von 50 bis > 600 kg Phlogopit/ $m^3$  Gestein zunächst untertage und seit 1979 auch im Tagebau abgebaut. In der Vergangenheit wurde eine Gesamtmenge von jährlich 7.500 – 8.000 t Phlogopit produziert (PARCHMANN 1991).

Häufiger im zentralen Bereich des Kovdor-Komplexes tritt auch **Vermikulit** auf. Die Vorräte an Vermikulit werden auf rund 50 Mio. t geschätzt. Die Inbetriebnahme einer Aufbereitung mit einer Kapazität von 450.000 t Erz/Jahr bzw. 56.000 t

Konzentrat/Jahr im Kombinat Kovdorsljuda erfolgte 1974 (DALHEIMER et al. 1988).

Der nordfinnische Sokli-Karbonatit enthält die wirtschaftlich interessanten Minerale **Apatit**, Pyrochlor, Magnetit, Baddeleyit und Zirkon. Die Erze sind in einer bis 60 m Tiefe reichenden Verwitterungszone angereichert. Die Erzvorräte werden auf > 50 Mio. t mit einem Durchschnittsgehalt von 19 %  $P_2O_5$  geschätzt. Weiterhin enthält das Erz 20 – 25 % Magnetit bzw. 2 % Titan und 0,1 % Zink. Erhöhte Gehalte an Seltenen Erden werden vermutet (ISOKANGAS 1978). Von den zahlreichen **Muskovitlagerstätten** auf der Kola-Halbinsel stellt das in dessen westlichen Teil gelegene Yena-Vorkommen (Lejwojwa Tundra), das Bedeutendste dar. Hier wird bereits seit 1934 Muskovit gewonnen. Der Gehalt an bauwürdigem Glimmer liegt bei 1 %, örtlich auch bei 1,5 %. Des Weiteren fallen bei dessen Abbau auch gewinnbare Mengen von Niob, Tantal und Beryll an.

Der arktische Anteil Norwegens, wie auch der Rest des Landes, ist reich an **Naturwerkstein**vorkommen, von denen derzeit zwölf in Abbau stehen. Auch Finnland besitzt ein großes Naturwerksteinpotenzial, wobei aber die meisten aktiven und größeren Steinbrüche aufgrund der besseren Infrastruktur und des günstigeren Klimas im Süden des Landes konzentriert sind. Dennoch existieren auch nördlich des Polarkreises insgesamt acht Abbaustellen. Auf der Kola-Halbinsel sollen außerdem vielerorts die verschiedensten Arten von Naturwerksteinen in Abbau stehen. Einzelheiten sind jedoch nicht bekannt.

#### 4 FAZIT

Die Arktis ist reich an mineralischen Bodenschätzen und verfügt auch im Weltmaßstab über bedeutende Rohstoffvorkommen. Das gilt insbesondere hinsichtlich einer breiten Palette an Hochtechnologie- und Basismetallen sowie Industriemineralen.

Extreme klimatische Bedingungen, eine mangelnde Infrastruktur sowie große technische Heraus-

forderungen im Bergbau selbst erschweren aber die Erkundung und Förderung dieser Rohstoffe wesentlich. Außerdem sind die ökologischen Risiken bei allen Bergbauunternehmungen in der Arktis sehr groß.

Neben Gegenden mit zahlreichen bekannten Vorkommen gibt es daher in den arktischen Regionen auch große Gebiete, die bezüglich ihres Potenzials an mineralischen Rohstoffen noch weitgehend unterexploriert sind, so vor allem in Grönland und der russischen Arktis.

Bereits heute werden Nickel, Kupfer, Gold, Diamanten, Eisenerz und andere Metalle in den arktischen Gebieten gefördert. Damit tragen Nordskandinavien sowie die russische und nordamerikanische Arktis schon heute signifikant zur globalen Rohstoffförderung bei. Ob dies zukünftig auch in Grönland der Fall sein wird, bleibt abzuwarten. Kurzfristig ist aber nicht mit einem Abbau einer größeren Anzahl grönländischer Lagerstätten zu rechnen, so dass das Rohstoffpotenzial dieses Landes eher mittel- bis langfristig interessant werden wird. In den arktischen Gebieten Kanadas und Finnlands hingegen ist zu erwarten, dass diese Entwicklung schneller voranschreitet, da vor allem die infrastrukturellen Rahmenbedingungen hier weitaus besser sind. Auch die langjährige Erfahrung mit Bergbauaktivitäten und die guten institutionellen Rahmenbedingungen verschaffen diesen Ländern einen wesentlichen Vorteil gegenüber Grönland und der russischen Arktis.

Das bedeutende ökonomische Rohstoffpotenzial der Arktis bedeutet auch erhebliche ökologische Herausforderungen, dabei ist der Erhalt des arktischen Lebensraums von großer Bedeutung. Für eine Rohstoffgewinnung in der Arktis müssen Bergbauunternehmen deshalb nicht nur die weltweit geltenden lagerstättenspezifischen Mindestanforderungen an neue Rohstoffprojekte erfüllen, sondern auch die sehr schwierigen klimatischen Verhältnisse und die überwiegend nicht vorhandene Infrastruktur in ihren Entscheidungen mit berücksichtigen. Aufgrund der großen ökologischen Sensibilität des arktischen Lebensraums müssen hohe Genehmigungsanforderungen in den

Investitionsentscheidungen der Bergbaufirmen mit berücksichtigt werden. Ferner kommt auch der Wahrung der Rechte der indigenen Bevölkerung der Arktis eine besondere Bedeutung zu.

Die Gewinnung von Rohstoffen in der Arktis wird daher, abgesehen von Nordeuropa und Sibirien, trotz des großen Rohstoffpotenzials, auch in absehbarer Zukunft eher die Ausnahme und nicht die Regel sein.

## 5 LITERATUR

- AUSWÄRTIGES AMT (2013): Leitlinien deutscher Arktispolitik – Verantwortung übernehmen, Chancen nutzen. – 22 S.; Berlin.
- DALHEIMER, M., KRUSZONA, M. & SCHMIDT, H. (1988): UdSSR. Kola-Halbinsel. – BGR, Rohstoffwirtschaftliche Länderberichte, XXXII: 62 S., 27 Abb., 8 Tab., 3 Anl.; Hannover.
- DETKOV, P. (2013): Developments in the CIS rare earth market. – Vortrag auf der 9<sup>th</sup> International Rare Earths Conference Hongkong, 12 – 14. November 2013; Hongkong (unpubliziert).
- DUDKIN, O. B. & TYAPINA, V. N. (1997): Apatite-nepheline deposit of Mio. t. Rasvumchorr, Khibiny Massif. – In: MITROFANOV, F. P., TOROKHOV, M. P. & ILJINA, M. (eds.): Ore deposits of the Kola Peninsula, NW Russia. Research and exploration – where do they meet?. – 4<sup>th</sup> Biennial SGA Meeting, Aug. 11 – 13, 1997, Turku, Finland, Excursion guidebook B4, Geologian tutkimuskeskus, Opas – Geological Survey of Finland, Guide 45: 41 – 45, 3 Abb., 1 Tab.; Rovaniemi.
- EILU, P., HALLBERG, A., BERGMAN, T., FEOKTISTOV, V., KORSAKOVA, M., KRASOTKIN, S., KUOSMANEN, E., LAMPPIO, E., LITVINENKO, V., NURMI, P., OFTEN, M., PHILIPPOV, N., SANDSTAD, J. S., STROMOV, V. & TONTTI, M. (2008): Metallic mineral deposit map of the Fennoscandian Shield, 1:2 000 000. – Geological Survey of Finland, Geological Survey of Norway, Geological Survey of Sweden, The Federal Agency of Use of Mineral Resources of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. – Online im Internet: URL: <http://en.gtk.fi/information-services/databases/fodd/index.html> [Stand 30.10.2013].
- ELSNER, H. (2010): Das mineralische Rohstoffpotenzial Grönlands. – DERA Rohstoffinformationen, 1: 81 S., 71 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- ELSNER, H. (2012): Das mineralische Rohstoffpotenzial der nordeuropäischen Arktis. – DERA Rohstoffinformationen, 3: 182 S., 139 Abb., 24 Tab.; Hannover.
- EPSTEIN, E. M., DANILTSCHENKO, N. A. & POSTNIKOW, S. A. (1994): Geologie der Tomtor Seltene-Metall-Lagerstätte (russ.). – Geologia Rudnych Mestoroshdeni 36/2, 83 – 110; Moskau.
- ILYIN, A. V. (1989): Apatite deposits in the Khibiny and Kovdor alkaline igneous complexes, Kola Peninsula, Northwestern USSR. – In: NOTHOLT, A. J. G., SHELDON, R. P. & DAVIDSON, D. F. (eds.): Phosphate deposits of the world. Vol. 2: Phosphate rock resources: 485 – 493, 4 Abb., 5 Tab.; Cambridge.
- ISOKANGAS, P. (1978): Finland. – In: BOWIE, S. H. U., KVALHEIM, A. & HASLAN, H. W. (eds.): Mineral deposits of Europe, Vol. 1: Northwest Europe. – Institution of Mining and Metallurgy, The Mineralogical Society: 39 – 92, 18 Abb., 10 Tab.; London.
- JAKOBSSON, M., MAYER, L. A., COAKLEY, B., DOWD-ESWELL, J. A., FORBES, S., FRIDMAN, B., HODNESDAL, H., NOORMETS, R., PEDERSEN, R., REBESCO, M., SCHENKE, H.-W., ZARAYSKAYA A, Y., ACCETTELLA, D., ARMSTRONG, A., ANDERSON, R. M., BIENHOFF, P., CAMERLENGHI, A., CHURCH, I., EDWARDS, M., GARDNER, J. V., HALL, J. K., HELL, B., HESTVIK, O. B., KRISTOFFERSEN, Y., MARCUSSEN, C., MOHAMMAD, R., MOSHER, D., NGHIEM, S. V., PEDROSA, M. T., TRAVAGLINI, P. G. & WEATHERALL, P. (2012): THE INTERNATIONAL BATHYMETRIC CHART OF THE ARCTIC OCEAN (IBCAO) VERSION 3.0, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, DOI: 10.1029/2012GL052219.
- KLIMESCH, L.-M. (2012): Das mineralische Rohstoffpotenzial der nordamerikanischen Arktis. –



DERA Rohstoffinformationen, 2: 43 S., 30 Abb., 10 Tab.; Hannover.

MINEX (2005): Molybdenum on the climb – the Malmbjerg deposit in East Greenland in focus again. – Minex Greenland Mineral Exploration Newsletter, 27: S. 2, 1 Abb.; Kopenhagen, Nuuk.

PARCHMANN, J. (1991): Die Erze des Alkali-Ultrabasisitmassivs Kovdor auf der Kola-Halbinsel. – BGR, Archiv-Nr.: 2024213: 24 S., 6 Abb., 8 Tab.; Berlin (unveröffentlicht).

URAZOVA, K. & BUCHHOLZ, P. (2012): Das mineralische Rohstoffpotenzial der russischen Arktis. – DERA Rohstoffinformationen, 4: 54 S., 22 Abb., 8 Tab., 1 Anh.; Hannover.

## IMPRESSUM

Herausgeber:

© **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Januar 2014**

B1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)  
Stilleweg 2  
30655 Hannover

E-Mail: [mineralische-rohstoffe@bgr.de](mailto:mineralische-rohstoffe@bgr.de)  
[www.bgr.bund.de](http://www.bgr.bund.de)