

DERA Rohstoffinformationen



Das mineralische
Rohstoffpotenzial der
nordeuropäischen Arktis



DERA Rohstoffinformationen

Das mineralische Rohstoffpotenzial der nordeuropäischen Arktis

Hannover, Januar 2012

Anschrift: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover
Telefon: (0511) 643 – 3200
Telefax: (0511) 643 – 533200
E-Mail: kontaktbuero-rohstoffe@bgr.de

Autor: Harald Elsner

Fachbeiträge: Jürgen Vasters, Karsten Piepjohn, Charlotte Chemen-Niebuhr
Redaktion und Layout: Phil Hanusa, Manfred Richter, Elke Westphale
Titelbilder: Veraldar, Wikipedia; H. Gautneb (Norges geologiske undersøkelse),
Boliden AB

Stand: Juli 2011
ISSN: 2193-5319
Titelinformation: www.bgr.bund.de/DERA_Rohstoffinformationen

INHALTSVERZEICHNIS

1	VORWORT	9
2	GEOGRAPHIE UND KLIMA	10
2.1	Nordskandinavien und die Kola-Halbinsel	10
2.2	Svalbard	12
2.3	Island	16
3	BERGBAU UND UMWELT	17
3.1	Historischer Bergbau	17
3.2	Umweltbelastungen	24
3.2.1	Nordskandinavien	24
3.2.2	Kola-Halbinsel	24
4	GEOLOGIE UND METALLOGENIE	26
4.1	Nordskandinavien und die Kola-Halbinsel	26
4.2	Svalbard	35
4.3	Island	38
5	DAS MINERALISCHE ROHSTOFFPOTENZIAL	39
5.1	Nordskandinavien	39
5.1.1	Metallische Rohstoffe	39
5.1.1.1	Eisen	39
5.1.1.2	Titan und Vanadium	59
5.1.1.3	Kupfer	61
5.1.1.4	Gold und Silber	77
5.1.1.5	Platingruppenmetalle	83
5.1.1.6	Blei und Zink	85
5.1.1.7	Molybdän und Wolfram	90
5.1.1.8	Mangan	91
5.1.1.9	Nickel	92
5.1.1.10	Chrom	96
5.1.1.11	Niob	98
5.1.1.12	Seltene Erden	101
5.1.1.13	Beryllium	102
5.1.1.14	Uran	102
5.1.2	Industrieminerale	104
5.1.2.1	Calciumkarbonat	104
5.1.2.2	Dolomit	105
5.1.2.3	Nephelinsyenit	106
5.1.2.4	Feldspat	106
5.1.2.5	Kaolin	107

INHALTSVERZEICHNIS

5.1.2.6	Graphit	107
5.1.2.7	Quarz und Quarzit	108
5.1.2.8	Talk	109
5.1.2.9	Phosphat	112
5.1.2.10	Baryt	114
5.1.2.11	Magnesit und Brucit	114
5.1.2.12	Glimmer	114
5.1.2.13	Disthen	115
5.1.2.14	Asbest	115
5.1.2.15	Olivin	115
5.1.3	Naturwerksteine	116
5.1.4	Zusammenfassung und Bewertung	121
5.2	Kola-Halbinsel	122
5.2.1	Metallische Rohstoffe	122
5.2.1.1	Eisen	122
5.2.1.2	Titan und Vanadium	129
5.2.1.3	Blei, Zink und Silber	132
5.2.1.4	Nickel, Kupfer und Kobalt	132
5.2.1.5	Kupfer und Molybdän	139
5.2.1.6	Chrom	140
5.2.1.7	Gold	142
5.2.1.8	Platingruppenmetalle	144
5.2.1.9	Niob und Tantal	145
5.2.1.10	Lithium und Beryllium	146
5.2.1.11	Seltene Erden	146
5.2.1.12	Thorium	152
5.2.2	Industrieminerale	152
5.2.2.1	Phosphat	152
5.2.2.2	Nephelin	159
5.2.2.3	Feldspat	159
5.2.2.4	Baddeleyit	160
5.2.2.5	Fluorit	160
5.2.2.6	Strontium	160
5.2.2.7	Dolomit	160
5.2.2.8	Disthen und Sillimanit	160
5.2.2.9	Industriegranat	161
5.2.2.10	Glimmer (Phlogopit, Vermikulit, Muskovit)	161
5.2.2.11	Diatomit	163
5.2.2.12	Olivin	164
5.2.3	Edel- und Naturwerksteine	164
5.2.3.1	Diamant	164
5.2.3.2	Naturwerksteine	164
5.2.4	Zusammenfassung und Bewertung	165

INHALTSVERZEICHNIS

5.3	Svalbard	166
5.3.1	Metallische Rohstoffe	166
5.3.1.1	Gold	166
5.3.1.2	Eisen	166
5.3.1.3	Blei und Zink	167
5.3.1.4	Kupfer	167
5.3.1.5	Uran	168
5.3.2	Industrieminерale	168
5.3.2.1	Asbest	168
5.3.2.2	Gips/Anhydrit	169
5.3.2.3	Phosphat	169
5.3.2.4	Bentonit	169
5.3.2.5	Baryt	170
5.3.2.6	Naturwerksteine	170
5.3.3	Zusammenfassung und Bewertung	170
5.4	Island	171
5.4.1	Metallische Rohstoffe	171
5.4.1.1	Kupfer, Blei, Zink und Molybdän	171
5.4.1.2	Aluminium	171
5.4.1.3	Eisen	171
5.4.1.4	Schwerminerale	172
5.4.2	Industrieminерale	172
5.4.2.1	Diatomit	172
5.4.2.2	Perlit	172
5.4.2.3	Schwefel	173
5.4.3	Naturwerksteine	173
5.4.4	Zusammenfassung und Bewertung	173
6	LITERATUR	175

1 VORWORT

„Jagd auf Rohstoffe:
Wem gehört die Arktis?“
„Rohstoffe: Arktis heiß umstritten“
„Arktis: Rennen um Rohstoffe“
„Arktis: Der Kampf um die eisige Schatzkammer“
„Kalter Krieg um Rohstoff-Schätze in der Arktis“

Diese und ähnliche Schlagzeilen fanden sich in den letzten Jahren in führenden deutschen Zeitungen und Zeitschriften. Doch trotz aller reißerischen Schlagzeilen: Fast nie vergaßen die Autoren in ihren Artikeln zu bemerken, dass eigentlich gar nicht so recht bekannt ist, welche und vor allem welche Mengen an Rohstoffen in der Arktis überhaupt lagern.

Die Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), eine obere Bundesbehörde im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), will zur Klärung dieser Frage sachlich beitragen. Sie hat hierzu in mehreren Studien zusammengetragen, welche mineralischen Rohstoffe in der Arktis derzeit bekannt sind und wie hoch das Rohstoffpotenzial in einzelnen Teilregionen der Arktis zu bewerten ist.

Als Teilregionen wurden untersucht:

- Grönland
- Nordskandinavien (inkl. Spitzbergen, Island und die Kola-Halbinsel)
- Nordamerika
- Nordsibirien

Für eine Rohstoffgewinnung in der Arktis müssen Bergbaufirmen nicht

nur die weltweit geltenden lagerstättenspezifischen Mindestanforderungen an neue Rohstoffprojekte sondern auch die sehr schwierigen klimatischen Verhältnisse, die größtenteils nicht vorhandene Infrastruktur sowie die extrem hohen Genehmigungsanforderungen aufgrund der hohen ökologischen Sensibilität des arktischen Lebensraums in ihren Investitionsentscheidungen berücksichtigen.

Die Gewinnung von Rohstoffen in der Arktis wird daher auch in Zukunft die Ausnahme und nicht die Regel sein.

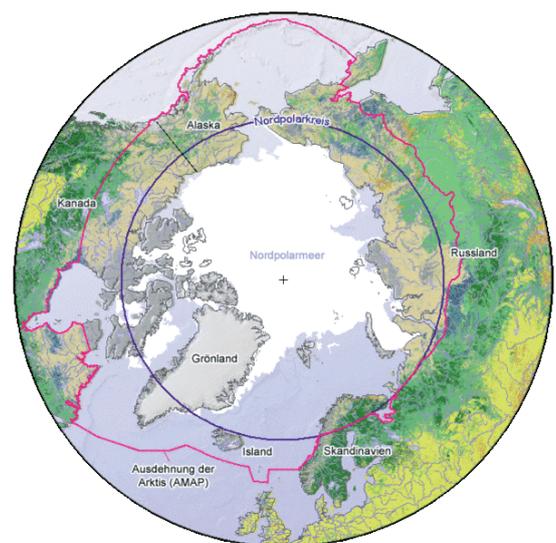


Abb. 1-1: Die Ausdehnung der Arktis. Schwarze Linie = Polarkreis, Rote Linie = Definition der Arktis nach Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Quelle: WIKIPEDIA.

2 GEOGRAPHIE UND KLIMA

2.1 Nordskandinavien und die Kola-Halbinsel

Nordskandinavien und die Kola-Halbinsel bilden eine gemeinsame Lagerstättenprovinz. Entsprechend den politischen Grenzen gehören dazu in

NORWEGEN

- Provinz Finnmark: 48.649 km²
- Provinz Troms: 25.848 km²
- Provinz Nordland einschließlich der Inselgruppe der Lofoten: 38.463 km², wobei nur ein Teil dieser Provinz (darunter die Lofoten) nördlich des Polarkreises liegt (insgesamt ca. 26.600 km²)

SCHWEDEN

- Provinz Norrbotten: 106.012 km², wobei der nördliche Teil dieser Provinz, ca. 65.000 km², nördlich des Polarkreises liegt

FINNLAND

- Provinz Lappland: 98.911 km², wobei ca. 79.000 km² dieser Provinz nördlich des Polarkreises liegen.

RUSSLAND

Oblast Murmansk: 144.900 km², im Wesentlichen bestehend aus der Kola-Halbinsel, die fast vollständig nördlich des Polarkreises liegt.

Zusammen beträgt die Fläche der nördlichsten Provinzen Skandinaviens somit rund 318.000 km², von denen ca. 245.000 km² nördlich des Polarkreises liegen. Zusammen mit der Kola-Halbinsel, 144.900 km², nimmt dieser sehr rohstoffreiche Teil der Arktis also rund 390.000 km² Fläche ein. Das entspricht genau der zurzeit eisfreien Landfläche Grönlands.

Norwegen bildet den nordwestlichen Teil Skandinaviens und grenzt im Osten an Schweden, im Norden an Finnland und an die Russische Föderation.

Der Nordosten des Landes ist geprägt durch Gebirge und Fjorde und erstreckt sich weit über den Polarkreis hinaus bis zum finnischen Hochland.

Die Nordküste Norwegens grenzt an das Eismeer, die Westküste Nordnorwegens an das Europäische Nordmeer an.

In Nordnorwegen befindet sich mit dem 370 km² großen Svartisen-Gletscher einer der größten Festlandsgletscher Europas. Der Saltfjellet-Svartisen-Nationalpark (2.105 km²) in der Provinz Nordland ist der viertgrößte Nationalpark Norwegens. Im Mai 2009 wurde ebenfalls in Nordland der Lomsdal-Visten-Nationalpark (1.102 km²) eröffnet. Der Øvre-Anárjohka-Nationalpark liegt an der Grenze zu Finnland und umfasst 1.409 km². Er beinhaltet über 700 Seen, wovon der Gavdnjajávri der Größte ist. Der Varangerhalvø-Nationalpark (1.804 km²) liegt in der Provinz Finnmark auf der Varangerhalbinsel in einer arktischen Hochfjelllandschaft.

Im Hochland der Finnmark entspringt der Altaelv, der nördlichste Fluss Europas und einer der längsten Norwegens, der von Süden nach Norden fließt. Der Tanaelva (finnisch: Tenojoki) ist der Grenzfluss zwischen Norwegen und Finnland und entsteht durch den Zusammenfluss von Karasjokka und Inarijoki (nordsamisch: Anarjokka). Der Karasjokka ist ein Fluss der Finnmark und entspringt im südlichen Teil Norwegisch Lapplands.

Der Norden Norwegens wird durch ein subarktisches Klima bestimmt, wobei die Ausläufer des Golfstromes für meist eisfreie Häfen sorgen.

Schweden grenzt im Westen an Norwegen, im Norden an Finnland und Norwegen, im Osten an die Ostsee und Finnland sowie im Süden bzw. Südosten an den Skagerrak und Kattegat. Schweden gliedert sich in drei große Landschaften: Nord-, Süd- und Mittelschweden. Nordschweden, auch Norrland genannt, ist deutlich kälter und unwirtlicher als das übrige Land. Der schwedische Teil Lapplands im Norden ist bergig und erstreckt sich weit über den Polarkreis hinaus. Im Norden Schwedens finden sich Nadelwälder unterbrochen durch Ackerflächen. Zahlreiche Flüsse, die der Gebirgskette im



Abb. 2-1: Das Grenzmal des Dreiländerecks von Norwegen, Schweden und Finnland im See „Goldajärvi“ in Finnisch Lappland, Foto: VERALDAR/WIKIPEDIA.

Norden entspringen, fließen in südlicher Richtung zum Bottnischen Meerbusen und in die Ostsee. Der Dalälven ist mit 540 km der längste schwedische Fluss, der sich aus zwei Hauptströmen speist. Der nördliche Arm, mit Ursprung in Norwegen, ist der Österdalsälven.

Der Westen Nordschwedens wird durch das skandinavische Gebirge geprägt. Hier liegt auch der höchste Berg Schwedens, der Kebnekaise (2.117 m ü. NN). Im Dreiländereck Norwegen-Schweden-Finnland befindet sich der nördlichste Punkt Schwedens: Trekröset (vgl. Abb. 2-1).

Von den 28 Nationalparks Schwedens liegen acht nördlich des Polarkreises, von denen die Nationalparks Muddus (schwedisch Lappland), Sarek (schwedisch Lappland), Stora Sjöfallet (nahe der norwegischen Grenze) und der Padjelanta (an der norwegischen Grenze) zum UNESCO-Welterbe „Laponia“ zählen. Die Nationalparks Vadvetjåkka und Pieljekaise liegen alle in Lappland an der Grenze zu Norwegen. Der Abisko-Nationalpark dagegen im schwedisch-norwegischen Grenzgebirge am Südufer des Torneträsk, dem siebtgrößten See Schwedens.

Schwedens Klima wird durch die Lage des Landes an der Grenze zwischen arktischen und wärmeren Luftmassen sowie der Nähe zum Atlantik im Westen mit dem auf die norwegische Küste prallenden Golfstrom geprägt. Nordschweden besitzt weit überwiegend ein subarktisches Klima.

Finnland grenzt im Westen an den Bottnischen Meerbusen, im Nordwesten an Schweden, im Norden an Norwegen, im Osten an Russland und im Süden an den Finnischen Meerbusen an. Rund ein Drittel Finnlands liegt nördlich des Polarkreises. Diese Region wird als Finnisch Lappland bezeichnet und ist Teil der Region Lappland, die sich über die Staatsgebiete von Russland, Schweden, Norwegen und Finnland erstreckt.

In Finnland gibt es keine großen Gebirge, jedoch im Norden so genannte Inselberge (Tuntris), die sich aus der flachen Landschaft erheben. Finnisch Lappland prägen hohe, abgerundete Fjells, Anhöhen, die die Baumgrenze überschreiten. Der bekannteste und landschaftlich markanteste Berg finnisch Lapplands ist der Saana (1.029 m), nur noch übertroffen von dem Haltitunturi, mit 1.324 m ü. NN zugleich der höchste Berg Finnlands.

Durch Lappland fließen die größten Ströme Finnlands, von denen der Torniojoki, der Kemijoki und der Ounasjoki zu den Wichtigsten zählen. Nördlich des Polarkreises liegt der drittgrößte See Finnlands, der Inarijärvi/Inarisee. Auf seiner Fläche von 1.040 m² sind 3.318 Inseln verteilt, die den Eindruck eines Labyrinths vermitteln. Im nördlichsten Teil Finnlands liegen sieben der insgesamt 32 Naturparks des Landes. Hiervon sind vor allem Pallas-Yllästunturi und der Lemmenjoki von Bedeutung.

Finnland liegt an der Grenze zwischen maritimer und kontinentaler Klimazone. Regionen nördlich des Polarkreises, insbesondere Lappland, weisen extreme Klimaverhältnisse auf. In den Fjellgebieten und Tundren der nördlichsten Regionen herrscht ein Klima mit subpolaren Zügen vor.

Das Klima in Lappland ist zuweilen sehr extrem: am gleichen Ort kann es im Lauf des Jahres durchaus zwischen +30 und –30 °C schwanken. Da Lappland in der Westwindzone liegt, ist die Luvseite der Gebirge wesentlich niederschlagsreicher als die Leeseite. Je weiter man nach Osten kommt, desto trockener und kontinentaler wird das Klima.

Die **Kola-Halbinsel** liegt als Teil des Murmansk Gebietes im äußersten Nordwesten der Russischen Föderation, zwischen dem 66 und 69 Grad nördli-

cher Breite. Sie grenzt im Norden an die Barentssee, im Süden an das Weiße Meer sowie im Westen an Norwegen und Finnland an.

Die Halbinsel lässt sich grob in gebirgige West- und Zentralgebiete und hügelige, seenreiche Nordostgebiete unterteilen. Insgesamt zeigt sich ihre Vegetation durch eine typische, aber komplex strukturierte Tundravegetation aus. Im Norden dominieren Sträucher, ansonsten boreale Nadelwälder.

Der größte der über 100.000 Seen der Kola-Halbinsel ist der Imandrasee (812 km²) im Westen, während der Umbsee (Umbozero) mit 115 m am tiefsten ist.

Von den ca. 21.000 Flüssen sind der Tuloma im Westen und der Ponjoi im Osten die Größten. Die Flüsse sind nicht schiffbar, werden aber für die Energieerzeugung genutzt.

Das Klima der Kola-Halbinsel ist sehr unterschiedlich. Aufgrund der Erwärmung durch den Golfstrom ist der Norden subarktisch, die Inselmitte jedoch kontinental, d. h. kalt gemäßigt, geprägt.

2.2 Svalbard

Die Inselgruppe Svalbard liegt auf der Nordwestecke der europäischen Kontinentalplatte (Barentschelf), die vom Eurasischen Becken im Norden und der Framstraße im Westen, die den einzigen Tiefseezugang des Nordpolarmeeres zu den Weltmeeren bildet, begrenzt wird. Der Archipel liegt weit nördlich des Polarkreises zwischen 74 und 81 Grad nördlicher Breite sowie zwischen 10 und 35 Grad östlicher Länge zwischen der Barentssee im Süden und Osten, dem Europäischen Nordmeer im Westen und dem Nordpolarmeer im Norden.

Nach dem Ersten Weltkrieg wurde Svalbard, das bis dahin Niemandsland war, durch den 1920 in Versailles unterschriebenen und 1925 in Kraft getretenen Spitzbergenvertrag unter norwegische Oberhoheit gestellt. Allerdings wurde Svalbard nicht Teil Norwegens wie die Gebiete auf dem Festland, was gerade in jüngerer Zeit dadurch deutlich wurde, dass Svalbard im Gegensatz zum norwegi-

schen Festland nicht zum Schengengebiet gehört. Die wichtigsten Sonderregelungen des Spitzbergenvertrags legen fest, dass:

- Svalbard unter norwegische Verwaltung und Gesetzgebung gestellt wird,
- die Bürger aller Signatarstaaten (darunter auch die Bundesrepublik Deutschland als Rechtsnachfolgerin der Weimarer Republik) freien Zugang und die gleichen Rechte auf wirtschaftliche Nutzung besitzen,
- Svalbard demilitarisierte Zone ist. Das heißt, dass kein Land einschließlich Norwegen Militär auf Svalbard stationieren darf.

Neben Norwegen nimmt heutzutage nur noch die Russische Föderation aktiv das Recht auf die wirtschaftliche Förderung wahr und baut tertiäre Steinkohle im westlichen Nordenskiöld Land am Grønfjorden ab. Die Landgebiete des Archipels Svalbard besitzen eine Gesamtgröße von 62.049 km² und sind damit etwas kleiner als Schleswig-Holstein und Niedersachsen zusammen. Die Hauptinsel Spitzbergen (ehemals Vestspitsbergen) nimmt eine Größe von 39.044 km² ein, gefolgt von Nordaustlandet (14.443 km²), Edgeøya (5.030 km²) und Barentsøya (1.288 km²). Kleinere Inseln sind Kvitøya im Nordosten (682 km²), Prins Karls Forland an der Westküste von Spitzbergen (640 km²), Kongsøya (350 km²), Bjørnøya (178 km²) und Hopen (47 km²). 64 % der Fläche Svalbards sind durch Nationalparks und Reservate geschützt (s. Abb. 2-2), so dass Bergbau in diesen Regionen nicht möglich ist. Auch in anderen Gebieten bestehen erhebliche Vorbehalte gegen Explorations- und/oder Bergbauaktivitäten (s. Gold).

Die landschaftliche Gliederung Svalbards ist deutlich abhängig von der Geologie. Entlang der Westküste verläuft ein Gebirgszug, der teilweise durch alttertiären West Spitsbergen Fold-and-Thrust-Belt herausgehoben wurde. Der höchste Berg in dieser Zone ist der 1.432 m hohe Horsundtind im Sørkapp Land. Der zentrale Bereich Spitzbergens sowie Edgeøya und Barentsøya werden aus einer Plateau-Landschaft aus meist horizontal liegenden Sedimentgesteinen aufgebaut, die im Süden und Osten der Hauptinsel intensiv durch Gletscher und Täler zergliedert ist. Im Nordosten Spitzbergens liegt

mit der Atomfjella das höchste Gebirge Svalbards mit dem Newtontoppen und Perriertoppen (jeweils 1.717 m) als größte Erhebungen. Nordaustlandet wird durch eine Rumpflandschaft mit Höhen unter 500 m und die beiden großen Inlandeiskappen Austfonna und Vestfonna gekennzeichnet.

Die Westküste Spitzbergens wird durch mehrere große Fjordsysteme wie den Hornsund, den Bellsund, Isfjorden, Kongsfjorden, Krossfjorden und Magdalenefjorden gegliedert. Auch die Nordküste ist durch mehrere große Fjorde wie Raudfjorden, Liefdefjorden, Woodfjorden, Wijdefjorden und

Lomfjorden charakterisiert. Mit 110 km bildet der parallel zu einer prominenten Störungszone verlaufende Wijdefjorden den längsten Fjord Svalbards. Auch Nordaustlandet besitzt neben zahlreichen Fjorden an der Nordküste den Wahlenbergfjorden und Murchisonfjorden an der Westküste.

Rund 60 % des Archipels sind vergletschert (36.612 km²). Große Inlandeisflächen und Gebirgsgletschersysteme sind im Süden, Osten und Norden Spitzbergens entwickelt, während der Zentralbereich relativ wenig vergletschert ist. Auch die Plateaulandschaften der Edgeøya und Barent-

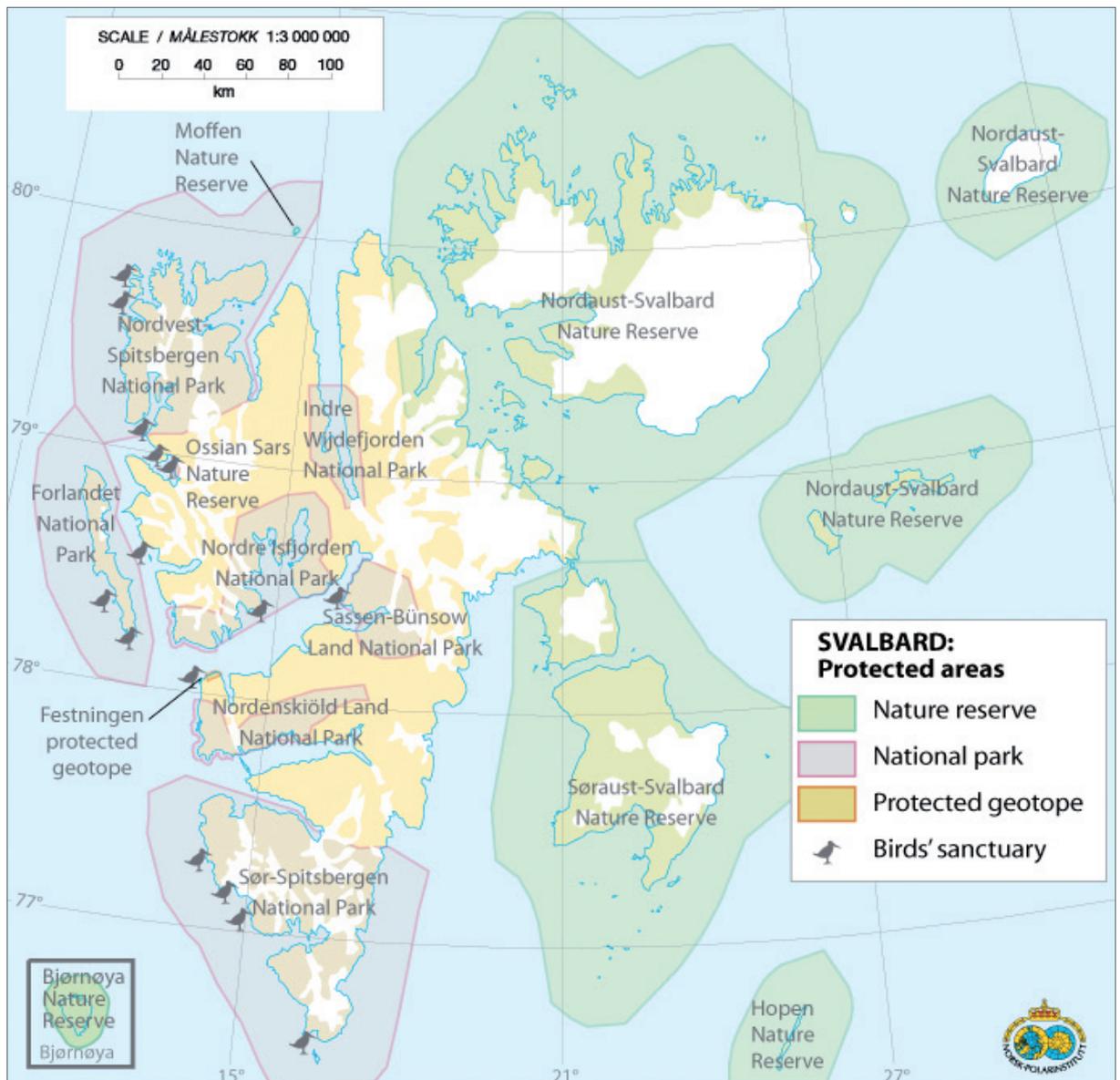


Abb. 2-2: Karte der Schutzgebiete Svalbards, Quelle: NORWEGIAN POLAR INSTITUTE.

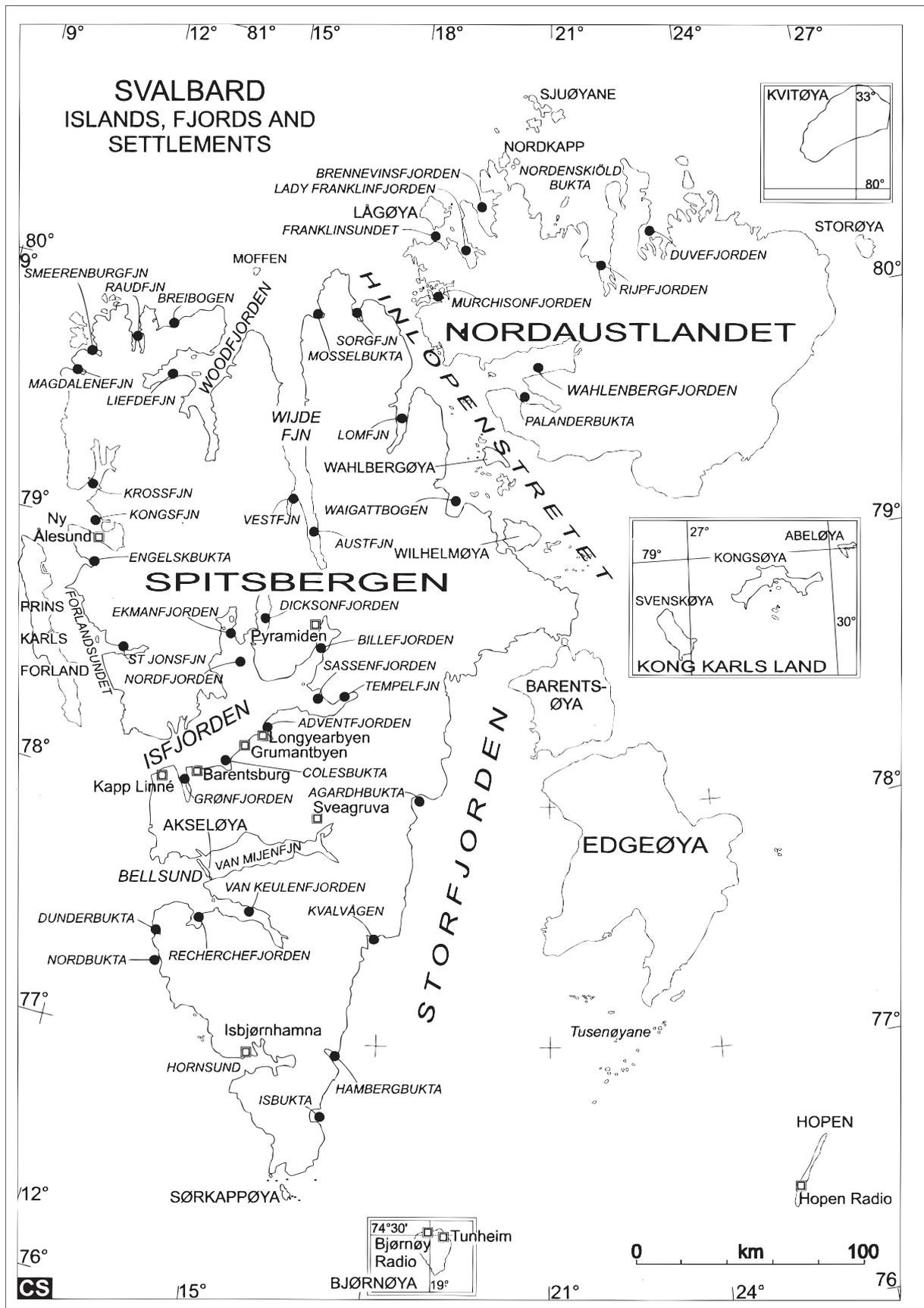


Abb. 2-3: Namen der wichtigsten Inseln, Fjorde und Siedlungen auf Svalbard, aus HARLAND (1997).

søya sind relativ wenig vergletschert. Die größten zusammenhängenden Eisflächen bzw. Eiskappen sind auf Nordaustlandet entwickelt: die Austfonna mit der Vegafonna (8.492 km²) und die Vestfonna (2.500 km²). Die Ausfonna bildet flächenmäßig den größten Gletscher Europas und besitzt mit einer durchgehenden Eisfront von 150 km an der Süd- und Ostküste Nordaustlandet die längste Gletscherfront der Nordhalbkugel.

Der Hauptort von Svalbard und Sitz des Gouverneurs (Sysselmannen) ist Longyearbyen (78° 13' N, 15° 38' E) mit etwa 2.000 Einwohnern. Hauptarbeitgeber sind die Verwaltung, das University Centre of Svalbard (UNIS), der Tourismus und diverse internationale Forschungseinrichtungen sowie die Store Norske Spitsbergen Grubekompani. Von ursprünglich sieben Kohlegruben der einzigen Kohlengesellschaft Norwegens in Longyearbyen ist nur noch die Grube 7 mit einer Förderung von ca. 70.000 t pro Jahr in Betrieb, die zum Teil exportiert werden, zum Teil für das Kohlekraftwerk in Longyearbyen genutzt werden. Im zweiten norwegischen Ort Ny-Ålesund (78° 55' N, 11° 56' E) am Kongsfjorden wurde durch die Firma Kings Bay Kull Compani (heute Kings Bay AS) bis zur Schließung der Gruben nach schweren Bergwerksunfällen 1963 tertiäre Kohle gefördert. Heute ist die Kings Bay AS für die Infrastruktur in Ny-Ålesund auf Svalbard verantwortlich, das mittlerweile ein internationaler Forschungsstandpunkt geworden ist mit ständig bemannten Stationen von Norwegen, Deutschland (des Alfred-Wegener-Instituts, seit 1991, heute zusammen mit Frankreich als AWIPEV betrieben), Frankreich (seit 1998), China (eröffnet 2004) und mit begrenzt besetzten Stationen von Italien, Großbritannien, Japan sowie Gebäuden für Forscher aus Spanien, Südkorea und den Niederlanden.

Der dritte norwegische Ort Sveagruva (77° 54' N, 16° 41' E) liegt im Van Mijenfjorden 60 km südlich von Longyearbyen. Die benachbarte Grube Svea Nord ist die Hauptgrube der Store Norske Spitsbergen Grubekompani mit 2,6 Mio. geförderten Tonnen Kohle im Jahr 2009. Im Jahr 2008 wurden 56,3 % der Gesamtförderung nach Deutschland exportiert.

Barentsburg (78° 4' N, 14° 13' E) im Grønfjorden 55 km westlich von Longyearbyen ist die einzige

verbliebene russische Siedlung, in der ein Bergwerk mit dem Abbau tertiärer Steinkohle durch das russische Unternehmen Trust Arktikugol betrieben wird. Heutzutage ist die Kohleförderung weit zurückgegangen, und auch die Bevölkerung ist von bis zu 1.450 Menschen in den 1990er Jahren auf etwa 400 Einwohner im Jahr 2010 zurückgegangen.

Pyramiden (78° 40' N, 16° 23' E) ist eine russische Geisterstadt, in der die Trust Arktikugol unter schwierigsten geologischen Bedingungen karbonische Steinkohle abgebaut hat. 1998 wurde die Siedlung mit ehemals bis zu 1.000 Einwohnern aufgegeben, und heute wird nur noch ein kleines Containerhotel für Touristen unterhalten.

Im Hornsund, Süd-Spitzbergen (77° 00' N, 15° 33' E) liegt die einzige ständig besetzte Forschungsstation auf Svalbard außerhalb der Siedlungen. Sie wird seit dem Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/1958 von Polen unterhalten. Außerdem gibt es zwei kleine norwegische Wetterstationen auf Bjørnøya und Hopen.

Das Klima auf Svalbard wird von den nördlichen Ausläufern des Golfstroms beeinflusst, der für ein für diese hohen nördlichen Breiten vergleichsweise mildes und ausgeglichenes Klima verantwortlich ist und dafür sorgt, dass weite Bereiche des Archipels im Sommer umschifft werden können. Auch im Winter ist die Westküste Spitzbergens oft eisfrei.

Das Klima in den verschiedenen Landesteilen von Svalbard ist recht unterschiedlich: Während die Westküste durch den so genannten Westspitzbergenstrom ein relativ warmes und feuchtes Klima aufweist, sind die nordöstlichen und östlichen Landesteile (z. B. Nordaustlandet) deutlich kühler und trockener. Im zentralen Bereich von Spitzbergen (Longyearbyen) liegen die Temperaturen im Sommer zwischen 3 und 9 °C mit Maximalwerten von 16 – 20 °C. Sommerlicher Frost ist hier eher selten, während die Temperatur in den nordöstlichen Gebieten im Juli und August öfter unter den Gefrierpunkt fallen können. Der auch im Winter nur teilweise zugefrorene Ozean sorgt dafür, dass die Temperaturen auch im Winter nicht sehr tief liegen, verglichen mit z. B. den kontinentalen Bedingungen Sibiriens. So kann es durchaus vorkommen, dass

es im Dezember noch regnet. Die kältesten Monate sind Januar, Februar und der März, in denen die Temperatur bis unter -40 °C fallen kann. Die mittlere Jahrestemperatur in Longyearbyen beträgt $-6,7\text{ °C}$ für den Zeitraum von 1961 bis 1990.

Verglichen mit Europa ist Svalbard durch ein relativ trockenes Klima charakterisiert. Während entlang der Gebirge der feuchten Westküste ca. 350 mm Niederschläge im Jahr niedergehen (Ny-Ålesund: 370 mm), sind es in Longyearbyen nur noch 180 mm. Ein Teil des Niederschlags fällt vor allem ab Februar als Schnee, im Sommer meistens als Regen, obwohl auch im Juli und August immer mit Schneeeinbrüchen gerechnet werden muss.

2.3 Island

Island ist die größte Vulkaninsel der Welt und bildet den über dem Meeresspiegel liegenden Teil des Mittelatlantischen Rückens zwischen der nordamerikanischen und der eurasischen Kontinentalplatte im Nordatlantik. Island liegt knapp südlich des Polarkreises und ist mit etwa 103.000 km^2 etwa so groß wie Bayern und Baden-Württemberg zusammen.

Die Gestalt der isländischen Küste ist unterschiedlich. Während die Südküste sehr wenig gegliedert ist, sind die Küsten im Norden und Westen von zahlreichen Fjorden und Halbinseln gekennzeichnet.

Die Hauptstadt Reykjavik befindet sich im Südwesten der Insel und ist mit knapp 120.000 Einwohnern die größte Stadt der Insel. Der überwiegende Teil der Siedlungen liegt an der Küste. Das Landesinnere Islands ist weitgehend unbewohnt und wird durch Vulkanlandschaften geprägt. Der höchste Berg ist der Hvannadalshnúkur mit 2.110 m Höhe. Rund 11 % der Fläche Islands sind durch Gletscher bedeckt, von denen der im Südosten der Insel gelegene Vatnajökull („Wassergletscher“) mit Abstand der Größte ist. Mit fast 3.000 km^3 ist der Vatnajökull volumenmäßig zugleich der größte Gletscher Europas, da die Eismächtigkeit teilweise bis zu 1.000 m beträgt. Flächenmäßig ist er mit rund 8.100 km^2 (etwa 8 % der Fläche Islands) nach der Austfonna in Svalbard jedoch nur der zweitgrößte. Beide Gletscher gehören zum Typ der Inlandeiskappen.

Das Klima Islands ist ozeanisch kühl und wird durch zwei Meeresströmungen geprägt. Die Nord- und Westküste liegen im Bereich des aus der Arktis kommenden kalten Grönlandstroms, der durch die Dänemarkstraße zwischen Grönland und Island fließt, während die Südküste vom relativ warmen Irmingerstrom (5 °C) beeinflusst wird, der einen Zweig des Golfstroms bildet. Aufgrund dieses Stroms ist das Klima in Island, wie auch im restlichen Europa, milder und ausgeglichener als in anderen Regionen in diesen Breitengraden. Die Winter sind mit Tagestemperaturen zwischen 0 und 3 °C mild und die Sommer mit Temperaturen zwischen 12 und 15 °C relativ kühl. Am wärmsten ist es in Island in der Zeit von Mitte Juni bis Ende August/Mitte September, wobei es im Landesinneren im Sommer deutlich kühler ist. Die Niederschläge betragen bis zu 2.000 mm im Jahr, wobei der Nordosten tendenziell trockener ist.



Abb. 2-5: Das Geothermalgebiet bei Namaskarð, Quelle: WIKIPEDIA.



Abb. 2-4: Satellitenaufnahme von Island am 9.9.2002, Foto: NASA/WIKIPEDIA.

3 BERGBAU UND UMWELT

3.1 Historischer Bergbau

Aufgrund der guten Zugänglichkeit vom wärmeren Süden her und der dauerhaften Besiedlung ist der arktische Anteil Skandinaviens, mit Ausnahme Finnlands, geologisch gut bekannt. Bereits die umherwandernden Samen wurden auf markante Steine aufmerksam und meldeten diese irgendwann auch einmal an die Behörden, die gerne bereit waren, mit den Erlösen aus Erzverkäufen den Staatshaushalt zu verbessern. Die eigentliche Erschließung der vielfältigen Rohstoffvorkommen des arktischen Norwegens begann Anfang des 19. Jahrhunderts und erreichte ihren ersten Höhepunkt in den Jahren vor dem 1. Weltkrieg. Damals waren auch zahlreiche deutsche Firmen an der Gewinnung, vor allem von Eisenerzen, Buntmetallen und Kupfer, beteiligt. Ende des 19. Jh. setzte die Gewinnung von Eisenerz in Nordschweden, ausgelöst durch den Bau der Eisen-

bahnstrecke von Luleå am Bottnischen Meerbusen über Kiruna und später weiter bis zum ständig eisfreien Hafen Narvik in Nordnorwegen ein. In den folgenden Jahrzehnten wurde auch Kupfer, mit Gold als Begleitmetall, gewonnen – bis heute dominiert die Gewinnung dieser drei Metalle die Rohstoffindustrie Schwedens nördlich des Polarkreises. Die Prospektion der Kola-Halbinsel, deren westlichster Teil erst 1947 von Finnland an Russland gelangte, begann in den 1920er Jahren, unmittelbar gefolgt vom Einsetzen des Bergbaus. Dieser wurde wenige Jahre später, während des 2. Weltkriegs, bereits wieder größtenteils unterbrochen. Im Gegensatz hierzu wurde die Erkundung des arktischen Finnlands erst in jüngster Zeit durch den verstärkten Einsatz geophysikalischer Explorationsmethoden ermöglicht. Hier hatten die unzähligen Seen und Moore sowie die mächtige

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	bisherige Produktion
Metalle				
Smorten, Vestvøy	Eisenerz	1903	1908	< 100.000 t @ 55 – 60 % Fe
Meløy	Eisenerz	1904	1930	417.000 t Erz
Dunderlandsdalen, diverse Erzkörper	Eisenerz	1904 1928 1937 1964	1908 1931 1939 aktiv	72 Mt @ 34 % Fe
Neverhaugen	Eisenerz	1905 1911 1918		
Bogen	Eisenerz	1906	1939	365.000 t Magnetitkonzentrat, 62 – 68 % Fe
Matmoderen, Østvågøy	Eisenerz	1907	1908	? .000 t @ 54 % Fe
Bjarkøy	Eisenerz	1907 1911	1908 1912	9.600 t Erz @ 50 % Fe
Salangen	Eisenerz	1909	1912	96.000 t Erz @ 33 % Fe
Sydvaranger, diverse Erzkörper	Eisenerz	1910 1952 2009	1942 1997 aktiv	ca. 190 Mt Erz @ 30 % Fe
Andørja	Eisenerz	1912		? t Erz @ 18 – 25 % Fe
Tromsøysund	Eisenerz	1916		1.548 t Erz mit 30 % Fe
Birtavarre	Kupfer	1826 1896	1878 1909	200.000 t Erz @ 4,3 % Cu 13.000 t Cu
Raipas	Kupfer	1837	1870	12,5.000 t Erz @ 6,3 (3,0?) % Cu

Tab 3-1: Übersicht über den historischen und derzeitigen kommerziellen Bergbau im arktischen Teil Norwegens (ohne Baurohstoffe). Mt = Mio. t

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	bisherige Produktion
Metalle				
Melkedalen	Kupfer	1899	1913	15.000 t Erz @ 0,5 – 1 % Cu + 2,2 % Zn
Kvænangen	Kupfer	1904	1908	
Middavarre	Kupfer	1904 1910	1906 1920	? t Erz @ 10 – 16 % Cu
Porsa	Kupfer	1905	1918	? t Erz @ 2,2 – 19,4 % Cu
Hopen	Kupfer	< 1904,1908, 1911,1916		
Sulitjelma (Nord), diverse Erzkörper	Kupfer	1886	1991	17,78 Mt Erz @ 1,8 – 2,2 % Cu + 0,4 % Zn
Bachkes	Kupfer	1909	1931	25.000 t Erz @ 1,95 % Cu
Moskodal	Kupfer	1907	1918	3.666 t Erz @ 3,6 % Cu
Sørdalshøgda, Ringvassøya	Kupfer	1905	1910	
Vaddas	Kupfer	1915	1920	700.000 t Erz @ 1,37 % Cu
Berg	Kupfer	1916	1918	3.400 t Erz @ 1 % Cu
Bidjovagge	Kupfer, Gold	1968 1986	1975 1992	2,327 Mt Erz @ 1,19 % Cu + 3,6 ppm Au; 4.000 t Cu + 6.200 kg Au
Ulveryggen	Kupfer, Silber	1972	1979	3,1 Mt Erz @ 0,663 % Cu; 51.000 t Kupferkonzentrat @ 35,5 % Cu + 50 – 70 ppm Ag
Svenningdalen	Silber, Gold	1879	1889	ca. 3.300 t Erz @ 0,5 % Ag + 10 – 15 ppm Au; 16.500 kg Ag
Gautelis	Gold	1916	1920	
Mofjell(et)	Zink, Pyrit, Blei, Kupfer, Silber	1884 1928	1888 1987	4,35 Mt Erz @ 3,61 % Zn, ca. 7 % S, 0,71 % Pb, 0,31 % Cu + 10 ppm Ag
Båsmo	Pyrit, Kupfer, Zink, Silber	1894 1932	1921 1937	ca. 1,6 Mt Erz @ 19,83 % S, 0, 13 % Cu + 0,14 % Zn
Rieppe	Zink, Kupfer	1904	1907	? t Erz @ 2 % Zn + 0,5 % Cu
Sulitjelma- Jakobsbakken	Zink, Kupfer	1896	1986	4,47 Mt Erz @ 2,42 % Zn + 1,55 % Cu
Rodfjeld	Pyrit, Kupfer, Zink	1910	1919	50.000 t Erz @ 50,5 % S, 45,25 % Fe, 0,51 % Cu + 1,08 % Zn
Bjorkåsen	Pyrit, Kupfer, Zink, Silber	1917	1964	6 Mt Erz @ 28,5 – 30 % S, 0,4 – 0,45 % Cu, 0,4 – 1 % Zn + 15 ppm Ag
Malmhaug	Pyrit, Eisen, Zink	1921 1936	1937	
Bleikvassli	Blei, Zink, Kupfer, Silber	1957	1997	4,9 Mt Erz @ 2,5 % Pb, 4,2 % Zn, 0,22 % Cu + 25 ppm Ag
Vatterfjord	Molybdän	1915	1918	? t Erz @ 0,5 – 3,33 % MoS ₂
Laksådal(en)	Molybdän	1917 1937	1920 1945	36.000 t Erz @ 0,25 % Mo
Senja	Nickel	1872	1886	109.000 t Erz @ 0,87 % Ni + 0,46 % Cu; 950 t Ni + 500 t Cu
Måløy	Nickel	1883	1886	200 t Erz @ 5,5 % Ni
Ballangen	Nickel, Kupfer, Kobalt	1989	2002	8,537 Mt Erz @ 0,52 % Ni, 0,13 % Cu + 0,03 % Co; 32.500 t Ni, 9.140 t Cu + 1.530 t Co

Tab. 3-1 Fortsetzung: Übersicht über den historischen und derzeitigen kommerziellen Bergbau im arktischen Teil Norwegens (ohne Baurohstoffe).

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	bisherige Produktion
Industrieminerale				
Drag, diverse Gruben	Feldspat	1907	1977	
Rønvikfjellet	Glimmer	1911		600 kg
Ørnetind	Glimmer	1912	1940	
Bekkarfjordnes	Glimmer	ca. 1916		
Senja-Skaland	Graphit	1917	2003?	? t Erz @ 26 % C
Trælen	Graphit	2003	aktiv	
Høensebyfjorden (Storvann)	Glimmer	1920	1940	
Altermark	Talk	1932	aktiv	
Hammarfall	Dolomit	1934	aktiv	
Mårnes	Quarzit	1934 1970	1950 aktiv	
Bognelvdalen	Glimmer	1936	1951	
Brennsund	Glimmer	um 1940		
Åksgardet	Glimmer	1940	1946	
Rånbogelva und Rånkeipen	Glimmer	?	1945	
Stjernøy	Nephelinsyenit	1961	aktiv	
Rendalsvik	Glimmer	1969	1982	
Ballangen-Hekkelstrand	Dolomit	1971	aktiv	
Tana	Quarzit	1974	aktiv	
Nedre Øyvollen	Quarz	1987	1995	Hunderte Tonnen
Løvgavlen	Dolomit	1988	aktiv	
Velfjord-Akselberg	Calciumkarbonat	1998	aktiv	
Kvitblikvatnet	Dolomit	1998	aktiv	
Svanvik	Quarz	2006	aktiv	
Senja-Trælen	Graphit	2008?	aktiv	
Seljeli	Dolomit		aktiv	
Naturwerksteine				
Beirn	Nwst.-Granit		aktiv	
Fauske-Løvgavlen	Nwst.-Marmor	1885	aktiv	
Fauske-Leivset	Nwst.-Marmor	1896 1969	1902 aktiv	
Anfinnsletta	Nwst.-Syenit	1910 1985	1940 aktiv	
Alta, diverse Steinbrüche	Nwst.-Quarzit-schiefer	1860	aktiv	
Nordreisa	Nwst.-Quarzit-schiefer	1895	aktiv	
Steigen	Nwst.-Gneis	1989	aktiv	
Balgami	Nwst.-Gneis	1993	aktiv	
Nyelv	Nwst.-Gneis	1994	aktiv	
Grunnes	Nwst.-Seifenstein	1997	aktiv	
Naranes	Nwst.-Quarzit	1998	aktiv	
Riebanvarri	Nwst.-Quarzit	2000	aktiv	

Tab. 3-1 Fortsetzung: Übersicht über den historischen und derzeitigen kommerziellen Bergbau im arktischen Teil Norwegens (ohne Baurohstoffe).

Grundmoränenbedeckung eine Erforschung des Rohstoffpotenzials zuvor erheblich behindert.

Die Tabellen 3-1 bis 3-4 zeigen eine Auflistung des historischen und derzeitigen Bergbaus in Nordskan-

dinavien, wobei viele Produktionsdaten nicht publiziert sind.

Svalbard ist bisher vor allem durch die Gewinnung hochwertiger Steinkohlen durch norwegische und russische Firmen bekannt geworden. Die wenigen

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	bisherige Produktion
Metalle				
Junosuando	Eisenerz	1642	1805	32 Mt @ 25 – 30 % Fe
Malmberget, diverse Erzkörper	Eisenerz	1888	aktiv	494 Mt Erz @ 59 – 64 % Fe
Kiruna, diverse Erzkörper	Eisenerz	1898	aktiv	> 960 Mt Erz @ 46 – 68 % Fe
Svappavaara-Mertainen	Eisenerz	1956	1958	428.000 t Erz @ 34 % Fe
Svappavaara-Leveäniemi	Eisenerz	1964	1982	57.773.400 t Erz @ 62,8 % Fe
Svappavaara-Grubberget Cu	Kupfer	1654	1741	845 t Erz
Nautanen-Max östra	Kupfer, Gold	1902	1918	124.311 t Erz
Nautanen-Liikavare-8 + Liikavare-Nya Findet	Kupfer, Gold, Silber	1904	1907	1.859 kg Erz
Ferrum	Kupfer, Gold,	1905	1918	453 kg Erz
Fridhem	Kupfer, Gold	1907?		
Aitik	Kupfer, Gold Silber	1968	aktiv	466 Mt Erz @ 0,34 % Cu, 0,1 ppm Au + 2,62 ppm Ag; 1,6 Mt Cu, 48,3 t Au + 1.219 t Ag
Viscaria-A	Kupfer	1982	1997	12,54 Mt Erz @ 2,29 % Cu
Pahtohavare	Kupfer, Gold	1990	1997	1.720.300 t Erz @ 1,89 % Cu + 0,88 ppm Au
Nasafjäll	Blei, Silber	1635	1806	20.000 t Erz @ 30 ppm Ag + 1,5 % Pb, 500 t Pb; 1.000 kg Ag
Maddaäive	Molybdän	1940er		20 t Erz @ 0,48 % Mo
Industrieminerale				
Kiruna-Malmberget	Apatit	1917 1940 1952	1946 1953	
Jokkmokk, diverse Gruben	Quarz	1927	1945	46.000 t Quarz + 5.000 t Feldspat
Äpartjåkko	Magnesit	1940er		
Meraslinka	Graphit	1956		400 t Erz @ 40 % C
Isaksberg	Feldspat	1969		10.000 t Feldspat

Tab. 3-2: Übersicht über den historischen und derzeitigen kommerziellen Bergbau im arktischen Teil Schwedens (ohne Baurohstoffe).

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	bisherige Produktion
Metalle				
Misi-Kärväsvaara	Eisenerz	1959	1967	1.094.000 t Erz @ 46,2 % Fe; 429.552 t Fe
Misi-Raajärvi + Leveäselkä	Eisenerz Titan Vanadium	1962	1975	6.093.000 t Erz @ 40,62 % Fe, 0,11 % Ti + 0,11 % V; 2.079.224 t Fe, 5.724 t Ti + 5.631 t V
Kolari- Rautuvaara (NE + SW)	Eisenerz, Kupfer	1962	1988	11.564.000 t Erz @ 46,78 % Fe + 0,32 % Cu; 5,341 Mt Fe + 26.346 t Cu
Misi-Puro	Eisenerz	1969	1974	60.000 t Erz @ 53 % Fe
Kolari-Hannukainen (Kuervaara)	Eisenerz	1978	?	1,1 Mt Erz @ 41,6 % Fe
Kolari-Hannukainen (Laurinoja)	Eisenerz	1982 1990 2000	1988 1990 2000	3.258.000 t Erz @ 43,0 % Fe, 0,45 % Cu + 0,25 ppm Au + 207.000 t Erz @ 0,92 % Cu + 1,01 ppm Au + 18.000 t Berge @ 0,33 % Cu + 0,32 ppm Au Hannukainen gesamt: 1.865.000 t Fe, 14.814 t Cu + 213 kg Au
Sirkka	Kupfer, Nickel (?)	1953	1956	9.500 t Erz @ 0,34 % Cu + 0,52 % Ni
Pahtavuoma-Cu	Kupfer, Silber	1974 1989	1976 1993	295.000 t Erz @ 1,07 % Cu + 26 ppm Ag; 3.157 t Cu + 5.310 kg Ag
Lapland- diverse Flüsse	Gold	1868	aktiv	2.300 kg Au
Sirkka kaivos	Gold	1956		3 kg Au
Saattopora	Gold	1989	1995	2,15 Mt Erz @ 3,25 ppm Au + 0,26 % Cu, 6.278 kg Au + 5.177 t Cu
Pahtavaara	Gold	1996 2003 2008	2000 2006 aktiv	1,697 Mt Erz @ 2,14 ppm Au; 3.814 kg Au
Kutuvuoma	Gold	1999		68 kg Au
Suurikuusikko	Gold	2008	aktiv	Erz @ 2,99 – 4,84 ppm Au
Naturwerksteine				
Sakiatieva	Nwst.-Granit			
Angeli	Nwst.- Anorthosit			
Sinermänpalo	Nwst.-Marmor	1976	aktiv	
Lokka	Nwst.-Quarzit	1982	aktiv	
Louepalo	Nwst.-Marmor		aktiv	
Tornion- Kukkolankoski	Nwst.-Marmor		aktiv	
Keminmaa	Nwst.-Gabbro		aktiv	
Meltaus	Nwst.-Granit		aktiv	
Kaarestunturi	Nwst.-Quarzit		aktiv	
Orakoski	Nwst.-Quarzit		aktiv	

Tab. 3-3: Übersicht über den historischen und derzeitigen kommerziellen Bergbau im arktischen Teil Finnlands (ohne Baurohstoffe).

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	bisherige Produktion
Metalle				
Olenegorskoe	Eisenerz	1954	aktiv	75,06 Mt ²⁾ @ 30,6 % Fe
Kovdor	Eisenerz	1961	aktiv	768,42 Mt ¹⁾ @ 24,4 % Fe
Kirovogorsky	Eisenerz	1978	aktiv	90 Mt ³⁾ @ 33 % Fe
XV. Oktyabr'skoi Revolyutsii	Eisenerz	1986	aktiv	? Mt @ 29,7 % Fe
Komsomol'skoe	Eisenerz	1989	aktiv	? Mt @ 29,2 % Fe
Prof. Bauman	Eisenerz	?	aktiv	44,83 Mt
Nittis-Kumuzh'ya-Travyanaya	Nickel, Kupfer (Kobalt, Silber, Gold)	1935	1975	3,1 Mt @ 5,1 % Ni, 2,9 % Cu, 0,23 % Co, 5,2 ppm Ag + 2,2 ppm Au; 158.000 t Ni + 90.000 t Cu
Kaula	Nickel, Kupfer, Kobalt, Platingruppen- metalle	1937 1949	1944 1999	14,6 Mt @ 2,6 % Ni, 1,4 % Cu, 0,08 % Co + 3 ppm PGM
Semiletka	Nickel, Kupfer (Kobalt, Silber, Gold, Platingruppenmetalle)	1941 1968	1944 2006	8,63 Mt @ 0,73 % Ni, 0,35 % Cu, 0,027 % Co, 1,33 ppm Ag, 0,14 ppm PGM + 36 ppb Au, 63.000 t Ni + 42.000 t Cu
Zhdanovskoe	Nickel, Kupfer (Kobalt, Silber, Gold, Platingruppenmetalle)	1959	aktiv	73,51 Mt @ 0,57 % Ni, 0,25 % Cu, 0,023 % Co, 1,18 ppm Ag, 58 ppb PGM + 8 ppb Au, 419.000 t Ni + 247.000 t Cu
Kootsel'vaara-Kammikivi	Nickel, Kupfer (Kobalt, Silber, Platingruppenmetalle)	1960	aktiv	26,92 Mt @ 1,2 % Ni, 0,64 % Cu, 0,018 % Co, 1,4 ppm Ag + 185 ppb PGM; 323.000 t Ni + 144.000 t Cu
Allarechka	Nickel, Kupfer, Kobalt	1962	1972	2,23 Mt @ 3,59 % Ni, 1,77 % Cu + 0,075 % Co
Vostok	Nickel, Kupfer, Kobalt	1969	2000	2,34 Mt @ 2,1 % Ni, 0,95 % Cu + 0,028 % Co
Zapolyarnoe	Nickel, Kupfer (Kobalt, Silber, Gold, Platingruppenmetalle)	1973	aktiv	9,77 Mt @ 2,19 % Ni, 1,16 % Cu, 0,046 % Co, 3,4 ppm Ag, 185 ppb PGM + 8 ppb Au, 214.000 t Ni + 109.000 t Cu
Insel Medvezhij	Silber	1736	1737	463 kg (493 kg) Ag
Umba	Blei, Zink	1880	1880	11,5 t
Dolgaya Fjord	Blei, Zink	1941	1944	961.000 t @ 3,57 % Pb + 2,43 % Zn
Bazarnaya Fjord	Blei, Zink	1941	1944	391.000 t @ 8,96 % Pb + 5,06 % Zn
Lovozero (Karnasurt)	Niob, Tantal, Seltene Erden (Zirkonium)	1951	aktiv	unbekannt
Lovozero (Umbozero)	Niob, Tantal, Seltene Erden (Zirkonium)	1984	aktiv	unbekannt
Khibiny (Kukisvumchorr)	Apatit	1930	aktiv	unbekannt
Yena	Muskovit	1934	aktiv ?	unbekannt
Khibiny (Yuksporskoe)	Apatit	1951 1957	aktiv	1.700 Mt Erz
Khibiny (Rasvumchoor)	Apatit	1954 1963	aktiv	265 Mt P ₂ O ₅
Khibiny (Apatit Circus)	Apatit	1956	aktiv	unbekannt

Tab. 3-4: Übersicht über den historischen und derzeitigen kommerziellen Bergbau auf der Kola-Halbinsel (ohne Baurohstoffe und Torf). ¹⁾Stand: 31.12.2002, ²⁾Stand: 31.12.2006, ³⁾eigene Hochrechnung.

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	bisherige Produktion
Metalle				
Khibiny (Apatit Circus)	Apatit	1956	aktiv	unbekannt
Khibiny (Koashvinskoe)	Apatit	1978	aktiv	unbekannt
Khibiny (Koashvinskoe)	Apatit	1989	1989?	unbekannt
Kuru-Vaara	Feldspat	?	aktiv	unbekannt
Otradnoje	Feldspat	?	aktiv	unbekannt
Kyoskoe	Muskovit	?	aktiv?	unbekannt

Tab. 3-4 Fortsetzung: Übersicht über den historischen und derzeitigen kommerziellen Bergbau auf der Kola-Halbinsel (ohne Baurohstoffe und Torf). ¹⁾Stand: 31.12.2002, ²⁾Stand: 31.12.2006, ³⁾eigene Hochrechnung.

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	Produktion
Metalle				
Sinkholmen, Spitzbergen	Zinkblende	1924	1926	260 t (386 t) Zinkerz @ 63 % Zn
Antarcticfjellet, Bjørnøya	Bleiglanz	1927	1930	500 t Erz 303,5 t Bleikonzentrat
Industrieminerale				
Asbestodden, Spitzbergen	Asbest	1917	1919	
Billefjord, Spitzbergen	Gipsstein	1911 1918 1930er	1912 1925 1930er	
Kapp Thordsen, Spitzbergen	Phosphat	1920er?	1920er?	
Blomstrandhalvøya, Spitzbergen	Marmor	1910	1920	sehr wenige m ³

Tab. 3-5: Übersicht über den historischen und derzeitigen kommerziellen Bergbau auf Svalbard (ohne Energierohstoffe).

Lagerstätte	Mineral	Abbaubeginn	Abbauende	Produktion
Botn	Braunkohle	1918	1918	mehrere hundert t
Myvatn	Diatomit	1967	2004	ca. 850.000 t

Tab. 3-6: Übersicht über den historischen Bergbau auf Island (ohne Baurohstoffe).

und sehr kleinen Lagerstätten nicht-energetischer Rohstoffe standen nur zu Beginn des 20. Jahrhunderts und jeweils nur für wenige Jahre in Abbau. Einzelheiten zum historischen Bergbau sind der Tab. 3-5 zu entnehmen. Der historische Bergbau auf Island beschränkte sich bisher vorwiegend auf die Gewinnung von Torfsoden (als Brenn- und Baustoff), vulkanischen Gesteinen und Muschelsand (als Baustoff) sowie Schwefel, Meersalz und Braunkohle für die lokale Industrie bzw. Experimentierzwecke (s. Tab. 3-6). Diatomit wurde zwi-

schen 1967 und 2004 gefördert und nach Trocknung und Aufbereitung exportiert. Die isländische Ferrosilizium- und Aluminiumindustrie basiert dagegen auf dem Import von Roherzen und der Verarbeitung mittels günstiger hydroelektrischer und geothermischer Energie.

3.2 Umweltbelastungen

Aufgrund des sehr geringen historischen und aktiven Bergbaus auf Island und Svalbard – dort mit Ausnahme des Kohlebergbaus – sind die Umweltbelastungen durch den Bergbau auf Nordskandinavien und v. a. die Kola-Halbinsel beschränkt.

3.2.1 Nordskandinavien

Der Bergbaumweltschutz im nördlichen Skandinavien (Norwegen, Schweden und Finnland) hat sich in den letzten Jahrzehnten vor allem auf die Kontrolle der Emissionen konzentriert. Dadurch gelang es der Industrie, die Emissionen von Stäuben und verunreinigten Abwässern aktiv zu vermindern. Unterstützend bei der Verminderung der Emissionen wirkte auch der leichte Rückgang der Bergbau- und Hüttenindustrie in Skandinavien.

Aufgrund der günstigen Möglichkeiten der Energieversorgung (Wasserkraft in Norwegen und Schweden, Erdgas in Norwegen und Atomenergie in Schweden und Finnland) spielt die Schmelz- und Hüttenindustrie im nördlichen Skandinavien noch immer eine wichtige Rolle. Im internationalen Vergleich nimmt die extraktive Industrie im nördlichen Skandinavien eine Vorreiterrolle im Umweltschutz ein, da die skandinavischen Länder die Verwendung der besten verfügbaren Technologie für die Bergbau- und Hüttenindustrie vorschreiben. Trotzdem werden im direkten Umkreis der Schmelzhütten, so z. B. der Aluminiumhütten in Norwegen, erhöhte Staub- und Gasemissionen festgestellt (z. B. von Fluor), die allerdings im Rahmen der nationalen Emissionsgrenzwerte liegen.

In Norwegen und Schweden, wo über Jahrhunderte Erze aus sulfidischen Lagerstätten gewonnen wurden (z. B. Kupferbergbau im norwegischen Røros-Distrikt (in Betrieb 1644 – 1977) und im Sulitjelma-Distrikt (in Betrieb 1887 – 1991) sowie im schwedischen Falun-Distrikt (in Betrieb seit Beginn 16. Jahrhundert bis 1992) ist die chemische Belastung von Oberflächen- und Grundwasser mit Schwermetallen und sauren Grubenwässern aus den Bergbaualtlasten noch immer problematisch; allerdings ist dies regional begrenzt. Trotz zahlreicher

Sanierungsbemühungen konnte die Altlastenproblematik in Skandinavien bisher noch nicht vollständig gelöst werden. Die Gründe hierfür liegen im alten Bergbau selbst, der sehr viele Wasserwegsamkeiten und somit Möglichkeiten zur Oxidation der sulfidischen Minerale „in situ“ sowie in den alten Halden und Schlammteichen geschaffen hat. Zum anderen ist das Neutralisierungspotenzial durch die Böden und das Nebengestein relativ schwach.

3.2.2 Kola-Halbinsel

Der weltweit führende Nickelproduzent Norilsk Nickel betreibt auf der Kola-Halbinsel vier Bergwerke, aus denen jährlich rund 8 Mio. t Kupfer- und Nickelerze gefördert werden (2008). Des Weiteren betreibt Norilsk auf der Kola-Halbinsel eine zentrale Aufbereitungsanlage, die Röstanlage Zapolyarny und die Schmelzhütte bei der Ortschaft Nickel. Der dort angereicherte Kupfer- und Nickelstein wird zusammen mit der Steinproduktion, die aus den sibirischen Norilsk-Betrieben stammt, in der zentralen Raffination, die bei Monchegorsk ca. 150 km südlich von Murmansk liegt, zu verkaufsfähigen Kupfer- und Nickelprodukten raffiniert (Abb. 3-1).

Das größte Umweltproblem, dessen Wurzeln noch in der sowjetischen Ära liegen, ist der Eintrag von Schwefeldioxid und Feinstäuben mit Schwermetall in die Atmosphäre. Durch den Einsatz von verbesserter Technologie bei der Abgasreinigung und bei der Eindämmung der fugitiven Emissionen, gelang es Norilsk Nickel nach eigenen Angaben 2008 die



Abb. 3-1: Lage der Norilsk-Betriebe auf der Halbinsel Kola; Quelle: NORILSK NICKEL.

Emissionen von Schwefeldioxid auf der Kola-Halbinsel um rund 3,5 % zu verringern. Allerdings ist der Absolutbetrag der Schwefeldioxidemission von Norilsk auf Kola mit jährlich 97.700 t noch mehr als fünfmal so groß wie die Schwefeldioxidemission von ganz Norwegen. Zudem hat der Konzern angekündigt, weitere Reduktionen nicht in der Höhe wie einmal geplant durchzuführen (Anonym 2009).

Die schon seit den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts andauernde Emission von Schwermetallen und Schwefeldioxid hat auf der Kola-Halbinsel sowie im Grenzgebiet zu Norwegen und Finnland zu einer starken Versauerung von Gewässern und Böden sowie zu einer Akkumulation von Schwermetallen in der Nahrungskette geführt.

Die Wirkungen der Schwermetallemissionen – vor allem von Kupfer und Nickel als Hauptschadstoffe, aber auch von Kobalt und Vanadium – werden durch die Wirkung des Schwefeldioxids potenziert und sind in unmittelbarer Nähe der metallurgischen Betriebe extrem. Allerdings konzentrieren sich die emittierten Schwermetalle innerhalb eines Umkreises von 200 km um die Quellen der Verschmutzung. Von der internationalen Organisation AMAP – Arctic Monitoring and Assessment Programme – (Anonym 2002) wird allerdings geschätzt, dass sich 5 – 10 % der auf der Kola-Halbinsel emittierten Schwermetalle über die gesamte Arktis verteilen. Das auf der Kola-Halbinsel emittierte Schwefeldioxid trägt zumindest auch in Nordeuropa zum sauren Regen bei.



Abb. 3-2: Schädigung der Vegetation durch den kombinierten Effekt von Schwermetall- und Schwefeldioxidemissionen (ANONYM 2002).

4 GEOLOGIE UND METALLOGENIE

4.1 Nordskandinavien und die Kola-Halbinsel

Nordskandinavien und die Kola-Halbinsel gehören zu zwei geologisch-tektonischen Einheiten:

- dem Baltischen oder Fennoskandischen Schild (im Osten und im Zentrum) und
- dem Kaledonischen Falteingürtel oder den Kaledoniden (im Westen).

Der Fennoskandische Schild stellt eine der wichtigsten Bergbauregionen Europas dar. Besonders der nördliche, arktische Teil ist stark mineralisiert. Im Gegensatz zu anderen Schildgebieten der Erde sind hier jedoch die paläoproterozoischen Gesteine stärker vererzt als die archaischen.

Die ältesten erhaltenen Gesteine der kontinentalen Kruste im Fennoskandischen Schild wurden während der Saamischen Orogenese vor 3,1 – 2,9 Ga gebildet und werden durch vergneiste Tonalite, Trondjemite und Granodiorite dominiert. Im Murmansk-Block wurden sogar radiometrische

Metamorphose-Alter bis zu 3,5 Ga gemessen. Auf Spreizungszonen und Vulkanbögen zurückgehende Grünsteine sowie durch Subduktion erzeugte Kalkalkalivulkanite und tonalitisch-trondjemitische Plutonite gehen auf die Lopische Orogenese vor 2,9 – 2,6 Ga zurück. Nur wenige Mineralvorkommen, inklusive orogene Au-, BIF-, Mo- und ultramafische bis mafische Ni-Cu-Vorkommen, wurden bisher in diesen alten, archaischen Schildteilen entdeckt. Während des Paläoproterozoikums wurden Sumi-Sariolische (2,5 – 2,3 Ga) klastische Sedimente wechsellagernd mit Vulkaniten komatiitischer und tholeiitischer über kalkalkalischer und intermediärer bis felsischer Zusammensetzung auf dem tektonisch und metamorph überprägten archaischen Grundgebirge abgelagert.

Geschichtete Intrusionen, viele von ihnen mit Cr-, Ni-, Ti-, V- und/oder PGM-Anreicherungen, gehen auf ein großes magmatisches Ereignis vor 2,45 – 2,39 Ga zurück.

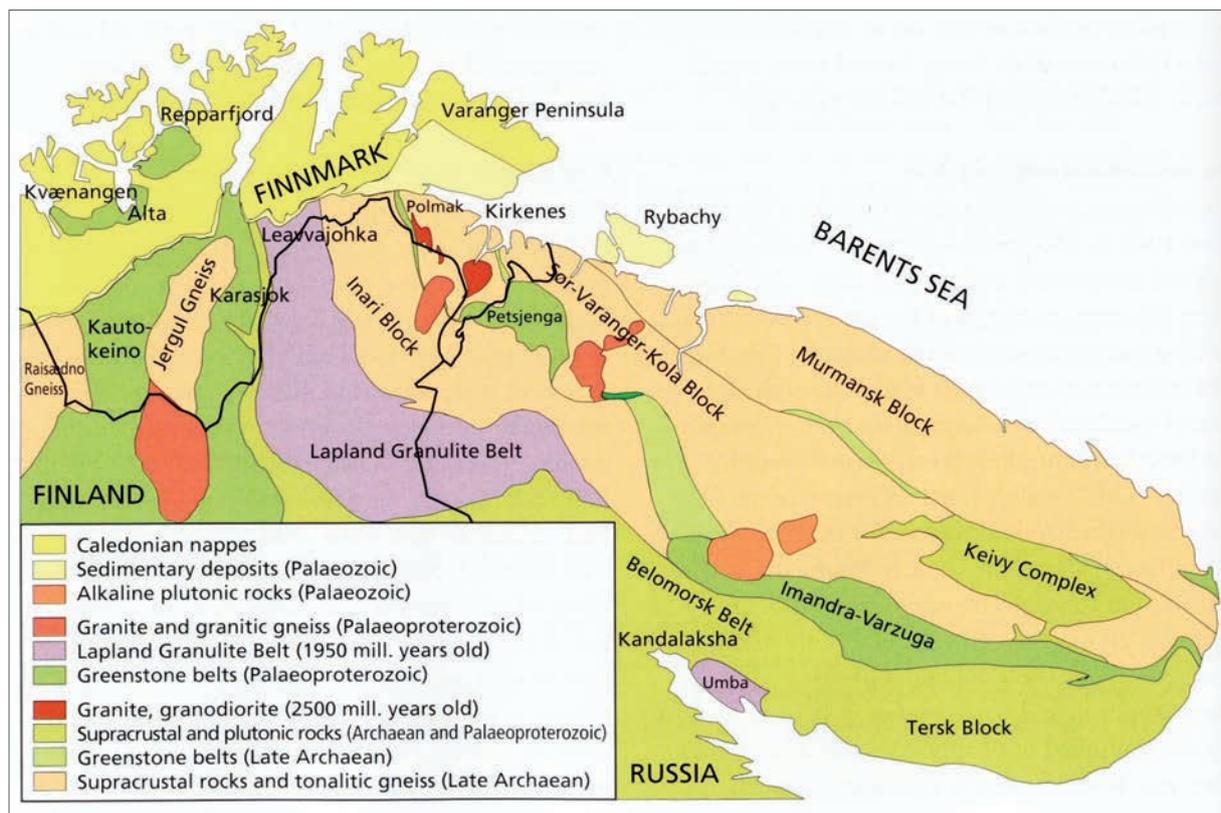


Abb. 4-1: Geologische Übersichtskarte der Kola-Halbinsel und der östlichen Finnmark, aus RAMBERG ET AL. (2008).

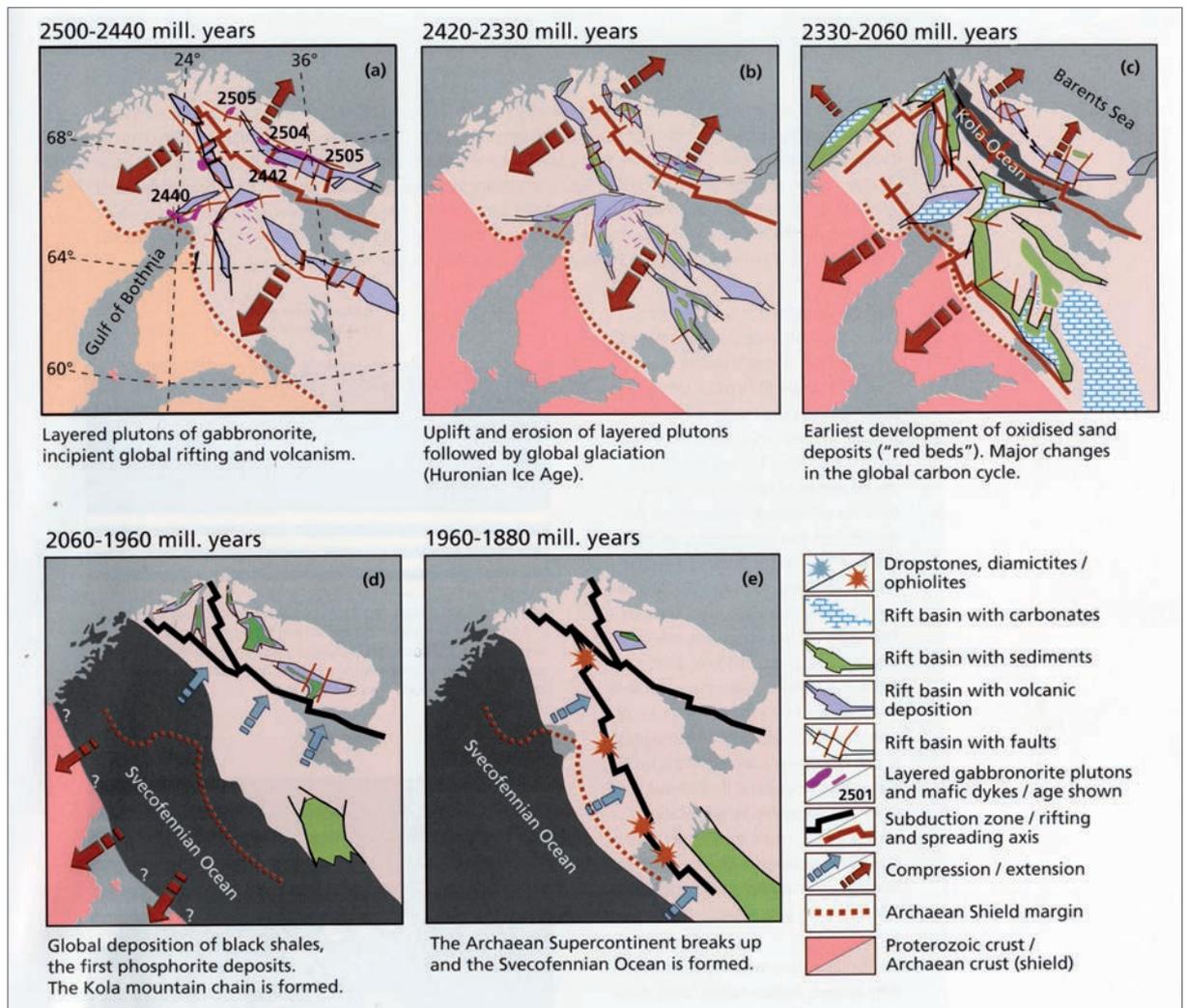


Abb. 4-2: Geologische Entwicklung des Nordostens des Fennoskandischen Schildes im Proterozoikum, aus RAMBERG ET AL. (2008).

Lange Zeiträume mit Ablagerung mittel- bis grobkörniger Sedimente wurden im Nordosten des Fennoskandischen Schildes durch kurze Zeiträume mit Spreizungsaktivitäten, verbunden mit einem komatiitischen und basaltischen Vulkanismus vor 2,2, 2,13, 2,05 und 2,0 Ga unterbrochen. In enger Beziehung zu den dabei abgelagerten subaquatischen und vulkanoklastischen Gesteinen, treten in der gesamten Region Karbonatite, Graphitschiefer, Eisenformationen und stratiforme Sulfidvorkommen auf.

Svekofennische, in Verbindung mit einer Subduktionszone stehende Kalkalkaliandesite und assoziierte Vulkanoklastika wurden vor rund 1,9 Ga im nördlichen Fennoskandien in terrestrischen bis flachmarinen Milieus abgelagert. Die nur im Kirunagebiet lagernden, 1,89 Ga alten Gesteine der Kirunavaara-

Gruppe (ehemals Kiruna Porphyrite) unterscheiden sich chemisch deutlich von diesen Andesiten. Die svekofennischen Porphyrite sind die Trägergesteine von Apatit-Eisenerzen und verschiedener Arten von epigenetischen Cu-Au-Vorkommen inkl. porphyrischer Cu-Vorkommen.

Der bis zu 10 km mächtige Stapel aus paläoproterozoischen Vulkaniten und Sedimentgesteinen wurde während der Intrusion von 1,89 – 1,87 Ga alten Granitoiden mehrfach tektonisch und metamorph überprägt. Anatektische Granite drangen vor 1,82 – 1,79 Ga während einer weiteren großen Deformations- und Metamorphosephase ein. Die großräumige Migration von Fluiden verschiedener Salinitäten während der zahlreichen Phasen magmatischer, tektonischer und metamorpher Aktivitäten

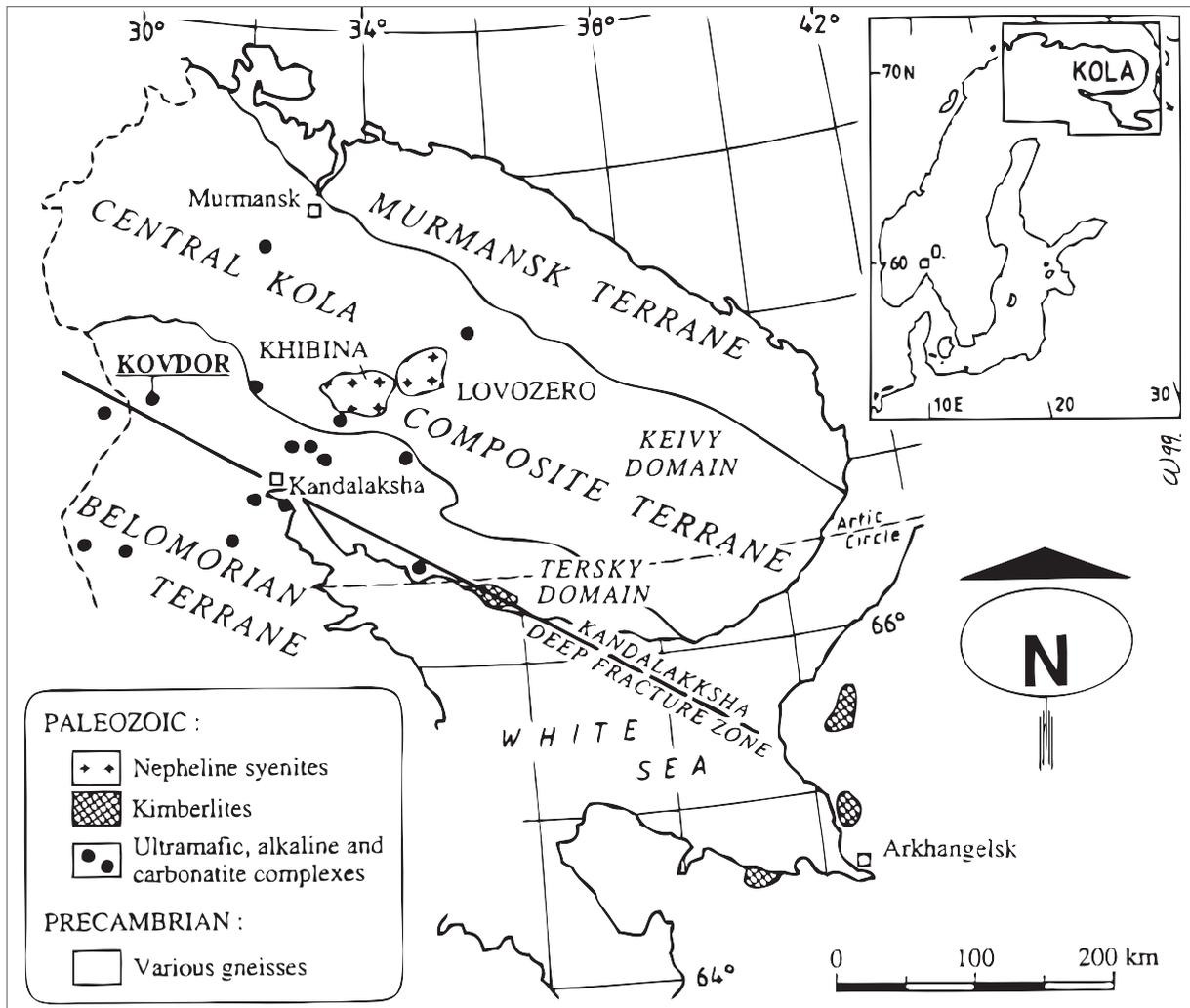


Abb. 4-3: Übersichtskarte der Kola-Halbinsel mit Darstellung der präkambrischen Terranes und der paläozoischen Intrusionen, aus VERHULST et al. (2000).

ist durch regionale Skapolitisierung, Albitisierung und Albit-Karbonatisierung belegt.

Zur Erklärung von Gesteinsbildungen und Mineralisationen während der Svekokarelischen (oder auch Svekofennischen) Orogenese vor 1,95 bis 1,77 Ga gehen viele Modelle von Subduktionszonen in Fennoskandien aus. Diese Orogenese führte nicht nur zu einer umfassenden Aufarbeitung der älteren Kruste im Karelischen Kraton sondern auch zu einer Subduktion nach NE unter das Archaikum, verbunden mit der Akkretion verschiedener Vulkanbogenkomplexe aus SW nach NE. Das jüngste Modell zur Deutung der tektonischen Entwicklung des Fennoskandischen Schildes im Paläoproterozoikum geht von der Angliederung zahlreicher Terranes und Inselbögen an die archaischen Karelischen, Kola-

und Norrbotten-Kratone während fünf sich überlagernder Orogenesen aus. Der Karelische Kraton war über einen längeren Zeitraum (2,5 – 2,1 Ga) verstärkten Riftprozessen ausgesetzt, die um 2,06 Ga in einen Aufbruch der kontinentalen Kruste mündeten. Die Angliederung der Terranes erfolgte zwischen 1,92 und 1,87 Ga während der Lappland-Kola und Lappland-Savo Orogenesen (beide mit Höhepunkten um 1,91 Ga), als der Karelische Kraton mit den Kola- und Norrbotten-Kratonen kollidierte. Dieser Zeitrahmen umfasst auch die Finnische Orogenese (Höhepunkt um 1,88 Ga), die durch die Akkretion des Bergslagen-Terranes im Süden hervorgerufen wurde. Die folgende kontinentale Dehnungsphase (1,86 – 1,84 Ga) wurde durch die Ausdehnung heißer Kruste in den Hinterländern der Subduktionszonen im Süden und Westen ausgelöst. Während

der Svekobaltischen Orogenese (1,84 – 1,80 Ga) fand eine schräge Kollision mit Sarmatien statt. Nach der Kollision mit Amazonien während der Nordischen Orogenese (1,82 – 1,80 Ga) im Westen kam es zwischen 1,79 und 1,77 Ga auf dem Fennoskandischen Schild zu einem Kollaps der Orogene und einer Stabilisation. Die Gothische Orogenese (1,73 – 1,55 Ga) an der Südwestgrenze des Schildes beendete die paläoproterozoische orogenetische Entwicklung. Trotz dieses neuen, überarbeiteten Modells der Abläufe im Paläoproterozoikum ist die tektonische Entwicklung des Nordteils des Kareli-schen Kratons, d. h. des Teils nördlich der Grenze Archaikum-Proterozoikum bis heute nicht im Detail bekannt (Bergman et al. 2007).

Der Kaledonische Falten-gürtel schließt sich im Westen an den Fennoskandischen Schild an. Er

nimmt den größten Teil Norwegens und randliche Bereiche im Nordwesten Schwedens ein. Mächtige geosynklinale Gesteinsserien wurden während der Kaledonischen Orogenese zwischen 500 und 405 Ma (Höhepunkt um 444 Ma) nach Südosten hin zu mehreren, sich überlappenden Deckeneinheiten überschoben, wobei Gesteine des älteren Grundgebirges tektonisch mit einbezogen wurden.

Gliedert man die komplizierte Deckenfolge im nördlichsten Teil des kaledonischen Falten-gürtels chronostratigrafisch auf, so erhält man folgendes Bild (Binns 1978):

Im Zeitraum vom späten Präkambrium bis in das früheste Ordovizium wurden im sogenannten Iapetus-Ozean zwischen dem Fennoskandischen Schild im Osten und dem grönländischen Kraton

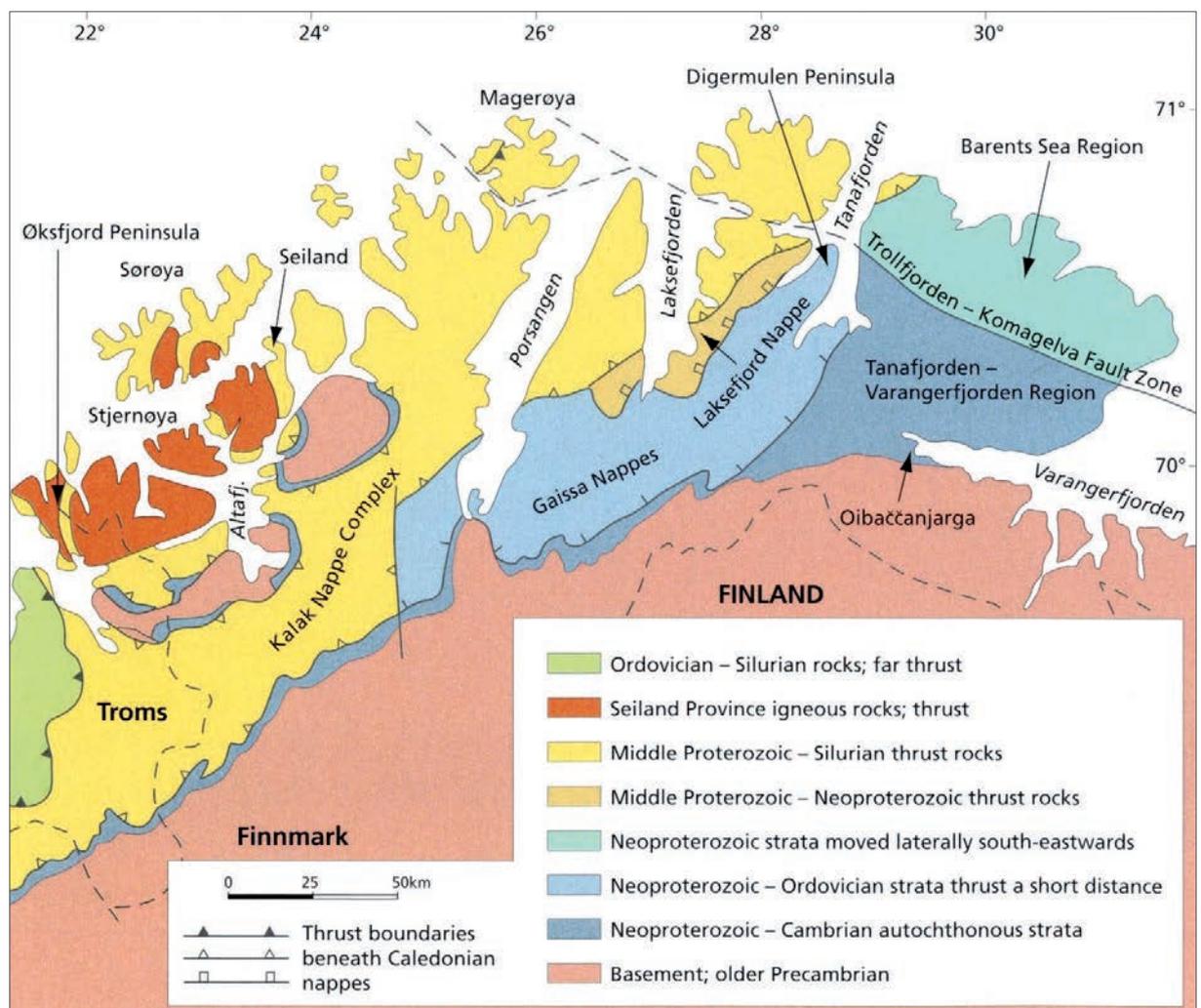


Abb. 4-4: Geologische Übersichtskarte Nordnorwegens bzw. der westlichen Finnmark mit Lage der wichtigsten Deckenkomplexe, aus RAMBERG et al. (2008).

Lagerstätte	Wertminerale	Gesamtressourcen	derzeitiger Lizenzinhaber
Norwegen			
Nussir	Cu, Ag, Au	25,52 Mt @ 1,16 % Cu, 18,4 ppm Ag + 0,13 ppm Au	Nussir ASA, Norwegen
Bidjovagge	Cu, Au	1,16 Mt @ 1,09 % Cu + 3,72 ppm Au	IGE Nordic AB, Schweden
Repparfjord	Cu	7 Mt @ 0,65 % Cu	Metallica Mining ASA, Norwegen
Mofjellet	Zn, Pb, Cu	3,22 Mt @ 2,5 % Zn, 0,4 % Pb + 0,3 % Cu	GEXCO AB, Schweden
Orrefjell	U	150.000 t @ 615 ppm U	Scandinavian Highlands Holding A/S, Dänemark
Bruvann	Ni	9.15 Mt @ 0,36 % Ni	Scandinavian Highlands Holding A/S, Dänemark
Schweden			
Kaunisvaara-Tapuli	Fe	103,9 Mt @ 23,7 – 27,8 % Fe	Northland Resources Inc., Kanada
Kaunisvaara-Stora Sahavaara	Fe	145 Mt @ 41,8 – 43,3 % Fe	Northland Resources Inc., Kanada
Kaunisvaara-Pellivuoma	Fe	90,8 Mt @ 29,8 – 30,1 % Fe	Northland Resources Inc., Kanada
Gruvberget-Fe	Fe	64,1 Mt @ 56,9 % Fe	LKAB AB, Schweden
Ruotevare	Fe, Ti, V	140 Mt @ 39,1 % Fe, 5,7 % Ti + 0,17 % V	Beowulf Mining plc., Großbritannien
Kallak	Fe	88 – 92 Mt @ 35 – 42 % Fe	Beowulf Mining plc., Großbritannien
Viscaria	Cu	39,8 Mt Erz @ 0,8 – 2,7 % Cu	Avalon Minerals Ltd., Australien
Lulepotten	Cu, Au	5,4 Mt Erz @ 0,8 % Cu + 0,3 ppm Au	Agricola Resources plc., Großbritannien
Jervas	Cu	10 Mt @ 4,1 % Cu	Blackstone Ventures Inc., Kanada
Norrbotten	Cu, Au		Blackstone Ventures Inc., Kanada
Kola-Halbinsel			
Yugo-Vostoch-naya Greymakha	Fe-Erz, Ti, V	364,65 Mt @ 9,72 % TiO ₂ (49,9 Mt Inhalt), 20,43 % Fe _{gesamt} (105,9 Mt Inhalt) + 0,1 % V ₂ O ₅ (585.000 t Inhalt)	MMC Norilsk Nickel, Russland
Souker	Ni, Cu	364 Mt @ 0,26 Ni + 0,06 % Cu	Kola Mining Corp., Kanada
Vuruchuaivench	Ni, Cu (Co, PGM, Au)	10,42 Mt @ 0,203 % Ni, 0,271 % Cu, 0,007 % Co, 388 ppb Pt, 2.897 ppb Pd + 151 ppb Au	MMC Norilsk Nickel, Russland
Pellapakh	Mo, Cu	667,74 Mt @ 0,25 % Cu, 0,06 % Mo, 2,12 ppm Ag + 0,08 ppm Au	Ovaca Gold plc., Irland
Oleningskoe	Au, PGM	1,02 Mt @ 13,9 ppm Au	Ovaca Gold plc., Irland
Nyal'm-1	Au	1,2 Mt @ 6,7 ppm Au + 0,058 % Be	Ovaca Gold plc., Irland
Nyal'm-2	Au	919.000 t @ 3,7 ppm Au	Ovaca Gold plc., Irland
Fedorovotundra	PGM, Au	Inhalt: 4,7 Moz Pd + 1,1 Moz Pt	OAO Pana, Russland / Barrick Gold Corp., Kanada
West Pansky Tundra	PGM	Inhalt: 50,8 t PGM	OAO Pana, Russland / Uralplatina Holding OOO, Russland
Ost Pansky Tundra	PGM		Sage Gold Inc., Kanada

Tab. 4-1: Übersicht über die derzeit wichtigsten Explorationsprojekte in der nordskandinavischen Arktis. (Mt = Mio. t).

Lagerstätte	Wertminerale	Gesamtressourcen	Derzeitiger Lizenzinhaber
Finnland			
Hannukainen	Fe, Cu, Au	166,2 Mt @ 34,6 – 37,6 % Fe, 0,23 – 0,32 % Cu + 0,13 – 0,17 ppm Au	Northland Resources Inc., Kanada
Keivitsa	Ni, Cu, PGM, Au	Reserven: 66,8 Mt @ 0,295 % Ni, 0,427 % Cu, 141 ppb Au, 509 ppb Pd + Pt Ressourcen: 432 Mt Erz @ 0,29 – 0,30 % Ni, 0,42 – 0,46 % Cu, 0,09 – 0,12 ppm Au, 0,21 – 0,46 ppm Pd + Pt	First Quantum Minerals Ltd., Kanada
Hanhimaa	Au		Dragon Mining Ltd., Australien
Tepasto	Mo, Cu		Dragon Mining Ltd., Australien

Tab. 4-1 Fortsetzung: Übersicht über die derzeit wichtigsten Explorationsprojekte in der nordskandinavischen Arktis. (Mt = Mio. t).

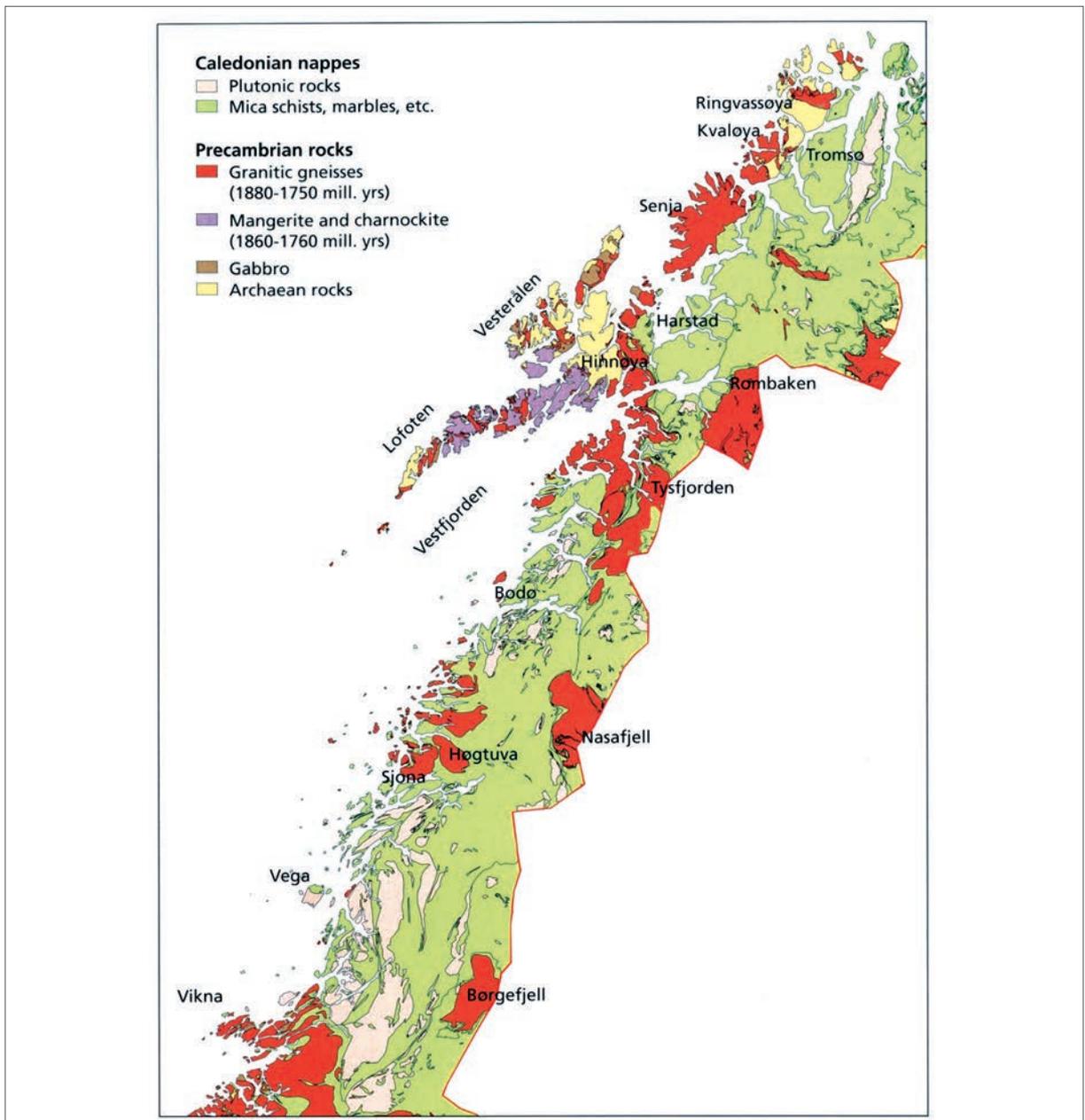


Abb. 4-5: Geologische Karte von Nordland und Westtroms mit Lage der präkambrischen Gesteine und kaledonischen Decken, aus RAMBERG et al. (2008).

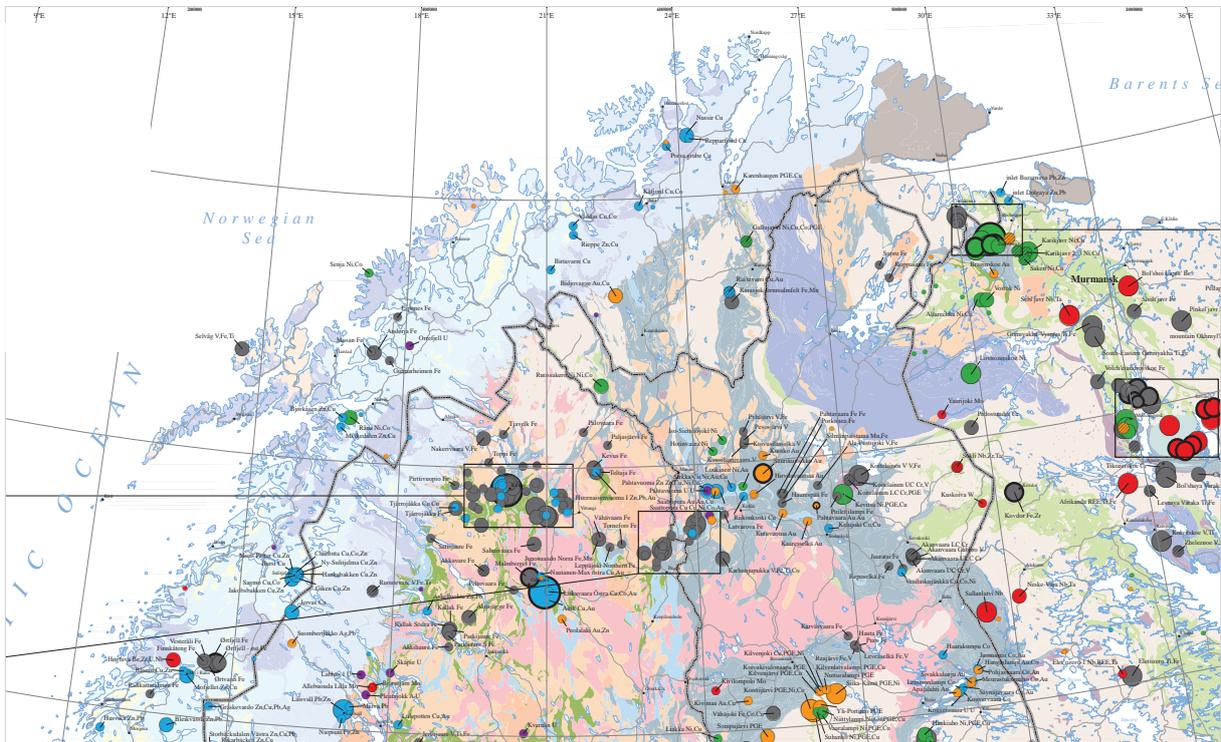


Abb. 4-6: Metallierzmineralisationen in Nordnorwegen, Nordschweden und Nordfinland. Legende s. Abb. 4-8. Ausschnitt aus EILU et al. (2008).

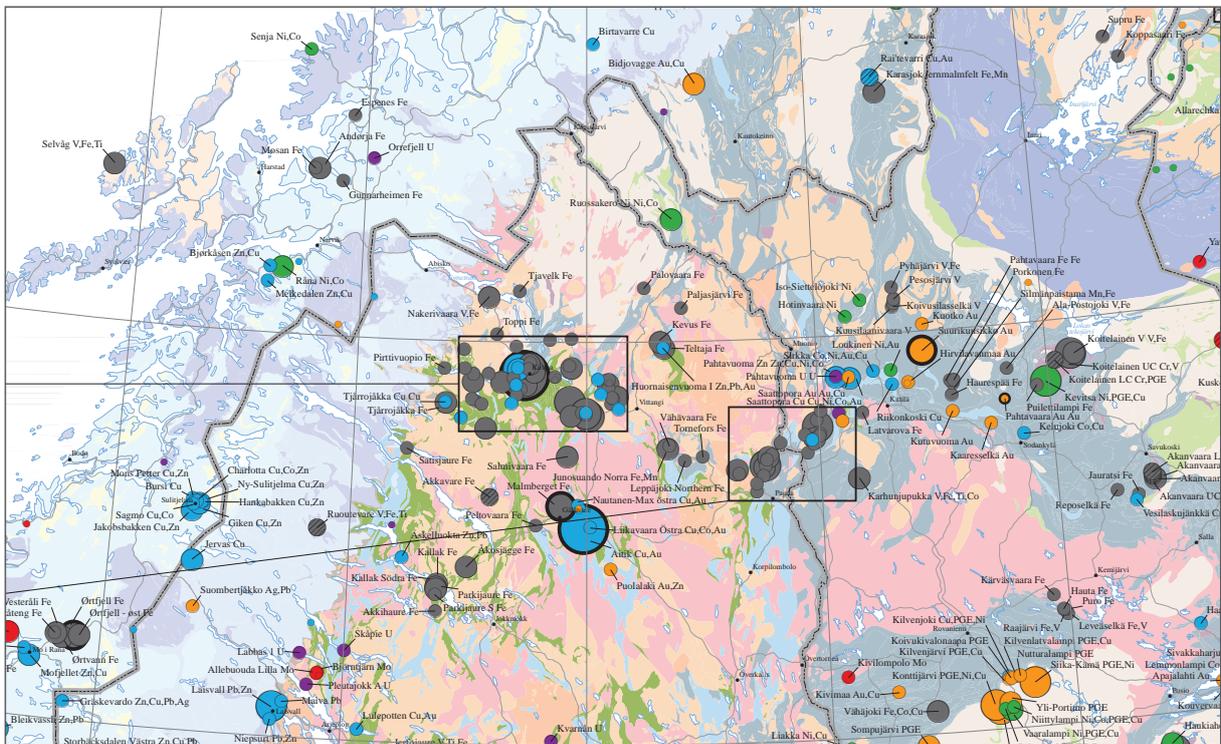


Abb. 4-7: Metallierzmineralisationen in Nordschweden. Legende s. Abb. 4-8. Ausschnitt aus EILU et al. (2008).

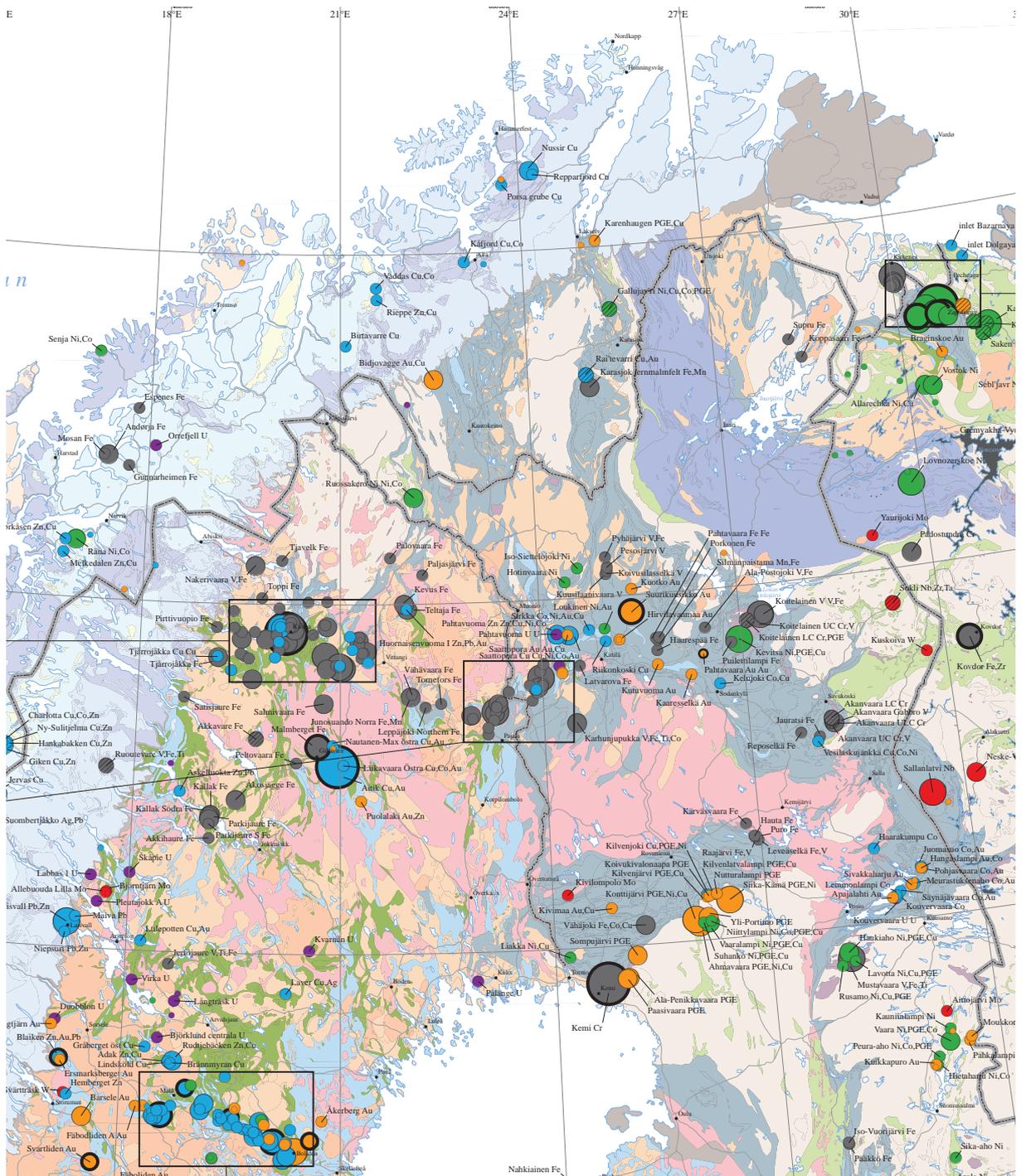
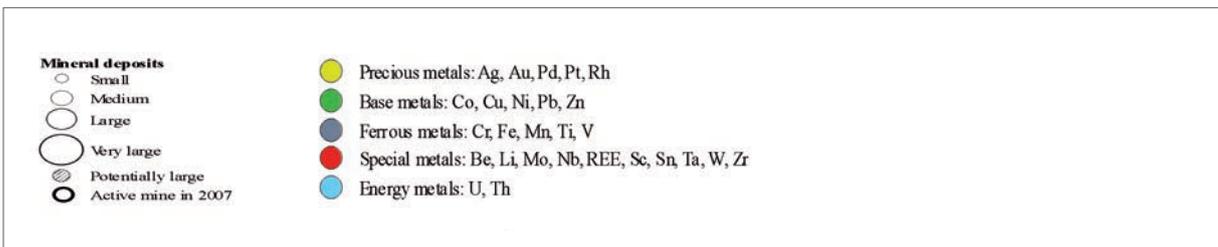


Abb. 4-8: Metallergzmineralisationen in Nordfinland. Ausschnitt aus EILU et al. (2008).



Legende zu den Abb. 4-6 bis 4-9, 5-9, 5-16 und 5-79. Ausschnitt aus EILU et al. (2008).

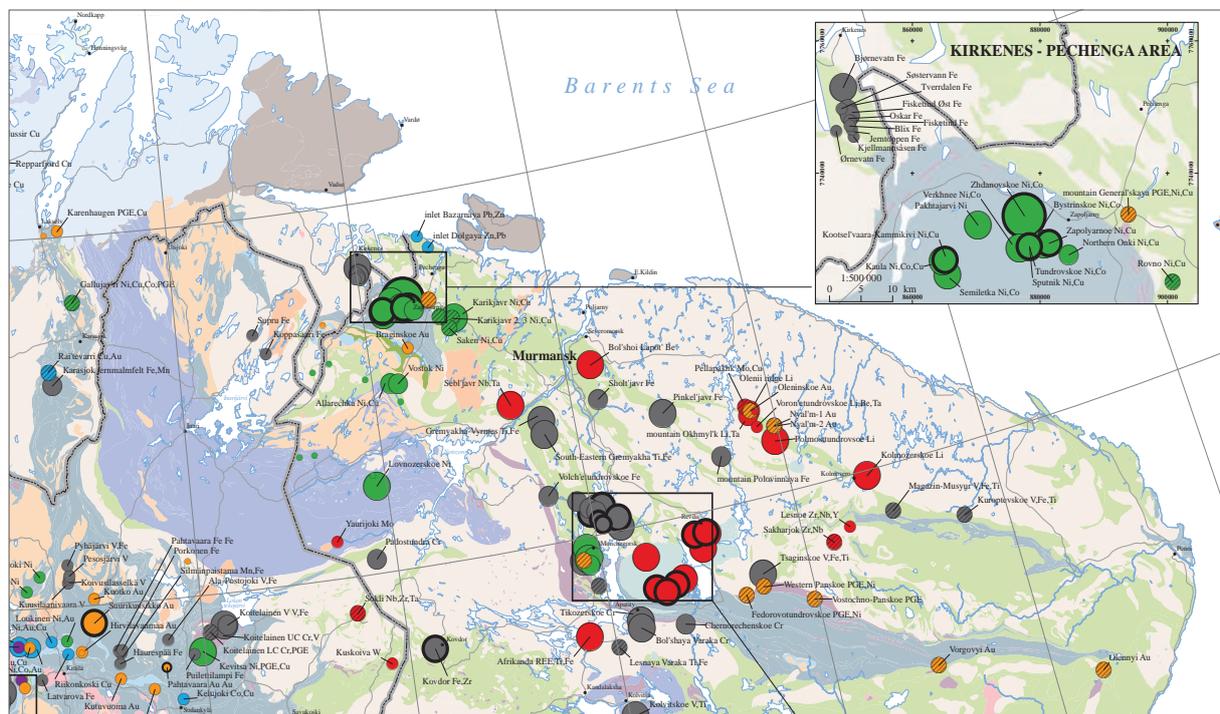


Abb. 4-9: Metallierzmineralisationen auf der Kola-Halbinsel. Legende Abb. 4-8. Ausschnitt aus EILU et al. (2008).

im Westen mächtige Schelf- und Beckensedimente abgelagert. Obwohl die Subduktion von Inselbögen und das zeitweise Rifting dieses Ozeans bereits im späten Präkambrium zu einer ersten Phase der Deformation und Metamorphose geführt haben mögen (Timanische Orogenese), lässt sich die erste Hauptphase der kaledonischen Orogenese eindeutig in den Zeitraum des späten Kambriums bis mittleren Ordoviziums festlegen. In dieser Zeit drangen auch die meisten mafischen, ultramafischen und Alkaligesteinskörper der heutigen Kaledoniden auf. Mit dieser ersten Hauptphase der Orogenese gingen zwar auch Sedimentationsunterbrechungen im Iapetus-Ozean einher, diese waren jedoch lokal begrenzt und noch unbedeutend. Während des späten Ordoviziums und des Silurs herrschten dann jedoch nur noch fluviatile, deltaische, Flachwasser- und Küstenablagerungsmilieus vor. Vulkanische Aktivitäten und turbiditische Ablagerungen blieben im Norden der Kaledoniden wesentlich seltener als im Süden. Auch dünne die Gesteinsfolgen nach Norden generell aus – ein Hinweis auf stärkere Einengung des Beckens zwischen den kollidierenden Landmassen nach Norden hin.

Vom Mittelsilur bis Mitteldevon wurde der Iapetus-Ozean endgültig geschlossen, was eine zwei-

te Hauptphase der kaledonischen Orogenese mit umfangreicher Deformation, Metamorphose und Intrusion magmatischer Gesteine verschiedenster Petrologie bewirkte. Die eigentliche Deckenbildung in den Kaledoniden, in der auch exotische Terranes eingegliedert wurden, lässt sich zeitlich mit dem Höhepunkt und dem Ende dieser zweiten orogenetischen Hauptphase korrelieren. Sie führte letztendlich zu dem Bild, wie sich die Kaledoniden heute tektonisch präsentieren. In den Decken der Kaledoniden lassen zudem tektonische Fenster Blicke auf ältere, überschobene Gesteinsserien zu. In Nordnorwegen handelt es sich dabei von Nord nach Süd:

- um das Repparfjord-Fenster,
- das Alta-Kvænangen-Fenster, das Lofoten-Fenster,
- das Rombak-Fenster und die Tysfjord-Kulmination.

Lithologisch kann man in den nördlichen Kaledoniden drei Bereiche unterscheiden:

- im Osten: Quarzite des Eokambriums, die bei Tana, Provinz Finnmark, seit 1974 im Abbau stehen,

- im zentralen Bereich: Gneise und Schiefer des Eokambriums und
- im Westen: Karbonatgesteine, Gneise des Eokambriums und Altpaläozoikums.

Während des Quartärs war Skandinavien mehrmals stark vergletschert. Zeugen dieser Eiszeiten, d. h. im Westen hohe Berge mit tief eingeschnittenen Fjorden, im Norden und Osten Moränenüberdeckung und unzählige Seen, behindern bis heute die Exploration, obwohl der Einsatz geophysikalischer Methoden hier bereits wesentliche Verbesserungen gebracht hat.

4.2 Svalbard

Regionalgeologisch kann Svalbard in fünf Provinzen unterteilt werden (s. Abb. 4-11): Der Heccla- Hoek-Komplex umfasst metamorphe Gesteine des Präkambriums bis frühen Silurs. Diese ältesten Gesteine Svalbards sind entlang der Westküste und im Nordosten von Spitzbergen sowie auf Nordaustlandet aufgeschlossen,

- der devonische Graben auf Nordspitzbergen,
- das zentrale Becken im mittleren Teil Spitzbergens,
- die Plattformgebiete in den östlichen Teilen von Spitzbergen, auf Edgeøya und Barentsøya,

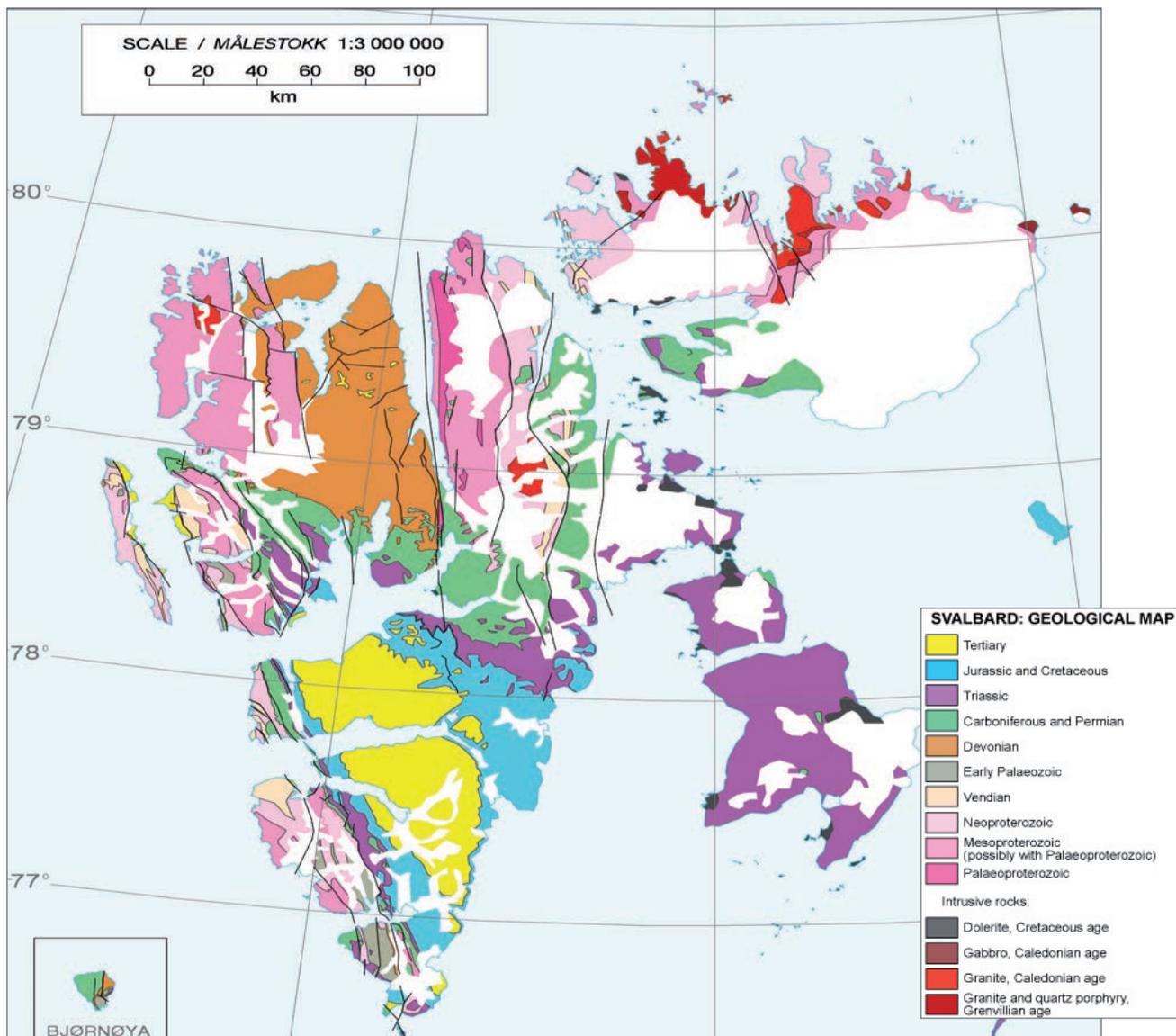


Abb. 4-11: Geologische Übersichtskarte von Svalbard, Quelle: NORWEGIAN POLAR INSTITUTE.

- der tertiäre Falteingürtel entlang der Westküste von Spitzbergen.

Die kaledonische Gebirgsbildung führte auch auf Svalbard zur Faltung, Verwerfung, Überschiebung sowie Metamorphose der zuvor abgelagerten präkambrischen bis mittelordovizischen Sedimente und eingedrungenen Plutonite. Die Orogenese war komplex und teils sehr intensiv. Aus ihr gingen auf Svalbard die Gesteine des Hecla-Hoek-Grundgebirgskomplexes hervor, dessen Gesamtmächtigkeit 15 – 20 km beträgt. Der kaledonischen Orogenese folgte im Devon eine Zeit der Grabenbildung, in der ein mächtiger Stapel, größtenteils kontinentaler Rotsedimente zur Ablagerung kam. Aus zwei Nord-Süd-streichenden Gräben in Nordspitzbergen wurden Gesamtgesteinsmächtigkeiten bis acht Kilometer rekonstruiert. An der Wende Früh-/Mitteldevon wechselt die Gesteinsfarbe von rot nach grau, was als Anzeichen für einen Wechsel von semiariden zu mehr humiden Klimabedingungen gedeutet wird. In den zentralen Grabenteilen bildeten sich Kohlen. Im Oberdevon führten starke Scherbewegungen an der Billefjord-Störungszone zur Faltung der devonischen Ablagerungen, die im Gelände als deutliche Diskordanz zu den hangenden Ablagerungen des Karbons sichtbar wird.

Das frühe bis mittlere Karbon umfasst eine Periode der Dehnung, die im Mittelkarbon zur Bildung des Billefjord-Grabens führte. Dieser wurde, bei stets anderen Senkungszentren, mit bis zu zwei Kilometer mächtigen marinen bis flachmarinen Ablagerungen gefüllt. Im übrigen Svalbard gelangte im Frühkarbon die Billefjord-Gruppe aus Konglomeraten, Sandsteinen und Kohlen zur Ablagerung. Diese bildeten sich in großen Flussdeltas im Übergangsbereich zu Sümpfen und abflusslosen Senken. Die obersten Einheiten der Billefjord-Gruppe enthalten in feinkörnigen Marschensedimenten die jüngsten karbonischen Kohlen, die bis 1997 durch russische Firmen bei dem Ort Pyramiden in Abbau standen. Die frühkarbonischen Sedimente leiten durch bis 1 km mächtige marine Karbonate und Evaporite der Gipsdalen-Gruppe in das Mittelkarbon über.

Während des Spätkarbons, über das Perm bis ins Mesozoikum entwickelte sich im Barentsschelf, der Svalbard umfasst, eine stabile Plattform. Die

unterkarbonische bis permische Abfolge besteht aus Kalksteinen, Dolomitsteinen und Evaporiten, die zum Hangenden in kieselige Kalksteine sowie verkieselte Schiefer und Siltsteine der Tempelfjord-Gruppe überleitet.

Die Grenze Perm-Trias ist auf Svalbard über weite Flächen aufgeschlossen und im gesamten Barents-Schelfgebiet auch als deutlicher seismischer Reflektor erkennbar. Während des Oberperm und der Untertrias lag das Sedimentationszentrum im Gebiet des äußeren Isfjords. Heute sind dort kieselige Schwarzschiefer aufgeschlossen, die ohne Diskordanz von weichen dunkelgrauen Schiefen überlagert werden. Weiter östlich, in Zentralspitzbergen, besteht die oberpermische Abfolge aus häufig glaukonitischen, stark zementierten sandigen Karbonaten, die am Top eine Erosionsoberfläche aufweisen. Sandsteine mit Einschlüssen aus permischen Gesteinen, die in grünlich graue Schiefer überleiten, bilden die tiefsten triassischen Horizonte.

Generell besteht die mesozoische Gesteinsabfolge aus wiederholten Zyklen von siliziklastischen Küsten- und Deltaabfolgen in ein weites Schelfbecken. Der Übergang von den unterpermischen Karbonaten und Evaporiten zu den oberpermischen und triassischen Klastiten fand statt, als die eurasische Platte in höhere Paläobreiten driftete. Zahlreiche gut entwickelte, sich zum Top hin vergrößernde Sequenzen von Ton- und Siltsteinen zu verschiedenen Sandsteinen in der Trias und im Unterjura (Sassendalen- und Kapp-Toscana-Gruppen), leiten in monotone Schiefer des Oberjura bis zur Unterkreide über (Janusfjellet-Untergruppe).

Der obere Abschnitt der Sassendalen-Gruppe ist reich an organischem Material und Phosphat und besteht aus feinkörnigen Sandsteinen, Siltsteinen und Schiefen eines flachen Schelfmeeres.

Auch die obertriassische bis mitteljurassische Kapp-Toscana-Gruppe führt in ihrer obersten klastischen Sequenz dünne Lagen mit Phosphoritkonkretionen. Die Kapp-Toscana-Gruppe wird vom 1 – 2 m mächtigen Brentskardhaugen-Bett, einem phosphatreichen Konglomerat, überlagert. Es wurde während der großen Transgression im Bathonium abgelagert, die die Abfolge der Adventdalen-Gruppe einleitet.

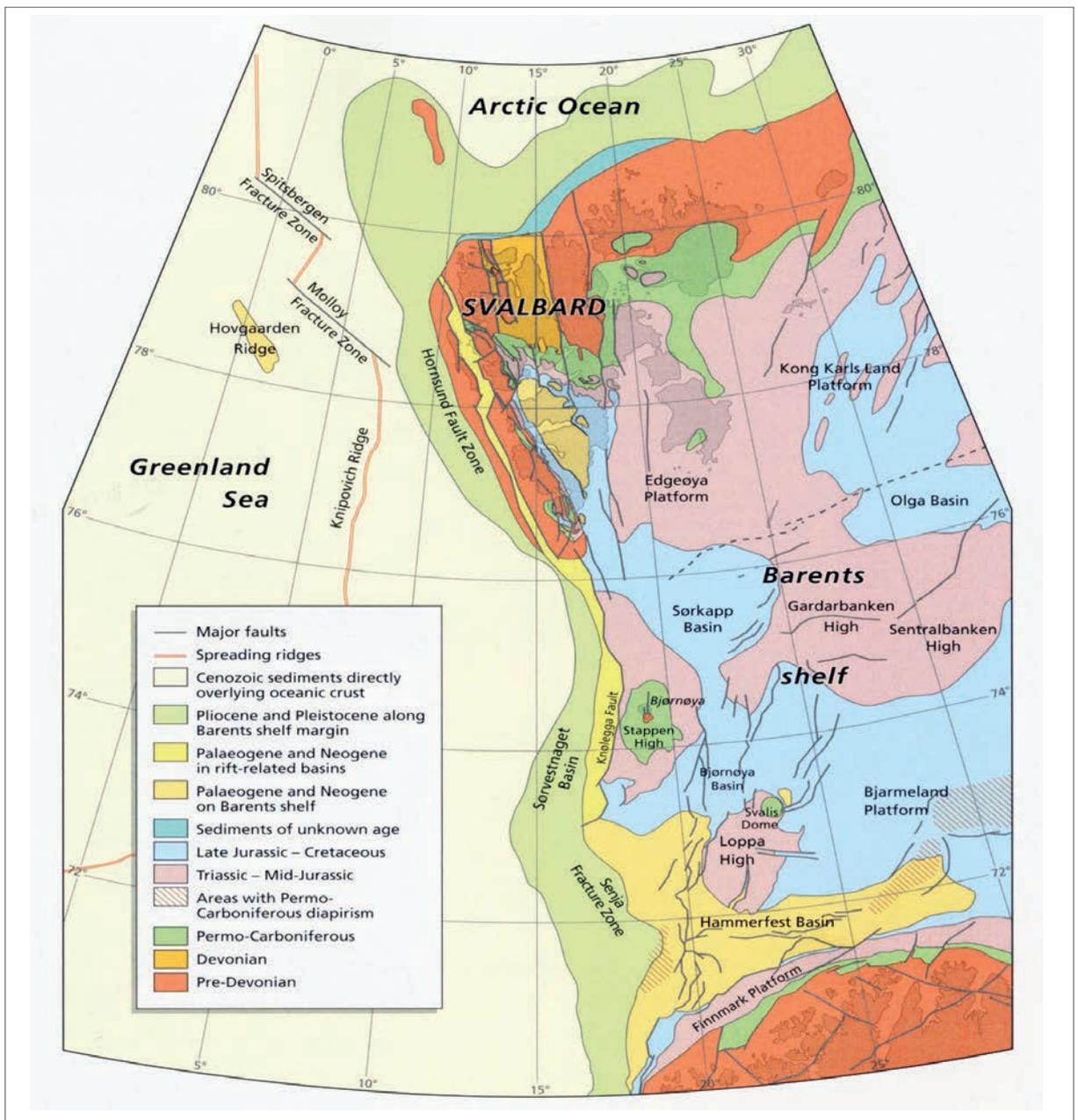


Abb. 4-12: Abgedeckte geologische Übersichtskarte der Barentssee und Svalbards, aus RAMBERG et al. (2008).

Die mitteljurassische bis frühkretazische Adventdalen-Gruppe ist über weite Strecken an den Rändern des zentralen Beckens, wie auch in Ostspitzbergen, aufgeschlossen. Die Gruppe ist durch dunkle, marine Siltsteine, aber auch deltalische und Schelfsandsteine sowie dünne Karbonatlagen charakterisiert. Die frühkretazischen Ablagerungen des tieferen Schelfs leiten in der Oberkreide in eine Wechselagerung aus deltalischen (im Barreme: Helvetiafjellet-Formation) und flachmarinen (im Alb-Apt:

Carolinefjellet-Formation) Silt- und Sandsteinen über.

Die Öffnung des arktischen Beckens in der Oberkreide bewirkte zuerst im Norden Svalbards eine Hebung, die an der Grenze zum Tertiär zur Ausprägung einer weitflächigen Diskordanz führte. Das ganze Tertiär war dann von starken Kompressions- und Dekompansionsbewegungen geprägt, die mit den regionalen plattentektonischen Ereignissen im Zusammenhang standen. Das zentrale Spitzbergen-

becken trat zum letzten Mal im Tertiär als Senke in Erscheinung und wurde zyklisch mit bis zu insgesamt 2.000 m mächtigen, wechselnden kontinentalen bis marinen Klastiten gefüllt. An der Westküste Spitzbergens wurden durch das Vorbeigleiten Grönlands die Gesteine aufgeschoben und deformiert.

Ab dem Mittel- bis Spätmiozän bis in das Pliozän kam es dann durch die fortschreitende Öffnung des Arktischen Ozeans und der Grönlandsee auch im Nordwesten von Spitzbergen zum Ausfluss von Plateaubasalten, die heute in bis rund 300 m Mächtigkeit vorliegen. Im Pleistozän, dann schon unter Vergletscherung, setzte sich der Vulkanismus punktuell fort und ist bis heute in Form zahlreicher heißer Quellen nachweisbar.

4.3 Island

90 % der Fläche Islands sind durch Vulkanite und nur 10 % durch Sedimente bedeckt. Die Vulkanite entstanden seit dem Fröhertär durch die Öffnung des Nordatlantiks entlang des nordatlantischen Rückens, auf dem Island auf einem Hot Spot liegt. Der Vulkanismus hält bis heute unvermindert, teils

subglaziär, an. Bei den Sedimenten handelt es sich größtenteils um zwischengelagerte tuffitische Lagen kurzer Transportweite sowie glaziäre Ablagerungen (Moränen, Sander u. a.).

Im Südosten Islands wurden zudem zwei größere, Vesturhorn und Austurhorn, aber auch mehr als 70 kleinere Intrusionen kartiert, die in ihrer Petrografie von Gabbros über Dioriten und Graniten bis zu Granophyren reichen. Basaltische und saure Magmen existierten also parallel. Während eigentliche Metamorphite auf Island nicht existieren, hat die Belastung durch mehrere Tausend Meter hangender Vulkanite in den tieferen Vulkanitlagen im Osten Islands zur Ausbildung von typischen Mineralien der Zeolithfazies geführt.

Durch die weitgehend vulkanische Prägung Islands ist das Potenzial an heimischen mineralischen und energetischen Rohstoffen eng begrenzt. Hiervon ausgenommen sind alle vulkanischen Gesteine bzw. Rohstoffe (basaltische Schlacken, Bims, Säulenbasalt, Schmelzbasalt, Basaltsand, Perlit, Puzzolan, Tuff u. a.), die vielfach in der lokalen Steine- und Erdenindustrie Verwendung finden und hier nur zum Teil näher beschrieben werden sollen.

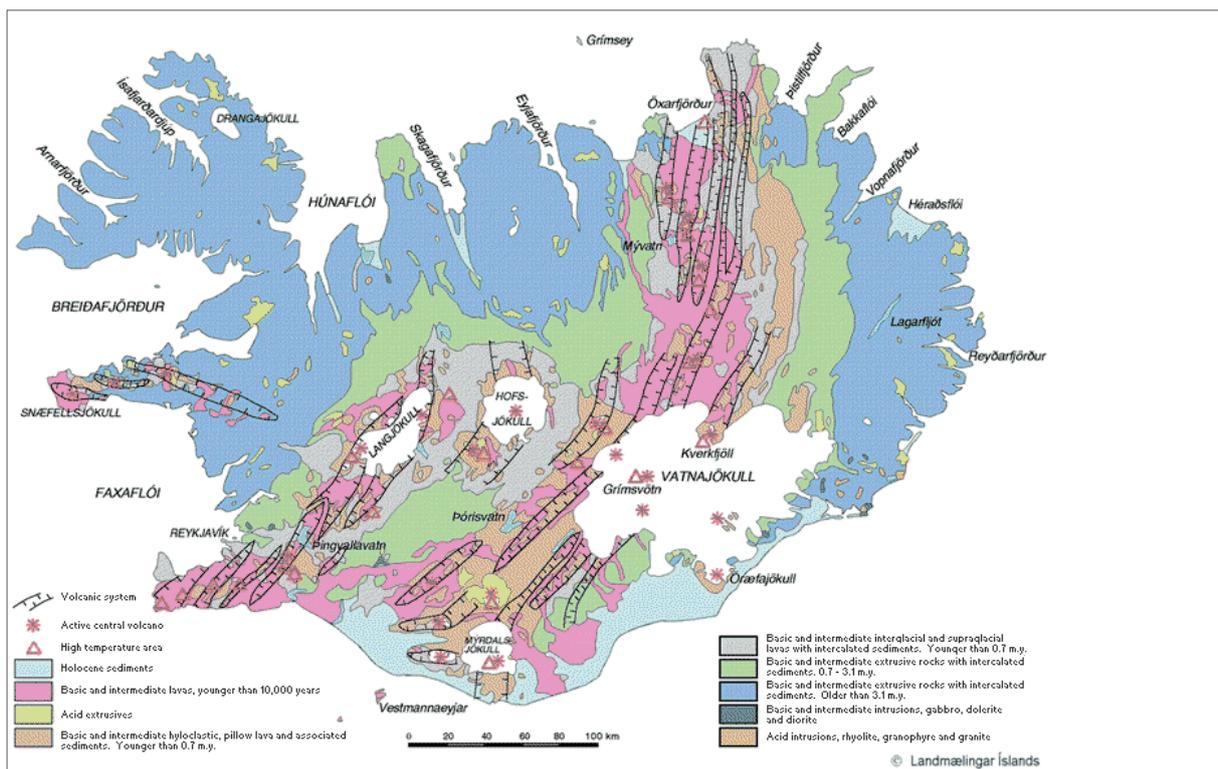


Abb. 4-13: Geologische Übersichtskarte von Island, Quelle: LANDMÆLINGAR ÍSLANDS.

5 DAS MINERALISCHE ROHSTOFFPOTENZIAL

5.1 Nordskandinavien

5.1.1 Metallische Rohstoffe

5.1.1.1 Eisen

NORDNORWEGEN

Eisenerz bei Kobbervik im Raum Sydvaranger (Sør-Varanger), wenige Kilometer südlich Kirkenes und unweit der russischen Grenze, wurde erstmals 1866 von einem Bergbauinspektor beschrieben und dann bei einer Prospektionskampagne im Jahr 1902 „wiederentdeckt“. Dabei wurden große Vorkommen von gebänderten Eisensteinen (Taconit) nachgewiesen, die dort auf über 1 km² Ausstrichfläche verbreitet sind. Nach Gründung einer Bergbaugesellschaft im Jahr 1906 wurde das erste Erz 1910 gewonnen. Bis zum Zweiten Weltkrieg, während dem im Jahr 1942 die Bergbauanlagen völlig zerstört wurden, wurden 25 Mio. t Erz abgebaut. 1952 setzte die Produktion erneut ein. Durch den weltweiten Handel billigerer und hochwertigerer Eisenerze aus anderen Erdteilen unwirtschaftlich geworden, wurde die Erzgewinnung 1997 eingestellt.

Im Sommer 2009 wurde der Abbau aus den größten verbliebenen Vorkommen (Bjørnevatt, Kjellmannsåsen, Tverrdalen, Fisketind Øst und Hyttemalmen, vgl. u.) durch eine australische Firma erneut aufgenommen (vgl. Abb. 5-1). Die verbliebenen wahrscheinlichen Gesamtreserven im Sydvaranger-Distrikt werden mit 129,4 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 32 % Fe (cut-off 15 % Fe), die verbliebenen vermuteten und angezeigten Gesamtressourcen mit 451 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 31 % Fe angegeben.

Das Sydvaranger BIF („banded iron formation“)-Eisenerz tritt in einer gefalteten Sedimentserie norwegosaamitischen Alters auf und ist damit rund 2,7 Ga alt. Das BIF-Eisenerz von Murmansk auf der Kola-Halbinsel, aber auch Eisenerze in Kanada und den USA besitzen ein ähnliches Alter. Die BIF-reiche Sedimentserie von Sydvaranger lässt sich sowohl über 100 km nach Westen verfolgen, wo sie unter eokambrischen Sandsteinen abtaucht, als auch nach Osten auf die Inselgruppe der Lofoten-Vesterålen, wo sie stark metamorph überprägt in Pyroxen-Granulit-Fazies vorliegt (s. u., BUGGE

1978). Zahlreiche Diabasgänge durchschlagen das Eisenerz. Es ist zudem stark gefaltet.

Das bedeutendste Einzelvorkommen im Sydvarangergebiet liegt bei Bjørnevatt (Abbau 1908 – 1996, erneut seit 2009, 140 Mio. t von 419 Mio. t abgebaut), wo das BIF-Eisenerz konkordant zwischen hangenden und liegenden metavulkanischen Gneisen liegt. Andere Erzkörper, die im Abbau standen, waren Grunntjern (Tagebau bis 1976), Søstervann (Tagebau 1974 – 1982, 7,2 Mio. t von 7,2 Mio. t abgebaut), Tverrdalen (Tagebau 1976 – 1987, 23,5 Mio. t von 66,5 Mio. t abgebaut), Fisketind (Tagebau 1971 – 1972, 8,3 Mio. t von 8,3 Mio. t abgebaut) und Jerntoppen (Tagebau 1987 – 1992, 7,7 Mio. t von 7,7 Mio. t abgebaut).

Die BIF-Erze entstanden submarin-vulkanisch-exhalativ. Sie bestehen immer aus 5 – 10 mm mächtigen, mal Magnetit, mal Hornstein reichen Bändern. Der weitere Mineralbestand setzt sich aus grüner Hornblende, Grunerit, Epidot, Biotit, gelegentlich Hämatit sowie Spuren von Pyrit und Chalkopyrit zusammen (s. Abb. 5-2). Der Edelmetallgehalt im Pyrit beträgt 0,8 ppm Au und 14 ppm Ag bzw. im Chalkopyrit 2 ppm Au und 20 ppm Ag (BUGGE 1978).

Sekundäre Anreicherungen von Eisen im Sydvaranger-Distrikt sind nur aus Teilen des Kjellmannsåsen Erzkörpers mit Gehalten von 50 – 55 % Fe bekannt. Diese entstanden durch hydrothermale Überprägung (HOLTEDAHL et al. 1960).

Eine typische chemische Zusammensetzung des bis 1996 abgebauten Bjørnevatt-Erzes war: 45,10 % SiO₂, 2,23 % Al₂O₃, 29,75 % Fe₂O₃, 14,67 % FeO, 0,165 % MnO, 2,80 % CaO, 2,72 % MgO, 0,32 % Na₂O, 0,39 % K₂O, 0,105 % P₂O₅, 0,052 % S, 0,01 % Cu, 32,21 % Fe^{tot}, 30,83 % Fe^{magn}. Das hieraus produzierte Konzentrat enthielt 65,4 % Fe, 0,058 % Mn, 0,008 % P, 0,02 % S, 7,75 % SiO₂, 0,5 % Ca, 0,5 % MgO und 0,3 % Al₂O₃ (SVINNDAL 1976). Sowohl der S-, als auch der Cu-Gehalt waren zu niedrig, um bei der Aufbereitung berücksichtigt werden zu müssen.

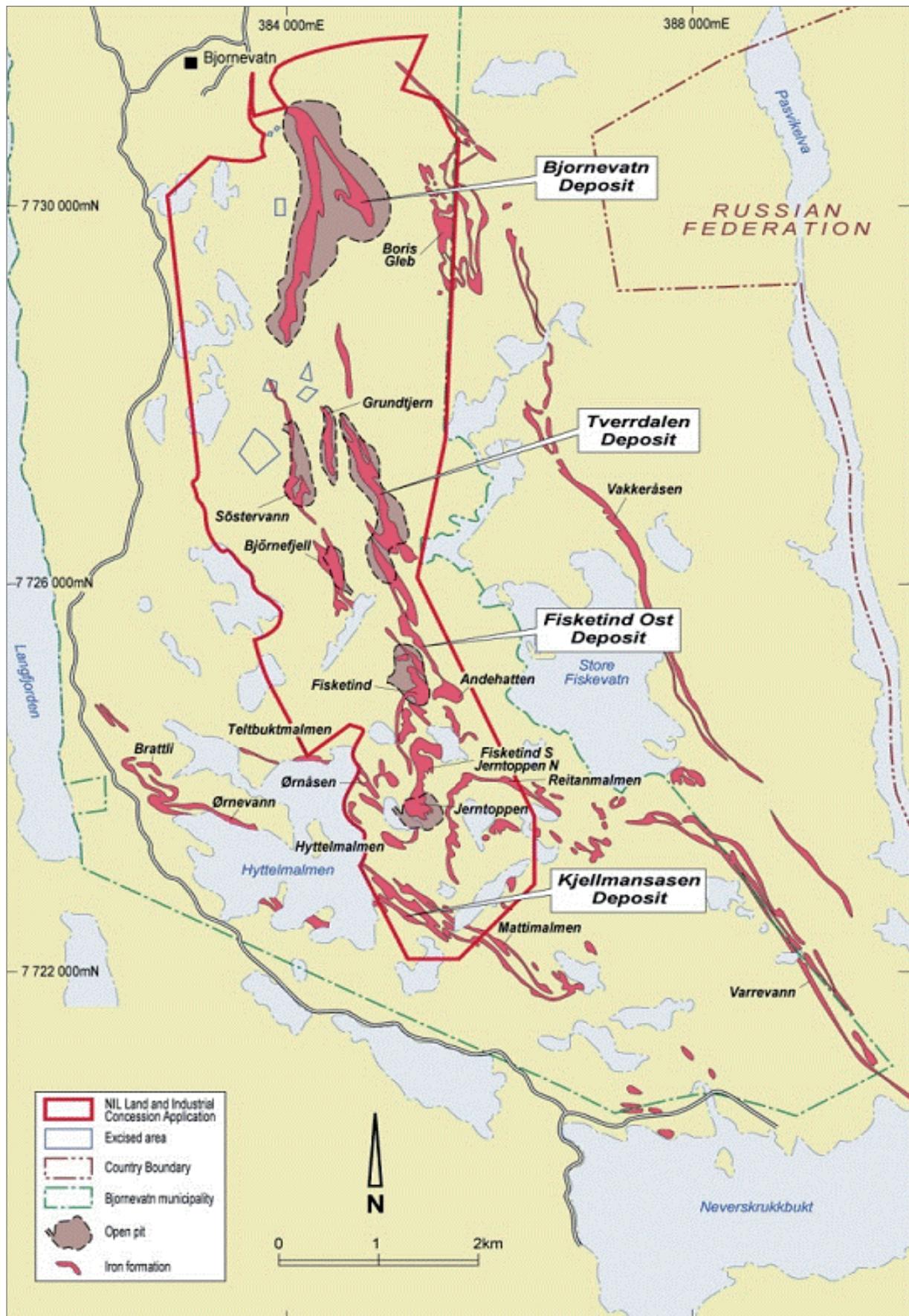


Abb. 5-1: Übersichtskarte des Sydvaranger-Eisenerzdistrikts, Quelle: NORTHERN IRON LTD.

In den Kaledoniden Nordnorwegens gibt es zahlreiche sedimentäre Eisenerzlagerstätten, von denen die meisten in calcitischen Glimmerschiefern und Kalksteinen der spätpräkambrischen oder evtl. auch kambrosilurischen Dunderland-Gruppe liegen. Die Stratigrafie ist immer sehr ähnlich, wobei die Vorkommen über eine streichende Länge von 550 km verbreitet sind. Zwei Erztypen kommen vor:

- a) ein oberer Horizont aus Magnetit-Hämatiterz mit 0,15 – 0,30 % P und
- b) ein tieferer Horizont aus Apatit führendem Magnetiterz mit 0,8 – 1,0 % P.

Die Vorkommen sind häufig sehr groß und überschreiten 100.000 m² Ausstrichfläche. Die größten Vorkommen nördlich des Polarkreises sind Tromsøysund, Sørreisa (Espenes, Kjaerringen, Storhaugen, Rengjverdhaugen), Dyrøy, Andørja, Salangen, Lavangen, Årsten, Ofoten (Bogen, Sjøfjellet und Håfjellet), Beiaren und Neverhaugen bei Fauske, Rana (Dunderlandsdalen), Tomma, Dønna, Rolløy, Dolstad, Eiterådalen und Elsfjord. Davon am bedeutendsten ist das Tal von Dunderlandsdalen bei Mo i Rana (s. Abb. 5-3), auf der geographischen Breite des Polarkreises, wo seit 1904 auf insgesamt 560.000 m² Abbaufäche Eisenerz gewonnen wird.

Eisenerz wurde nordöstlich von Mo i Rana schon am Ende des 18. Jh. entdeckt, Claims 1880 abgesteckt und die erste Bergbaugesellschaft im Jahr 1902 gegründet. Frühe Abbauperioden dauerten von 1904 – 1908, 1928 – 1931 und 1937 – 1939. Nach einem Zeitraum intensiverer Exploration wurde 1958 eine Pilotanlage errichtet und 1964 der eigentliche kommerzielle Abbau begonnen. Die ehemals fördernden Tagebaue bzw. Erzkörper waren Ørtvann (1904 – 1983, 17,6 Mio. t von 43,6 Mio. t abgebaut), Finnkåtæng (1971 – 1980, 10,7 Mio. t von 10,7 Mio. t abgebaut), Vesteråli (1969 – 1983, 14,6 von 36,6 Mio. t abgebaut) sowie Stensundtjern (1977 – 1990, 300.000 t abgebaut).

Das seit 1975 bis heute aus dem Ørtfjell-Vorkommen bei Storforshei, seit 1999 ausschließlich aus dem Untertageabbau Kvannevan, gewonnene Eisenerz führt durchschnittlich 34 % Fe und 0,2 % P. Hieraus werden bei einem Ausbringen von 77,6 %

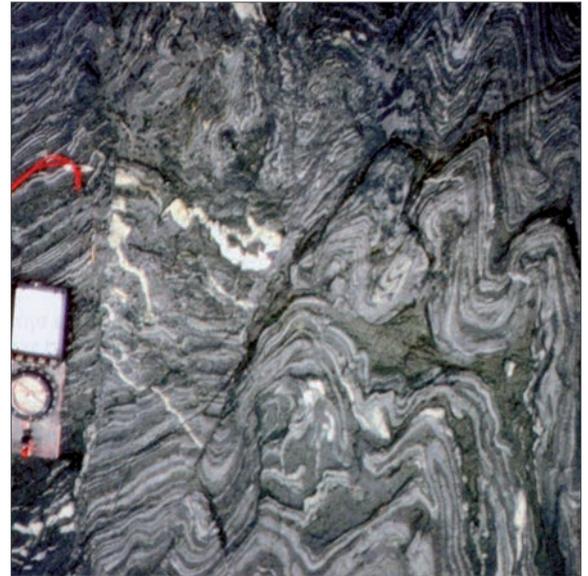


Abb. 5-2: Wechsellagerung von 2 – 10 mm mächtigen Lagen von Quarz und Magnetit (BIF-Eisenerz) im Bjørnevattn Eisenerztagebau, aus RAMBERG et al. (2008).

im 40 km entfernt gelegenen Gullsmedvika nahe Mo i Rana Eisenerzkonzentrate mit 64 % Fe und 0,014 % P produziert. Die Mächtigkeiten der Eisenerzlagen betragen mehrere bis 30 m, sind aber in Faltscharnieren noch wesentlich größer. Die ursprünglichen Erzvorräte betragen rund 417 Mio. t mit 140 Mio. t Fe-Inhalt.

Die wichtigsten Einzellagerstätten, alle im oberen Horizont auf der Nordseite des Tales von Dunderlandsdalen gelegen, sind Vesteråli, Finnkåtæng, Stensundtjern, Ørtvann, Ørtfjell, Ørtfjellmo, und Nord Dunderland. Bjørnhei und Nevernes liegen auf der Südseite des Tales. Lagerstätten im unteren Horizont sind Lasken, Ømmervann, Lomli und Ørtvann Nord. Da diese aber nur Magnetiterz mit 16 – 21 % Fe enthalten, stehen sie nicht im Abbau.

Zwischen und auch innerhalb der einzelnen Erzkörper variiert das Magnetit-Hämatit-Verhältnis sehr stark und reicht von 2:1 bis 1:10. Gangminerale in den Hämatit dominierten Erzen sind Quarz, Calcit, Epidot und Biotit. In den Magnetit dominierten Erzen sind es Quarz, Calcit, Biotit, grüne Hornblende und Grunerit. Der Apatit enthält Fluor und Spuren an SE. Im oberen Horizont liegt der P-Gehalt bei 0,2 %, im unteren Horizont bei 1,0 %. S ist an Pyrit und Pyrrhotin gebunden, die im Erz selten sind. Nur

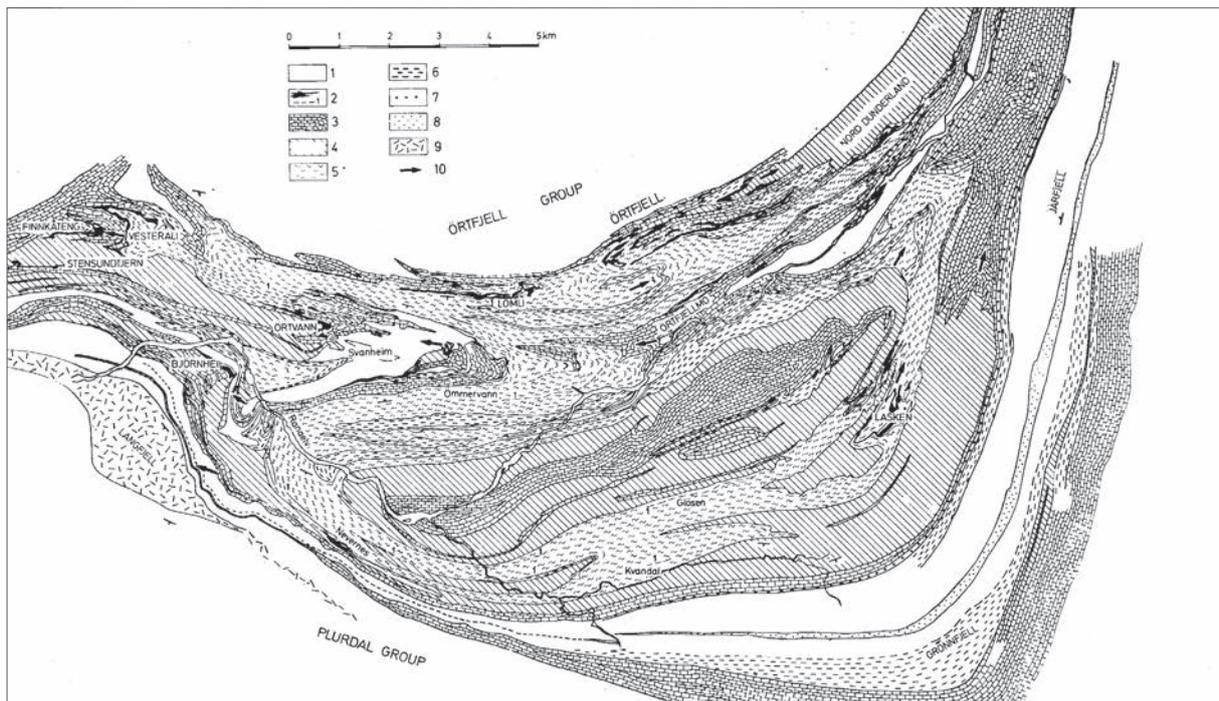


Abb. 5-3: Übersichtskarte des Dunderlandsdalen Eisenerzdistrikts (aus BUGGE, 1978):

1) Ørtfjell-Gruppe (Granat-Disthen-Gimmerschiefer) 2 – 7 Dunderland-Gruppe 2) Eisenerzvorkommen 3) Calcitmarmor 4) Dolomitmarmor 5) calcitischer Glimmerschiefer 6) Glimmerschiefer 7) Grafitschiefer 8) Quarzit 9) Granit 10) Faltenachsen.

an den Rändern der Erzkörper existieren 10 – 50 cm dicke Pyrrhotinbänder, die auf reduzierende Verhältnisse zu Zeiten der Bildung hinweisen. Der untere Erzhorizont führt ca. 0,1 % MnO, der obere dagegen drei- bis viermal so viel. Im Hangenden der Erze tritt eine mehrere Meter mächtige Mangan haltige Gesteinslage mit Gehalten von 5 – 10 %, lokal auch bis 20 % Mn auf. Dieses ist vornehmlich an Mn-haltigen Almandin gebunden. Die durchschnittliche (n = 110) chemische Zusammensetzung des Hämatiterzes von Dunderlandsdalen ist: 31,95 % SiO₂, 0,25 % TiO₂, 3,35 % Al₂O₃, 50,14 % Fe₂O₃, 3,12 % FeO, 0,31 % MnO, 1,72 % MgO, 4,01 % CaO, 0,59 % Na₂O, 0,64 % K₂O und 0,49 % P₂O₅ (Bugge 1978).

Die beiden nordnorwegischen niedriggradigen Magnetitlagerstätten (32 – 34 % Fe) in den Provinzen Nordland (Dunderlandsdalen) und Finnmark (Sydvaranger) produzieren im Wesentlichen Spezialprodukte zur Herstellung von Metallpulver nach dem Höganäsprozess, als Schweremedium für die Kohlenwäsche, als Schwarzpigment für fotoelektrische Prozesse, für Farben, Plastik und Schwerezusatz in Betonen sowie in oxidierter Form als Rotpigment für Plastik und Farben.

Die Inselgruppe der Lofoten (s. Abb. 5-4) besteht aus früharchaischen, mehr als 3 Ga alten Gneisen, die von Resten eines BIF-Eisenerzes vom Typ Sydvaranger überlagert werden. Die Erzlagerstätten und die sie begleitenden Effusiva waren während des Svekokareliums einer Metamorphose der Granulitfazies ausgesetzt. Während der ersten Jahrzehnte des 20. Jhs. wurden diese Erze (z. B. Fiskefjord und Lahaugen), aber auch hochgradige remobilisierte Magnetitvorkommen mit 55 % Fe (z. B. Smorten) im Kleinbergbau gewonnen.

Der Fiskefjord-Erzkörper auf Hinnøy ist bis zu 25 m breit und enthält Vorräte von > 4,5 Mio. t Erz mit durchschnittlich 28 – 30 % Fe und 0,2 % P. Der Erzkörper ist zwar mit Unterbrechungen über 8 km in östliche Richtung verfolgt worden, erscheint aber zu klein und unregelmäßig verlaufend, um wirtschaftlich abbaubar zu sein.

Der Lahaugen-Erzkörper auf Langø zeigt zwar ausgeprägte Texturen, enthält aber nur Vorräte von wenigen Millionen Tonnen Erz. Weitere kleine BIF-Eisenerzvorkommen im Ofoten-Vesterålen-Distrikt sind Hamarøy und Strømsfjord (SVINNDAL 1976).

Auf den Lofoten-Vesterålen gibt es auch zahlreiche Skarneisenerzvorkommen.

Der Matmoderen-Erzkörper auf Østtvågøy stand zwischen 1907 und 1908 für zwei Jahre im Abbau. Leider wurden alle Infrastrukturmaßnahmen, darunter Eisenbahnbau zur Küste und Kaibau, fertiggestellt, bevor die Vorratsberechnung nachwies, dass ein wirtschaftlicher Abbau gar nicht möglich sein würde. Es handelt sich um zwei linealförmige Erzkörper auf 180 – 200 m ü. Meeresspiegel. Der größere Erzkörper ist 40 m lang und 10 m breit. Er fällt mit 45 – 55° nach Norden ein. Das Erz enthält durchschnittlich 54 % Fe, 0,4 % S und 0,027 % P (ANONYM 1940). Das Smorten-Vorkommen auf Vestvågøy besteht aus unregelmäßigen Gängen und Linsen hochgradigen Erzes in granitischen Gneisen. Die Erz führende Zone ist über 5 km lang und

reicht von Smorten über den Gimsøyfjord auf seine Ostseite, wo sie sich in den kleinen Vorkommen von Jørendal und Jendal fortsetzt. Zwischen 1903 und 1908 wurden Teile der Erzzone abgebaut und lieferten < 100.000 t Erz mit 55 – 60 % Fe und 0,03 – 0,05 % P. Aufgrund des hohen S-Gehaltes von 0,03 – 1,0 % und der unregelmäßigen Verbreitung der Erze war ein Abbau nur mit Zubeße möglich.

Das Vestpolltind Fe-Mn-Vorkommen am Øksfjord wurde 1903 entdeckt und in den folgenden Jahren exploriert (ANONYM 1940). Die drei fast parallelen Erzkörper (Storgangen, Svartmalmgangen und Høitindmalmen) können über 2.000 m Länge und einer Breite von 8 – 14 m in einer steil nach Nordosten einfallenden Muldenstruktur verfolgt werden. Das Erz ist schiefrig und gebändert. Haupterzmineral ist Hämatit, obwohl Magnetit in bestimmten Lagen

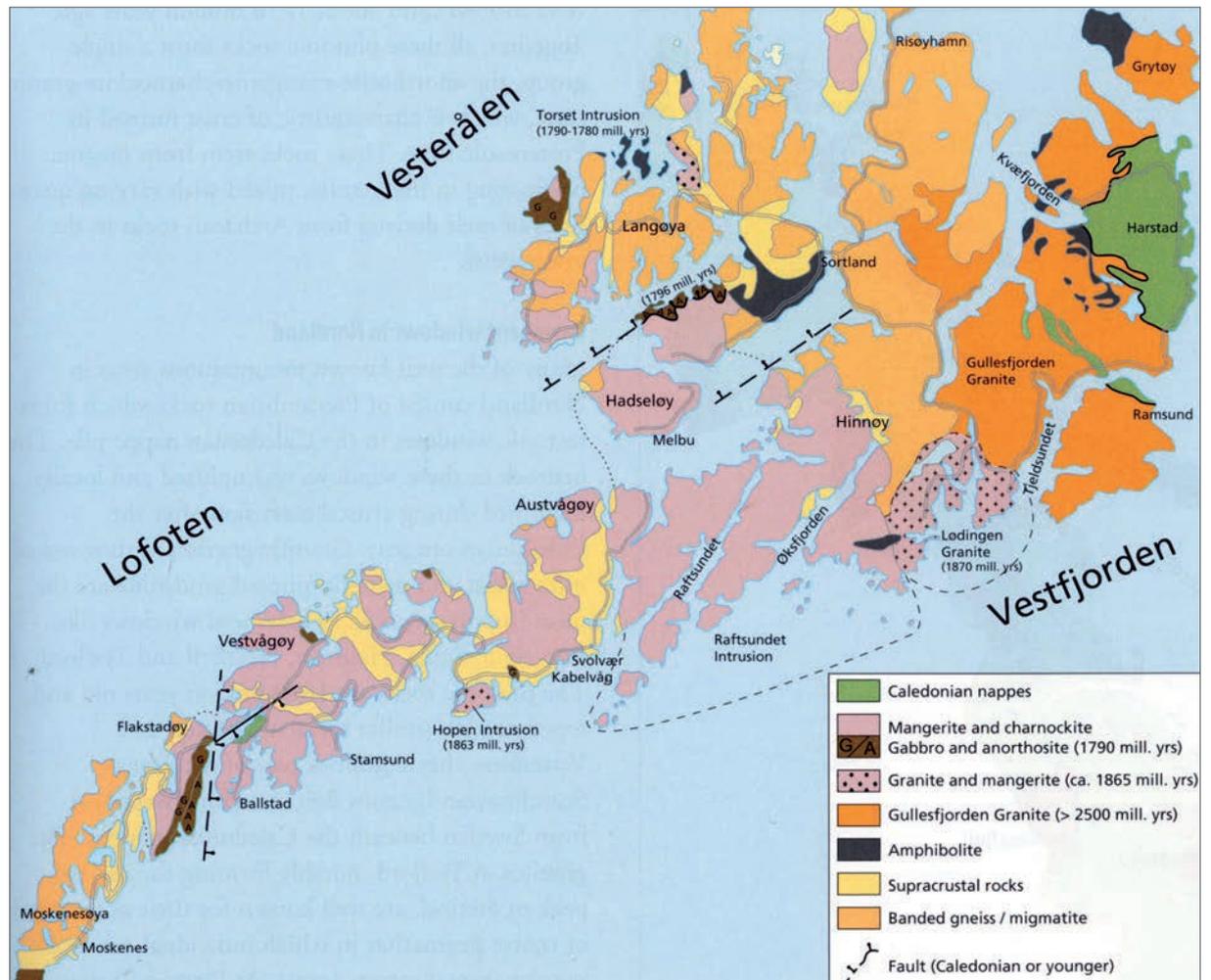


Abb. 5-4: Geologische Übersichtskarte der Lofoten und Vesterålen, aus RAMBERG et al. (2008).

des unteren Teiles des Erzkörpers dominiert. Andere wichtige Minerale sind Rhodonit, Spessartin und Clinopyroxen. Der Erzkörper wird durch Monzonitdykes durchschnitten und im Westen durch eine große Mangeritintrusion abgeschnitten. Obwohl die geologischen Gesamtvorräte bei rund 5 Mio. t Erz liegen, sind die gewinnbaren Reserven nicht mal halb so groß. Die durchschnittlichen Erzgehalte liegen bei 28 – 30 % Fe mit 2,5 – 4 % Mn und 0,3 – 0,4 % P. Hierbei ist das Mangan an Silikate und teilweise Spinell gebunden.

Das Selvåg-Vorkommen (vgl. Kap. 5.1.1.2) an der Nordwestküste von Langø, Inselgruppe der Vesterålen, ist an Absonderungen eines großen Gabbromassivs gebunden. Das Erzvorkommen besteht aus mehreren Linsen. Jede Linse ist rund 500 m lang, 150 – 200 m breit und durch Zonen mit niedriggradiger Magnetitmineralisation voneinander getrennt. Hauptsulfidmineral ist Pyrrhotin, gefolgt von Pyrit. Durch die innige Verwachsung der beiden Haupterzminerale Magnetit und Ilmenit, die einen TiO_2 -Gehalt von 4 – 5 % im Magnetitkonzentrat bewirkt und in allen Aufbereitungsversuchen bisher das große Problem darstellte, wurde das Selvåg-Vorkommen bis heute nicht abgebaut. Es liegt 700 – 800 m Inland und auf 75 – 350 m ü. Meeresspiegel. Es streicht auf 100.000 – 120.000 m^2 Fläche aus und enthält geologische Gesamtvorräte von 44 Mio. t Erz bzw. im Tagebau gewinnbare Vorräte von 10 – 15 Mio. t Erz mit 25 – 30 % Fe, 2,5 – 4 % TiO_2 , 0,15 – 0,17 % V und 0,1 – 0,7 % S (Bugge 1978).

Andere, teils zu Beginn des 20. Jh. abgebaute polymetamorphe Skarneisenerzvorkommen auf den Lofoten und Vesterålen sind Bjarkøy-Meløy, Dyrøy, Erikstad, Kalfjord, Lonkanfjord, Følstad, Svolvær und Jørmdal. Meløy lieferte in den Sommermonaten zwischen 1904 und 1930 insgesamt 417.000 t Erz; Bjarkøy in den Sommermonaten 1907, 1908, 1911 und 1912 insgesamt 9.600 t Erz. Das Erz enthielt durchschnittlich 50 % Fe, 0,65 % Mn, 0,026 % P, 0,33 % S, 9,5 % SiO_2 , 2,2 % CaO, 11 % MgO, 2,5 % Al_2O_3 und 0,03 % TiO_2 (Svinndal 1976).

Die Eisenerzvorkommen der Region Ofoten (Hafjell, Sjøfjell, Bogen) treten in einem 100 km langen und 20 – 30 km breiten Becken auf, das im Wesentlichen mit spätkambrischen bis früh-ordovizischen

Glimmerschiefern und Marmoren gefüllt ist. Hierin enthält der obere Hafjell-Horizont 3 – 5 m mächtige Mn-haltige Eisenerze und der untere, durch 3 km mächtige Sedimentgesteine getrennte Sjøfjell-Horizont Mn-freie Eisenerze.

Wichtigste Abbaustelle war bisher Bogen (Tagebau) an der Nordseite des Ofotenfjords. Dieser Erzkörper mit ursprünglichen Vorräten von ca. 30 Mio. t Erz mit 30 % Fe lieferte zwischen 1906 und 1939, mit Unterbrechungen, ca. 365.000 t Magnetitkonzentrat mit 62 – 68 % Fe (SVINNDAL 1976, BUGGE 1978).

In Salangen, mit den drei Einzelvorkommen Generalhaugen, Storhaugen und Grønli, wurden zwischen 1909 und 1912 unter hohen, von deutschen Großaktionären getragenen Verlusten, 96.000 t Erz mit Gehalten von 33 % Fe, 0,1 – 0,5 % Mn, 0,1 % S und 0,25 % P produziert. Die verbliebenen Vorräte betragen 25 – 30 Mio. t Erz mit 26 – 29 % Fe (ANONYM 1940).

„Kleinbergbau“ fand auch auf den Eisenerzvorkommen von Neverhaugen, Sjøfjell (Jernlien) (1905 / 1911 / 1918) und Tromsøysund (1916: 1.548 t Erz mit 30 % Fe) statt (SVINNDAL 1976).

150 km südlich des Porsangerfjords bzw. 28 km westlich der Grenze zu Finnland liegt das Fe-Mn-Vorkommen von Karasjok (Jernmalmfelt) (vgl. Kupfer). Hier finden sich an mehreren Stellen über ultramafischen Effusiva Eisen führende Quarzite von 10 – 20 m Mächtigkeit. Darüber lagern Skarne zusammen mit Sulfid reichen Schwarzschiefern. Die geologischen Gesamtvorräte werden auf 50 Mio. t Erz geschätzt. Zwei Erzarten werden unterschieden (SVENNDAL 1976, BUGGE 1978):

- ein Quarz gebänderter Granat-Biotit-Plagioklas-Gneis mit Magnetit und Hämatit mit 18 – 22 % Fe und 0,5 – 2 % Mn sowie
- ein Skarn aus Quarz, Calcit, Magnetit, Hämatit, Mn-Silikaten und Karbonaten mit 22 – 27 % Fe und 4 – 7 % Mn.

Obwohl die Karasjok Fe-Vorkommen zwischen 1953 und 1957 intensiv prospektiert wurden, lohnt sich ein Abbau nicht, da sie zu klein, zu niedriggra-

dig und zu schlecht infrastrukturell erschlossen sind (SVENNDAL 1976).

Das Rubben-Eisenerzvorkommen NE Narvik stellt einen besonderen Typ dar und besteht aus Mn führendem Sideriterz mit nur 5 – 8 % Magnetit. Das Erz tritt in einer Serie von stark gefalteten Glimmerschiefern und Kalksteinen auf und ist häufig an dünne, konkordante Amphibolitlagen (basische Tuffe) gebunden. Die einzelnen Erzlagen sind 0,2 bis 5 m mächtig und führen 30 – 40 % Fe sowie 5 – 8 % Mn (SVINNDAL 1976).

Weitere nennenswerte, jedoch allesamt kleinere Eisenerzvorkommen in der norwegischen Arktis sind (Fennoscandian Ore Deposit Database, ANONYM 1940):

- Gunnarheimen, ein Skarneisenerzvorkommen im Seve-Køli-Deckenkomplex der Kaledoniden. Die Gesamtvorräte betragen 13,5 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von nur 18 % Fe.
- Andørja, ein BIF-Eisenerzvorkommen von 1.200 m Länge, 10 – 12 m Mächtigkeit und flachem Einfallen, das 1912 probeweise im Tagebau abgebaut wurde. Die Ressourcen betragen 70 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von ebenfalls nur 18 – 25 % Fe sowie
- Mosan, unweit Andørja, ein weiteres BIF-Eisenerzvorkommen mit Vorräten von 7,2 Mio. t Erz und einem Durchschnittsgehalt von 14,5 % Fe.

NORDSCHWEDEN

Im Bereich von Kiruna und Malmberget treten in Zusammenhang mit meist feinkörnigen Quarz-Feldspat-Gesteinen mit streng geregelter Gefüge (Leptite) die wirtschaftlich wichtigsten Eisenerze Skandinaviens auf (s. Abb. 5-5). Die plattigen bis linsenförmigen Erzkörper liegen konkordant in porphyrischen bis keratophyrischen Metavulkaniten. Die Entstehung ist nach neuerer Deutung auf submarin-exhalative Bildungen zurückzuführen. An einigen Stellen werden die Erzkörper von porphyrischen Dykes durchschlagen.

Zudem gibt es in Nordschweden Skarneisenerze, Eisenerze von Typ „banded iron formation“ (BIF) und Titaneisenerze. Auch diese Eisenerze tragen zur rohstoffwirtschaftlichen Bedeutung der nordschwedischen Provinz Norrbotten bei, der rund 4 Gt Eisenerzvorräte mit ca. 2 Gt Fe-Inhalt zugeordnet werden (FRIETSCH 1976).

Bei Kiruna werden der bereits 1696 entdeckte große Erzkörper von Kirunavaara, der wesentlich kleinere Erzkörper von Luossavaara (s. Abb. 5-6) sowie die kleinen Erzkörper Rektorn, Henry, Haukivaara, Nukutusvaara, Lappmalmen (Per-Geijer-Erze) und Tuolluvaara unterschieden (s. Abb. 5-7).

Der 1,88 Ga alte Kirunavaara-Erzkörper erstreckt sich über 4.400 m Länge und durchschnittlich 90 m Breite. Er streicht auf rund 350.000 m² Fläche aus und fällt zwischen 50 – 60° ein. Seine Basis wurde in Bohrungen bis 1.500 m Teufe noch nicht erreicht.

Der Luossavaara-Erzkörper ist dagegen nur 1.200 m lang und durchschnittlich 23 m breit. Sein Ausstrichgebiet umfasst 20.000 m² Fläche (GRIP 1978). Von seinen ursprünglichen Erzreserven von ca. 37 Mio. t wurden 21,4 Mio. t gewonnen.

Der Tuolluvaara-Erzkörper ist 1.000 m lang und 400 m breit. An der Erdoberfläche erstreckt er sich über 16.000 m², in 200 m Teufe nur noch über 12.000 m² Fläche. Der Erzkörper fällt mit 60° nach Osten ein und enthielt ursprünglich Vorräte von ca. 28,3 Mio. t Erz mit 17 Mio. t Fe-Inhalt (FRIETSCH 1976).

Primäres Haupterzmineral in den beiden Eisenerzkörpern Kirunavaara und Luossavaara ist stets Magnetit. Hämatit findet sich als primäres Mineral dagegen nur in sehr kleinen Anteilen, als kristalline Ansammlungen im Magnetit und in dünnen Gängen. Der Kirunavaara-Erzkörper ist in seinem Südteil bis maximal 200 m Tiefe durch Umwandlung von Magnetit in Hämatit verwittert. Der Titangehalt beträgt < 1 %, die Gehalte an Mn und S liegen bei < 0,1 %. Wichtigstes Nichterzmineral ist Apatit, das in den einzelnen Erzkörper meist gleichmäßig verbreitet ist. Es handelt sich um einen Fluorapatit mit 2,5 – 3,5 % F, wenig Cl, aber 0,6 – 0,9 % Seltene

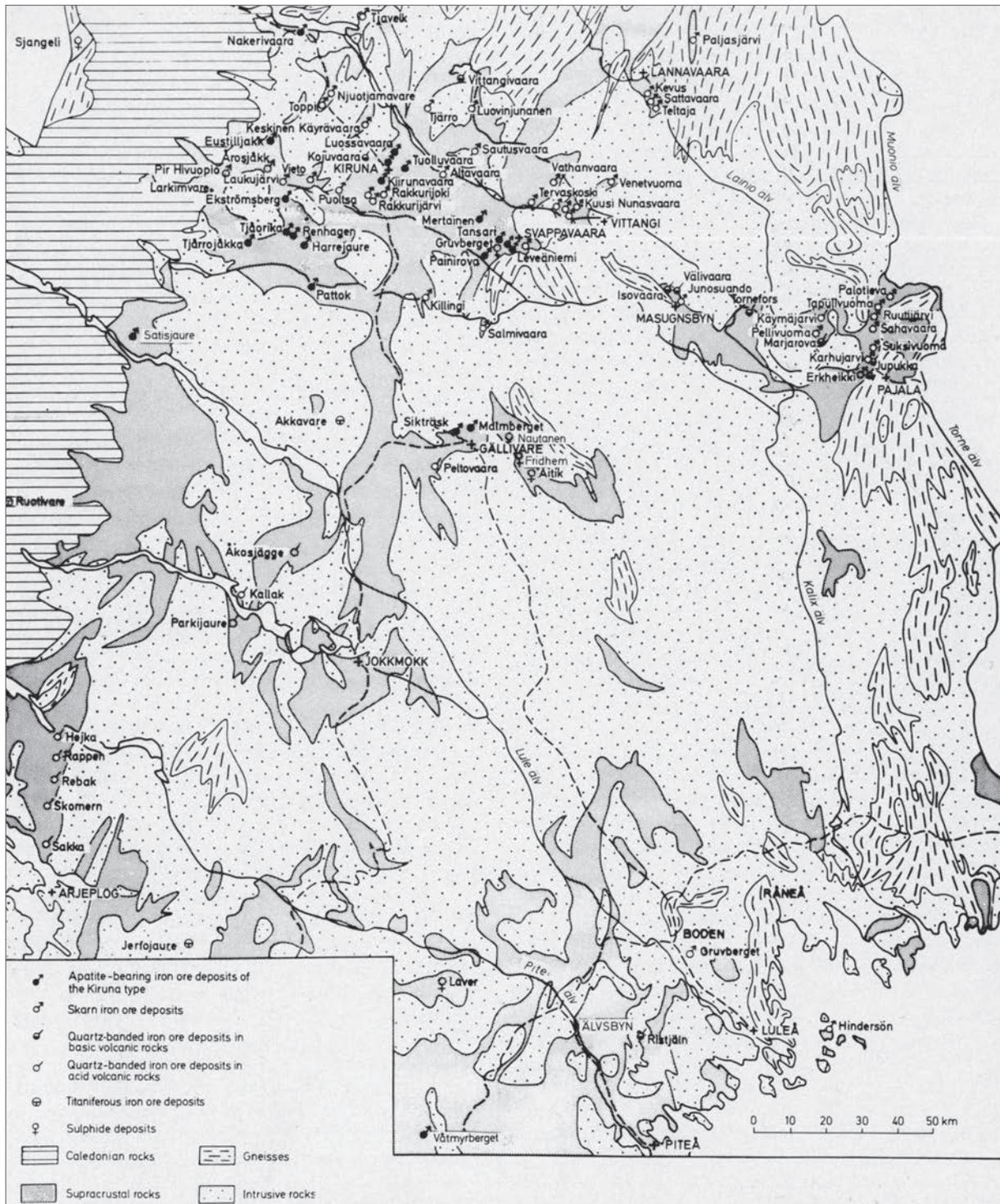


Abb. 5-5: Lagerstätten im Präkambrium der Provinz Norrbotten. Der Polarkreis verläuft unweit des Breitengrades der Stadt Jokkmokk, aus GRIP (1978).

Erden. Das Eisenerz ist sehr feinkörnig und bei geringem Apatitgehalt sehr dicht und stahlhart.

Die auf die fünf kleineren Erzkörper Rektorn, Henry, Haukivaara, Nukutusvaara und Lappmalmen

beschränkten Per-Geijer-Erze enthalten dagegen durchschnittlich 20 % Apatit sowie Hämatit und Magnetit in gleichen Anteilen. Aus ihnen wurden ab 1925 und vor allem während des 2. Welt-



Abb. 5-6: Blick auf den Luossavaara-Hügel bei Kiruna, Foto: DAVID LENZ/GEOLOGISCHER DIENST VON FINNLAND.

kriegs 2,5 Mio. t Erz zur Superphosphatproduktion gewonnen.

Der großmaßstäbliche Erzbergbau bei Kiruna setzte, zuerst im Tagebau, im Jahr 1898 ein, noch vor den eigentlichen Explorationsarbeiten, die zwischen 1905 und 1909 durch intensive Oberflächenexploration und zwischen 1914 und 1923 durch Abteufung zahlreicher Tiefbohrungen ihre ersten Höhepunkte erreichten (GEIJER 1960). Fast alle der o. g. Erzkörper standen einst im Abbau:

- Rektorn: 1925 – 1930, 1936 – 1939, 1942 – 1946 [bis 1961]: 1.770.000 t Erz;
- Henry: 1926 – ?, abgebaute Erzmengung unbekannt,
- Tuolluvaara: 1902 – 1982: 25.587.900 t Erz,
- Nukutusvaara: 1964 – 1986: 4.179.500 t Erz,
- Luossavaara: 1919(1921?) – 1987: 21.364.700 t Erz,
- Haukivaara: 1965 – 1972: 2.359.600 t Erz,
- Lappmalmen: nicht abgebaut 10 Mio. t @ 43 % Fe,
- Kirunavaara: seit 1864: bis Ende 2008 904.035.500 t Erz, wobei der letzte Tagebau

1975 eingestellt wurde (FRIETSCH 1976). Zwischenzeitlich wurde nur noch aus dem Kirunavaara-Erzkörper im Untertagebergbau (Einstellung Tagebau 1962) Eisenerz gewonnen, im Jahr 2010 26,7 Mio. t Erz mit rund 46 % Fe (MARTINSSON & BERGMAN 2007).

An Eisenerzqualitäten und bei der Abbauplanung werden, in Abhängigkeit vom störenden Phosphor, unterschieden:

- B mit ca. 66 % Fe und < 0,1 % P
- C1 mit ca. 65 % Fe und 0,1 – 0,4 % P
- C2 mit ca. 63 % Fe und 0,4 – 0,8 % P
- D mit ca. 58 % Fe und bis 1,75 % P

Die Vorratsangaben für das Kiruna-Eisenerzrevier (vgl. Abb. 5-9) schwanken zwischen ca. 2 Mrd. und ca. 4,5 Mrd. t hochwertiger Magnetit-Apatit-Erze mit 58 – 68 % Fe und 0,01 – 3,5 % bzw. durchschnittlich 0,8 % P. (BUSCH 1977, GRIP 1978). Ende 2009 beliefen sich die Reserven für Kirunavaara auf 658 Mio. t Erz, die zusätzlichen Ressourcen auf 335 Mio. t Erz (LKAB 2010).

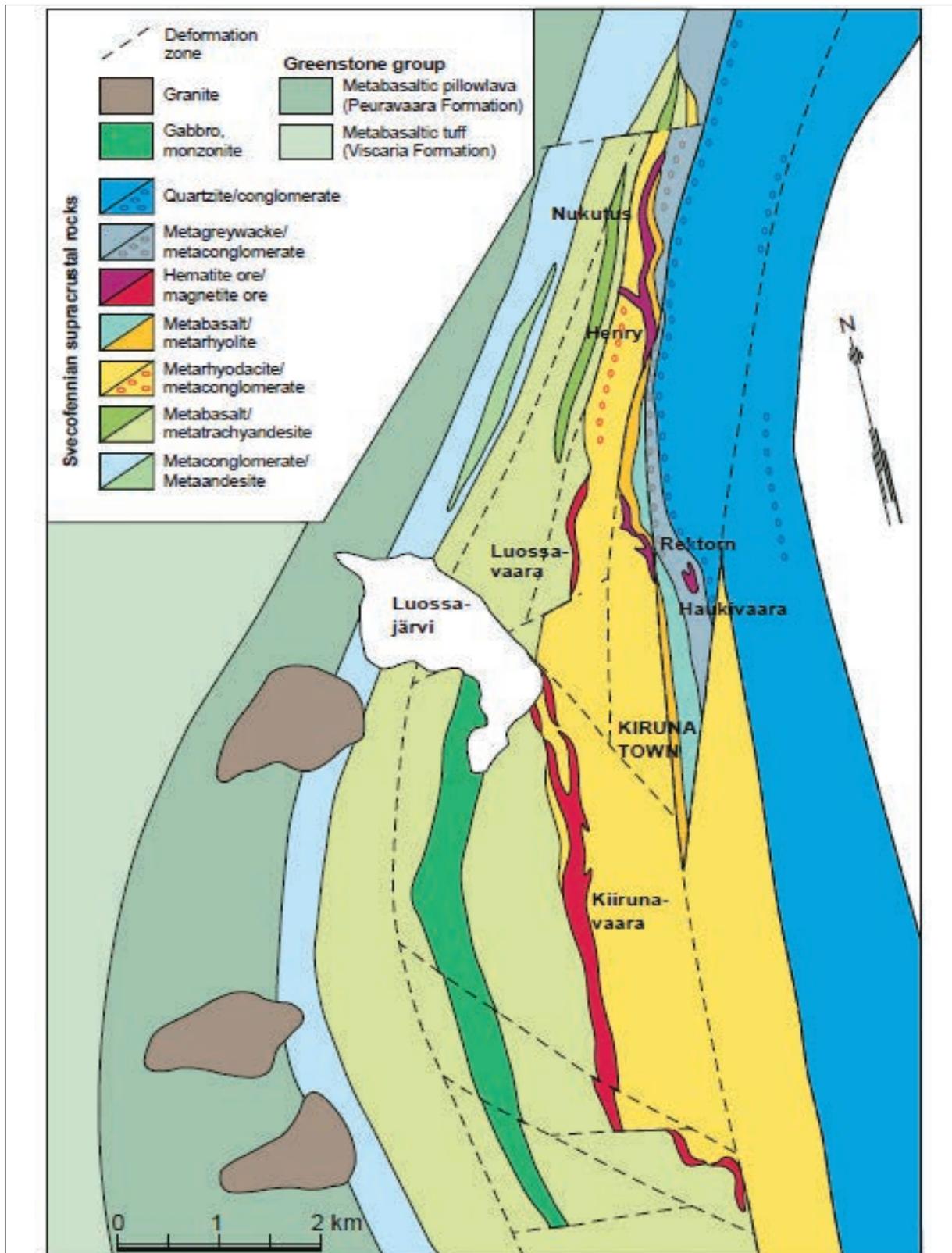


Abb. 5-7: Geologische Übersichtskarte der Eisenerzlagerstätten in der Region Kiruna, aus MARTINSSON & BERGMAN (2007).

Bei Malmberget, rund 100 km SSE von Kiruna bzw. 70 km nördlich des Polarkreises und innerhalb der nordschwedischen Flächengemeinde Gällivare, liegt der gleichnamige Eisenerzdistrikt. Die dortigen Vorkommen von Eisenerz wurden 1669 entdeckt und 1736 erstmals in kleinem Stil abgebaut. Mit der Fertigstellung einer Eisenbahnlinie nach Luleå am Bottnischen Meerbusen (215 km) im Jahr 1887 und später dann weiter über Kiruna zum ständig eisfreien Hafen Narvik in Nordnorwegen (170 km), setzte dann ab 1888 der großmaßstäbliche Bergbau, heute ausschließlich unter Tage, ein. Bisher wurden rund 510 Mio. t, im Jahr 2009 16,1 Mio. t Eisenerz gewonnen (vgl. Abb. 5-10). Ende 2009 beliefen sich die Reserven für Malmberget auf 270 Mio. t Erz, die zusätzlichen Ressourcen auf 110 Mio. t Erz (LKAB 2010).

Das Eisenerz von Gällivare ist dem Kiruna-Eisenerz sehr ähnlich und liegt auch in ähnlicher geologisch-stratigrafischer Umgebung. Wiederum handelt es sich vornehmlich um Magnetit-, seltener Hämatit-Apatit-Erze, aber mit relativ homogener Phosphorkonzentration je Erzkörper. Hämatit macht rund

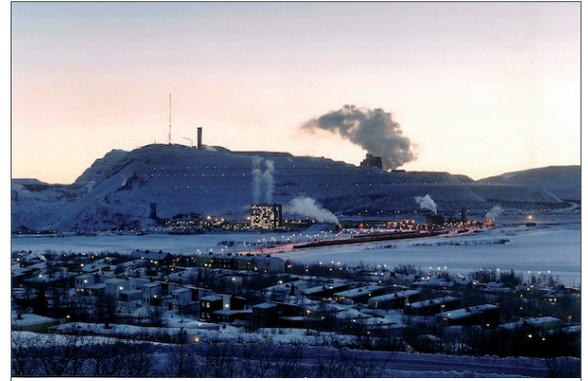


Abb. 5-8: Eisenerzabbau in der Polarnacht bei Kiruna, Foto: LKAB.

10 % der in Gällivare produzierten Eisenminerale aus. Im Gegensatz zu Kiruna enthalten sowohl Erz als auch die Nebengesteine häufig einige Skarnminerale, v. a. Hornblende.

Im Gällivare-Eisenerzdistrikt sind rund 20 Erzkörper (Stora malmlagret, Kaptenslagret, Dennewitz, Koskullskulle u. a.) auf 5 x 3 km bzw. rund 185.000 m² Fläche aufgeschlossen; sie sind stark verfaltet und fallen mit 45° nach Süden ein. Die

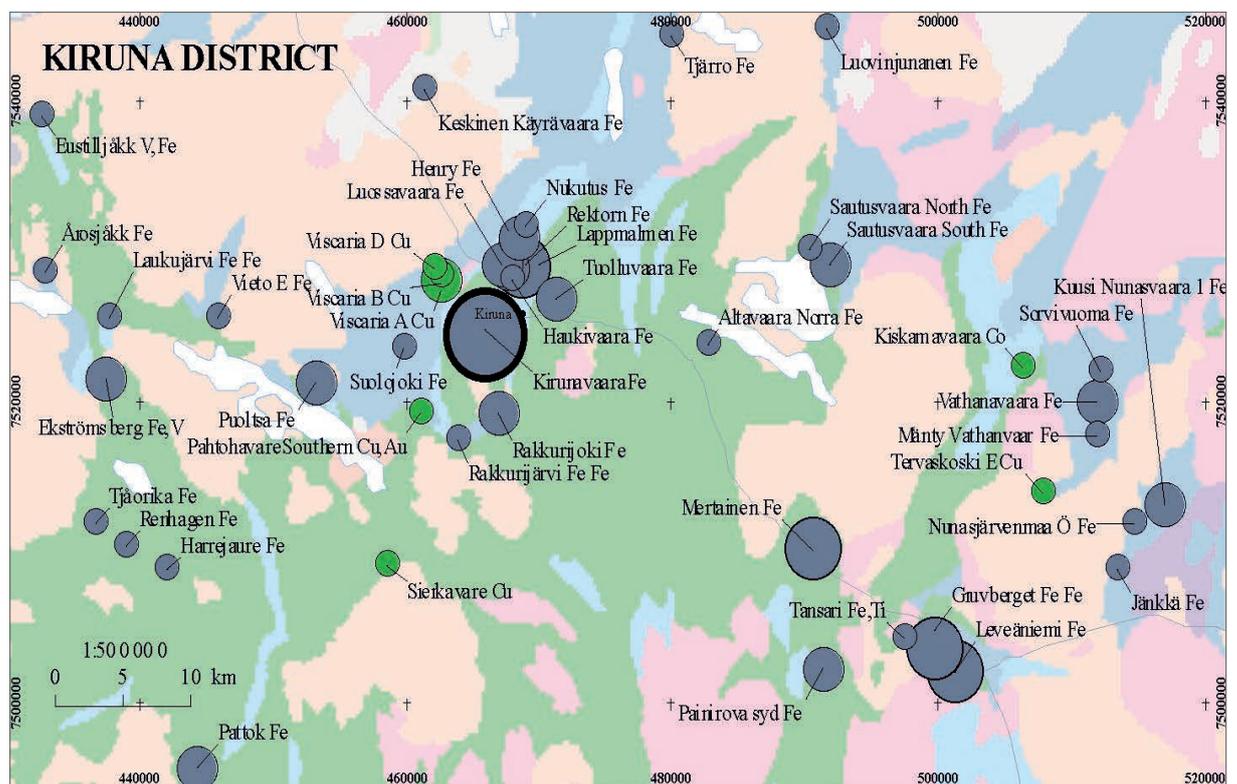


Abb. 5-9: Metallergmineralisationen im Kiruna-Distrikt. Legende s. Abb. 4-8. Ausschnitt aus EILU et al. (2008).

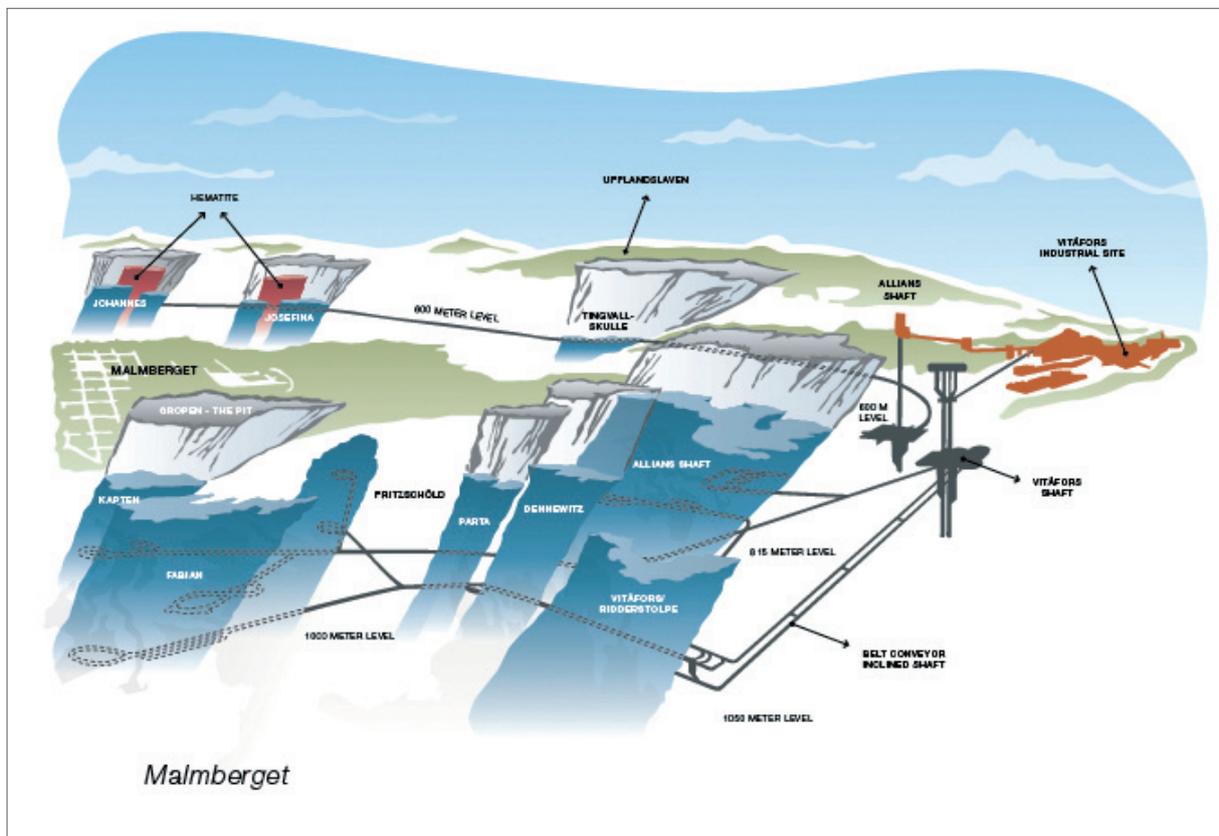


Abb. 5-10: Schematischer Profilschnitt durch den Erzabbau bei Malmberget, Quelle: LKAB.

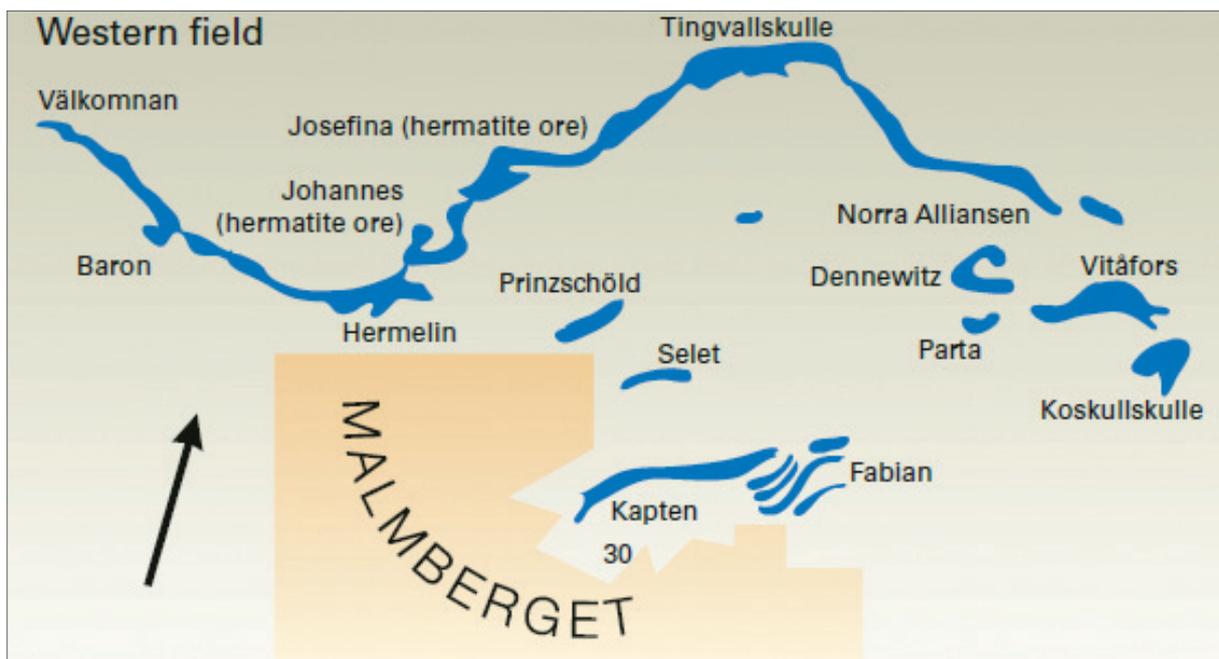


Abb. 5-11: Übersichtskarte der Eisenerzkörper bei Malmberget, Quelle: LKAB.

Breite der Erzkörper beträgt durchschnittlich 23 m, maximal 150 m (LJUNGGREN 1960). Derzeit stehen rund zehn dieser Erzkörper, am bedeutendsten derzeit Alliansen, Pritzsköld, Parta und Ostergruvan, auf verschiedenen Sohlen im Abbau (vgl. Abb. 5-9).

Das Eisenerz (Malmberget D) enthält nach ZITZMANN (1976c): 59,13 % Fe, 0,53 % P, 8,60 % SiO₂, 0,041 % S, 0,04 % Mn, 0,16 % F, 0,03 % Cl, 2,42 % CaO, 1,65 % MgO, 1,75 % Al₂O₃, 0,228 % Ti und 0,09 % V. Typische Analysen der drei produzierten Eisenerzqualitäten sind:

	GC	GD	FA
Fe	63,5	59,7	62,5
P	0,3	0,7	0,04
SiO₂	6,6	8,3	7,4
S	0,05	0,05	0,06

Die verbliebenen Vorräte im gesamten Gällivare-Eisenerzdistrikt (s. Abb. 5-11) betragen ca. 840 Mio. t hochwertiger Magnetit-Apatit-Erze mit 51 – 64 % Fe. Weitere wichtige Bezirke mit Eisenerzlagerstätten vom Kirunatyp neben Kiruna und Gällivare in Nordschweden sind (GRIP 1978):

- Svappavaara (s. Abb. 5-12): 40 km SE Kiruna, 400.000 m² Ausstrichfläche mit den Haupterzkörpern
 - Leveäniemi (1897 entdeckt, Abbau

1964 – 1982 von 57,7734 Mio. t Erz, Restvorräte: 110 Mio. t Erz mit 54,1 % Fe, Paragenese: 88 % Magnetit, 11 % Hämatit, durchschnittliche Zusammensetzung des Erzes: 62,78 % Fe, 0,06 % Mn, 0,43 (0,2 – 0,8) % P, 0,009 % S, 5,78 (5 – 10) % SiO₂, 2,6 % CaO, 1,2 % MgO, 1,3 % Al₂O₃, 0,19 (0,03 – 0,84) % Ti, 0,12 % V) (FRIETSCH 1976),

- Svappavaara/Grubberget Fe (1654 entdeckt, Abbau auf Cu zwischen 1654 – 1741 mit Ausbringung von rund 1.000 t Cu zwischen 1654 und 1684, Erzzusammensetzung: 55 – 67 % Fe, 0,04 – 0,4 % Mn, 0,02 – 1,1 % P, 0,01 – 0,02 % S, 4,2 % SiO₂, 2,2 % CaO, 0,03 – 0,12 % Ti, 0,09 % V; Vorräte: 64,1 Mio. t Eisenerz mit 56,9 % Fe und 0,87 % P bzw. 36,4 Mio. t Fe-Inhalt bis 300 m Teufe) (FRIETSCH 1976). Die Wiederaufnahme des Abbaus in Grubberget ist in Planung.
- Mertainen (Abbau von 428.000 t Erz zwischen 1956 und 1958, Vorräte: 166 Mio. t Eisenerz mit 34 % Fe, 0,051 % P, 0,017 % S, 0,54 (0,12 – 0,96) % Ti bzw. 56 Mio. t Fe-Inhalt bis 300 m Teufe),
- Nakerivaara (1897 entdeckt, Vorräte:

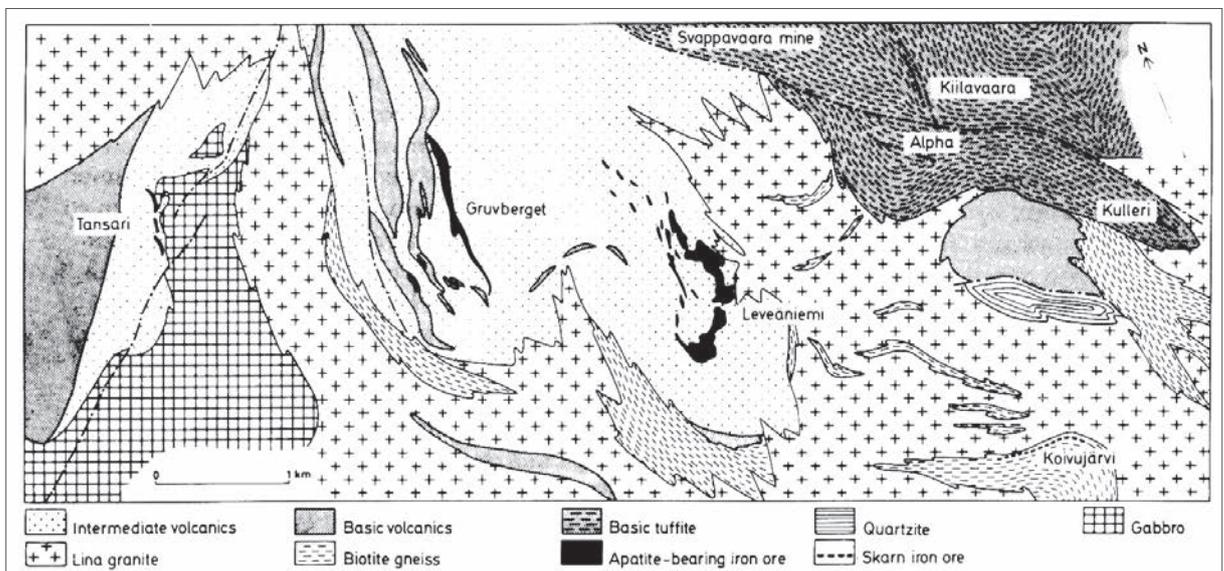


Abb. 5-12: Geologische Karte der Region Svappavaara mit Lage der Apatit- und Skarn-Eisenerzvorkommen, aus GRIP (1978).

12,7 Mio. t Erz mit 4 Mio. t Fe-Inhalt bis 200 m Teufe, durchschnittliche Zusammensetzung des Erzes: 31 % Fe, 0,03 % Mn, 0,3 % P, 0,12 % V, 0,004 – 0,1 % S, < 3 % SiO₂, < 0,5 % CaO, 0,3 – 1 % Al₂O₃, 0,063 – 0,24 % Ti) (FRIETSCH 1976) und

- Painirova (Vorräte: 36 Mio. t Eisenerz mit 30 % Fe bis 250 m Teufe).
- Ekströmsberg-Pattok: 30 – 40 km WSW Kiruna, 1818 entdeckt, zwischen 1950 und 1969 intensiv exploriert, 1.500 m Länge x 150 – 160 m Breite, Eisenerz bis > 300 – 500 m Teufe nachgewiesen, Vorräte von insgesamt 165 Mio. t Eisenerz mit 32 % Fe. Das Magnetit-Martit-Hämatit-Erz enthält 55 – 63 % Fe, 0,8 – 1,5 % P, 0,01 – 0,03 % S, 0,03 – 0,29 % Ti und 0,04 – 0,06 % V. Die Haupterzkörper sind:
 - Pattok (1951 entdeckt, angezeigte Vorräte: 68 Mio. t Apatit reiches Eisenerz mit 45,1 % Fe, 1,99 (1 – 4) % P und < 0,1 % S),
 - Tjårro bzw. Tjårrojåkka (1963 entdeckt, Vorräte: 52,6 Mio. t Eisenerz mit 51,5 % Fe und 0,77 % P bzw. 36 Mio. t Fe-Inhalt, Cu-Mineralisation über 680 m Länge bzw. auf 8.800 m² Fläche mit 0,8 % Cu bei einem cut-off von 0,5 % Cu),
 - Ekströmsberg (Vorräte von 37 Mio. t Erz mit 55,9 % Fe, 0,15 % Ti und 0,05 % V),
 - Renhagen (Vorräte von 11,3 Mio. t Erz),
 - Satisjaure (Vorräte von 10 Mio. t Erz),
 - Harrejaure (Vorräte von 5 Mio. t Erz),
 - Tansari (Vorräte von 3 Mio. t Erz) sowie
 - Tjåorika (Vorräte von 2,5 Mio. t Erz).

Im Gegensatz zu den Apatit-Eisenerzen, die in den o. g. vier Eisenerzbezirken (Kiruna, Gällivare, Svappavaara und Ekströmsberg-Pattok) konzentriert sind, sind Skarneisenerze von den Kaledoniden im Westen bis zur finnischen Grenze im Osten verbreitet. Die Mehrheit und die größten Vorkommen liegen allerdings in den zentralen und östlichen Landesteilen. Die Mineralisationen sind immer schichtgebunden an Sedimentgesteine, oft Karbonate, im Grünsteingürtel gebunden.

Die Vorkommen bestehen aus Magnetit und nur untergeordnet Hämatit. Sulfide in wechselnden Anteilen, meistens Pyrit und Pyrrhotin, aber auch Chalkopyrit, sind vertreten. Der Schwefelgehalt liegt meist < 1 %, der Mangangehalt < 1 % und der Phosphorgehalt < 0,1 %, kann aber auch deutlich höher sein. Der Apatit in den Skarnen enthält ungefähr gleiche Anteile an F und Cl, im Gegensatz zu den Eisenerzen vom Kirunatyp. Der Anteil an den Skarnmineralen Tremolith-Aktinolith, Diopsid, Phlogopit und Serpentin, aber auch Hornblende, Biotit, Talk und Chlorit, ist meist sehr hoch, so dass der Fe-Gehalt nur 30 – 40 % beträgt.

Wichtige Skarnerzlagerstättenbezirke in Nordschweden liegen nach GRIP (1978):

- Südwestlich und westlich Kiruna mit zahlreichen, sehr unterschiedlich großen Erzkörpern. Hiervon haben nur Bedeutung:
 - Rakkurijoki (Vorräte: bis 300 m Teufe 48 Mio. t Eisenerz mit 32 % Fe, 1,9 % S und 0,1 % P),
 - Rakkurijärvi (Vorräte: 6 Mio. t Erz mit 30 % Fe, 0,05 % P und 1 % S),
 - Salmivaara (Vorräte: 16 Mio. t Erz mit 34 % Fe, 0,1 – 0,8 % Cu (s. Kupfer), 0,03 % P und 3,60 % S),
 - Puoltsa (Vorräte: 31,5 Mio. t Erz mit 35 % Fe, 0,03 % P und < 0,03 % S) und
 - Vieto (Vorräte: 15,65 Mio. t Erz mit ca. 6 Mio. t Fe-Inhalt bzw. 40,4 % Fe, 0,12 % P und 1,5 % S),
- Nördlich Kiruna mit den Titan haltigen Eisenerzlagerstätten:
 - Tjavelk (Vorräte von 6,8 Mio. t Eisenerz) und
 - Palovaara (Vorräte 1,4 Mio. t Erz).
- Östlich Kiruna mit den drei wichtigen Erzkörpern:
 - Altavaara Norra, Östra und Södra (26 % Fe, Gesamtvorräte: 7,3 Mio. t Erz),
 - Toppi (7,8 Mio. t Eisenerz) und
 - Sautusvaara (drei Einzelkörper, SE-Erzkörper: Vorräte bis 250 m Teufe: 42,1 Mio. t Erz mit 37,2 % Fe, 0,066 % P und 1,82 % S; NW-Erzkörper: Vorräte von

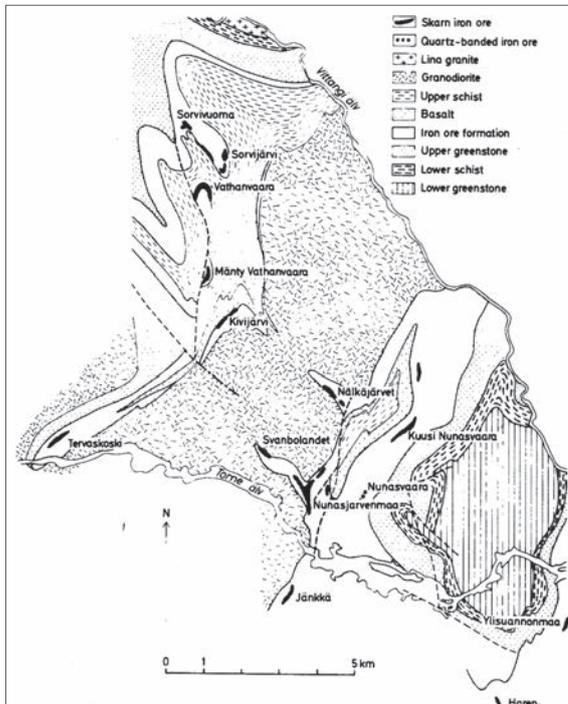


Abb. 5-13: Geologische Übersichtskarte des Gebietes nordwestlich Vittangi mit Lage der dortigen Skarneisenerzvorkommen, aus GRIP (1978).

13,3 Mio. t Erz mit 42,1 % Fe, 0,074 % P und 0,48 % S, Gesamtvorräte 55 Mio. t Erz mit 21 Mio. t Fe-Inhalt) (FRIETSCH 1976).

- Nordwestlich Vittangi mit > 12 Erzkörpern (vgl. Abb. 5-13), davon am bedeutendsten:
 - Tervakoski (Cu führendes Skarneisenerz bis in „größere Tiefe“ mit 48 % Fe, 0,1 %

Cu, 3 % S und 0,05 % P; Vorräte: 30 Mio. t Erz mit 15 Mio. t Fe-Inhalt) (FRIETSCH 1976).

- Nordwestlich von Masugnsbyn mit wenigen BIF- und diversen Skarneisenerzlagerstätten (Junosuando, Vähävaara, Välivaara, Vuoma, Isovaara, Nya Isovaara, Leppäjoki), davon jedoch nur von Bedeutung das Lagerstättenfeld:
 - Junosuando: 1642 entdeckt und bis ins Jahr 1805 in unregelmäßigen Abständen abgebaut, 3 km lang und 100 m breit, Magnetiterz mit etwas Pyrrhotin und sehr viel Tremolith-Aktinolith sowie Diopsid, 25 – 30 % Fe, 0,4 – 1,3 % Mn, 0,024 % P und 1,9 (0,002 – 4,2) % S, ursprüngliche Vorräte von rund 60 Mio. t Erz mit 18 Mio. t Fe-Inhalt (Frietsch 1976), verblieben sind Vorräte von 27,8 Mio. t Erz mit 32 % Fe (MARTINSSON & BERGMAN 2007).
- Um Pajala, direkt an der finnischen Grenze (vgl. Abb. 5-16) mit den wichtigen Erzbezirken:
 - Kaunisvaara mit den Einzelerzkörpern Kaunisvaara, Södra Sahavaara, Östra Sahavaara, Suksivuoma, Karhujärvi, Ruutijärvi, Erkheikki, Liviovaara, Palotieva sowie den beiden, 1918 entdeckten großen Erzkörpern Stora Sahavaara (1.300 m lang, bis 90 m breit, Ausbiss

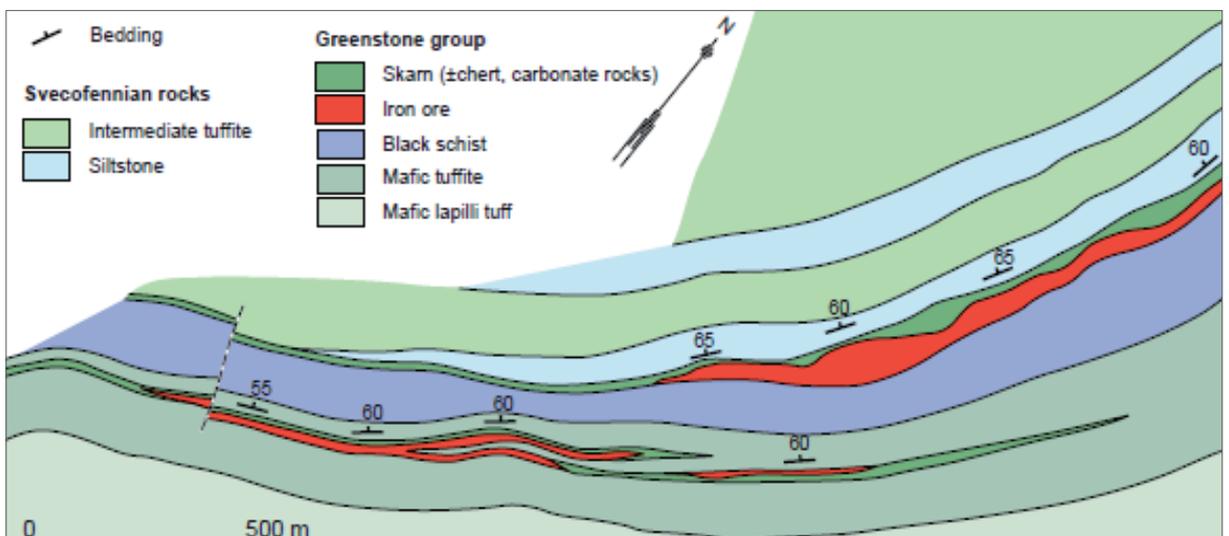


Abb. 5-14: Geologie des Stora-Sahavaara-Eisenerzkörpers, aus MARTINSSON & BERGMAN (2007).

- auf 53.000 m² Fläche, Gesamtressourcen von 145,04 Mio. t Erz mit 43,06 % Fe [cut-off 25,0 % Fe], 2,5 % S, 0,07 % P, 0,076 % Cu sowie bis zu 1 % C durch graphitische Einschlüsse) und Tapuli (2.500 m lang, bis 180 m breit, Ausbiss auf 111.000 m² Fläche, Gesamtressourcen von 103,92 Mio. t Erz mit 29,4 % Fe [cut-off 15,0 % Fe], 0,06 % P, 0,15 % S und 0,01 % Cu). Es handelt sich um Magnetiterze mit reichlich Skarnmineralen, v. a. Serpentin und Phlogopit (FRIETSCH 1976). Der Abbau der Erzkörper von Tapuli und Stora Sahavaara ist in Planung.
- Pellivuoma mit der Südostverlängerung Marjarova, bestehend aus mehreren 20 – 100 m mächtigen, mit 50° nach SW einfallenden Erzlinsen, Ausbiss auf rund 700 x 600 m Fläche, stark tektonisch beansprucht, angezeigte und vermutete Gesamtressourcen von 90,8 Mio. t Erz mit 29,9 % Fe (cut-off: 20,0 % Fe).
 - Bei Lannavaara, rund 80 km ENE von Kiruna mit den drei Eisenerzlagern:
 - Kevus, Sattavaara und Teltaja, die zusammen 35.000 m² Ausbissfläche besitzen und bis in 200 m Teufe nachgewiesen sind. Das Erz enthält 30 – 40 % Fe, 0,09 % P, 2 – 3 % S und in Sattavaara 2 % Mn. Die Gesamtvorräte betragen rund 82 Mio. t Erz (FRIETSCH 1976).
 - dem Eisenerzdistrikt Paljasjärvi, 18 km NE von Lannavaara, in dem eine bis 10 m breite und 3.500 m lange Zone reich an Magnetit ist. Die Gesamtvorräte betragen rund 4 Mio. t Erz. Die Reicherzonen streichen auf rund 10.000 m² Fläche aus und führen Erz mit 46 % Fe, 1,2 % S und 0,09 % P.

In dem gleichen Gebiet wie die Skarneisenerzvorkommen treten auch Lagerstätten von gebänderten, Quarz reichen Eisensteinen (BIF) auf, die – zumindest in Nordschweden – jedoch meist niedrig-gradig und von geringer rohstoffwirtschaftlicher Bedeutung sind (GRIP 1978). Es handelt sich um geringmächtige, jedoch über lange Strecken verfolgbare,

schichtgebundene Erze, in denen Magnetit mit Quarz und Skarnmineralen, v. a. Cumingtonit-Grunerit, Clinoenstatit, Hypersthen, Hornblende und Almandin, wechsellagert. Der Fe-Gehalt überschreitet nur selten 20 % und der Apatitgehalt 0,1 %. Durch das häufige Auftreten von Pyrit und Pyrrhotin ist der S-Gehalt lokal erhöht (einige Prozent) und auch der Mn-Gehalt kann 1 – 2 % erreichen.

- Kleine Vorkommen von BIF-Eisenerzen existieren westlich und nordwestlich Kiruna, bei Vittangi und Pajala, haben jedoch keine rohstoffwirtschaftliche Bedeutung.
- Im Masugnsbyn-Gebiet gibt es zahlreiche Vorkommen, von denen Tornefors das Größte ist. Der dortige Erz führende Quarzit kann über 1 km Länge verfolgt werden, ist bis 30 m breit und enthält Lagen von Magnetit. Die reichsten Areale, die auf 10.000 m² Fläche konzentriert sind, führen 25 – 45 % Fe und 1,5 – 5 % S.
- Auch im südwestlichen Teil des Präkambriums in Norrbotten, von Gällivare bis Arjeplog, gibt es zahlreiche BIF-Eisenerzlagern. Diese liegen in sedimentärem, aber auch sauer vulkanischem Umfeld. Es handelt sich meist um Magnetiterze mit teils hohen Mn-Gehalten bis 7 %. Die wichtigsten Einzellagerstätten nördlich des Polarkreises sind:
 - Peltovaara, 15 km WSW von Gällivare, mit einer 4 km langen Zone aus Magnetit-, Skarn- und Quarz-gebänderten Glimmerschiefern. Die Bereiche mit Magnetit sind 5 – 15 m mächtig. Der Magnetit ist teils fein verteilt, teils in dünnen Lagen angereichert. Die Vorräte betragen ca. 7 Mio. t Erz. Die Reicherzzone besitzt ca. 25.000 m² Fläche und führt Erz mit 25 % Fe und 0,1 % Mn.
 - Kallak und Kallak Södra, 37 km WNW Jokkmokk. Der dortige Erzhorizont ist bis 100 m mächtig, fällt steil ein und ist auf 97.000 m² Fläche aufgeschlossen. Das Quarz gebänderte Erz führt Magnetit, wenig Hämatit und etwas Tremolith-Aktinolith sowie Diopsid. Es enthält 35 – 38 % Fe, 0,04 % P, 0,4 % Mn, 0,6 % S, 0,06 % TiO₂ und 38 – 39 % SiO₂. Die Vorräte betragen in Kallak rund

50 Mio. t Erz (Kallak Södra: 23 Mio. t Erz) mit 18 Mio. t Fe-Inhalt (FRIETSCH 1976). Der geologische Dienst von Schweden schätzt die Gesamtvorräte beider Vorkommen auf 88 – 92 Mio. t Erz mit 35 – 42 % Fe.

- Åkosjägge, 20 km NE Kallak, ist diesem sehr ähnlich und besitzt eine Länge von 1,5 km bzw. Vorräte von 75 Mio. t Eisenerz.

NORDFINNLAND

Die finnische Misi-Eisenerzregion liegt auf der Breite des Polarkreises im südlichen Lappland in der Landgemeinde von Kemijärvi. Hier wurden auf einer Fläche von 200 km² insgesamt 13 Magnetit-Erzkörper nachgewiesen. Von diesen standen bisher vier durch die Firma Rautaruuki Oy im Abbau:

- Kärvasvaara: ursprüngliche Erzvorräte 1,4 Mio. t, Abbauezeitraum 1959 – 1967 (Tagebau, seit 1961 Tiefbau), Produktion: 1,094 Mio. t Erz mit 46,2 % Fe, 0,11 % Ti und 0,04 % V, entsprechend 429.552 t Fe.
- Raajärvi (s. Abb. 5-15) und der Satellitenerzkörper Leveäselkä: ursprüngliche

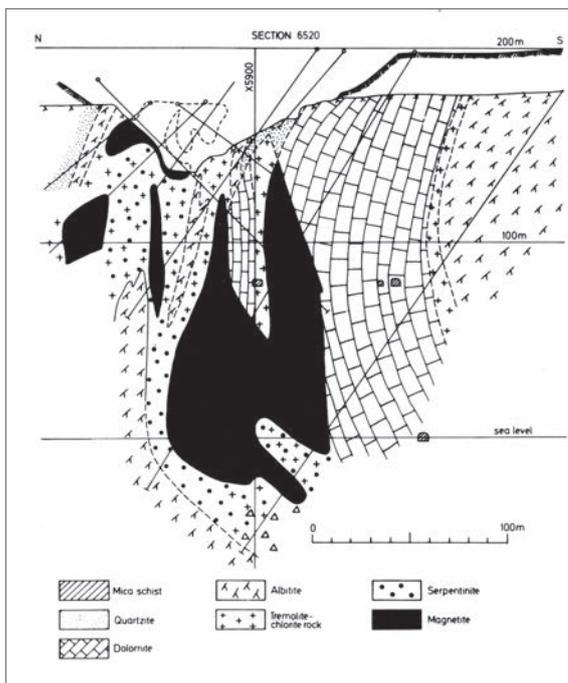


Abb. 5-15: Profilschnitt durch den Haupterzkörper von Raajärvi, aus ISOKANGAS (1978).

	Kärvasvaara	Raajärvi	Leveäselkä
Fe	52	47	50
F ₂ O ₃	50,6	49,0	
FeO	21,1	16,3	
P ₂ O ₅	0,19	0,37	
SiO ₂	13,5	12,0	
TiO ₂	0,19	0,19	
Al ₂ O ₃	3,0	2,99	
MgO	6,1	11,2	
CaO	1,25	1,83	
V	0,04	0,088	0,17
Cr	0,007		
Mn	0,07	0,09	
S	1	0,11	0,1

Tab. 5-1: Typische chemische Zusammensetzung (M.-%) von Eisenerzen der Misi-Provinz (NUUTILAINEN & PAAKKOLA 1976).

Erzvorräte 7,6 Mio. t, Abbauezeitraum 1962 – 1975 (bis 1967 Tagebau, danach Tiefbau), Produktion: 6,093 Mio. t Erz mit 40,62 % Fe, 0,11 % Ti und 0,11 % V, entsprechend 2.079.224 t Fe, 5.724 t Ti und 5.631 t V sowie

- Puro, ursprüngliche Erzvorräte 660.000 t, Abbauezeitraum 1969 – 1974, Produktion 60.000 t Erz mit 53 % Fe (SALTIKOFF et al. 2006).

Die Misi-Eisenerzprovinz stellt eine SE-NW streichende geologische Einheit im Südosten des zentralen Lappland-Granitgebietes bzw. im äußersten Nordosten des Peräpohja-Schiefergürtels dar, die am besten auf aeromagnetischen Karten sichtbar wird. Die Eisenerze kristallisierten bei niedrigen hydrothermalen Temperaturen aus residualen Flüssigkeiten eines spillitischen Magmas. Die heutige Verbreitung der pfeifen- bis keilförmigen Eisenerzkörper wird durch Störungen kontrolliert. Ganz im Osten der Misi-Eisenerzprovinz schließt sich das kleine Soinanjoki-Eisenerzvorkommen an (SALTIKOFF et al. 2006).

Der zwischen 1959 und 1967 größtenteils abgebaute Kärvasvaara-Erzkörper liegt im Norden der Misi-Provinz in einer Zone aus Metasedimentgesteinen zwischen einem Gabbro und einem jüngeren Granit. Der keilförmige Erzkörper ist rund 150 m lang,

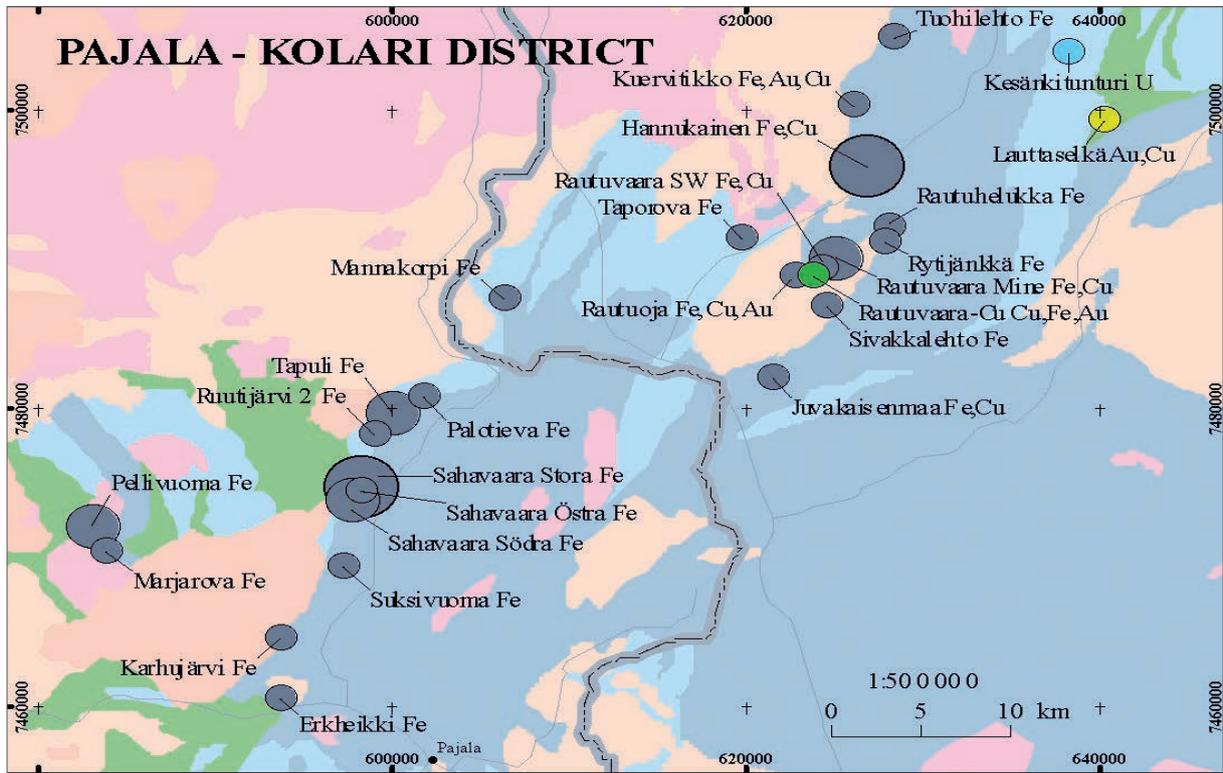


Abb. 5-16: Metallergmineralisationen im Pajala-Kolari-Distrikt (Schweden / Finnland). Legende s. Abb. 4-8. Ausschnitt aus EILU ET AL. (2008).

30 m breit und reicht 300 m tief. Das Erz besteht zu ca. 70 % aus Magnetit mit etwas Tremolith, Chlorit, Serpentin, Phlogopit und 2 % Pyrit. Im Vergleich hierzu besteht der ebenfalls abgebaute pfeifenförmige Erzkörper in Raajärvi aus 60 – 70 % Magnetit mit Chlorit, Tremolith, Serpentin, Talk, Dolomit und lokal Apatit. Die typische chemische Zusammensetzung der geförderten Eisenerze ist Tab. 5-1 zu entnehmen (ISOKANGAS 1978, NUUTILAINEN & PAKKOLA 1976).



Abb. 5-17: Eisenerz von Hannukainen, Foto: NORTHLAND RESOURCES INC.

Der Kolari-Eisenerzdistrikt (vgl. Abb. 5-16) in Westlappland ist durch den dort auftretenden Marmor schon seit dem 17. Jh. bekannt, jedoch begann der Abbau hier erst 1962. Der Distrikt besteht aus mehreren, allesamt niedrig gradigen Eisenerzvorkommen (Rautuvaara, Juvakaisenmaa, Sivakkalehto, Rytijänkä, Rautuoja, Rautuhelukka, Kuerjoki, Latvarova, Tuohilehto, Mannakorpi, Hannukainen, Taporoiva, Suuoja u. a.) svekokarelisten Alters.

Haupterzmineral im Kolari-Eisenerzdistrikt ist Magnetit mit bis zu 95 Vol.-%, daneben Pyrrhotin. Zusätzlich führen einige der Skarnerze Chalkopyrit mit 0,2 – 0,4 % Cu. Vier Erzkörper bei Hannukainen (Hannukainen-Laurinoja, Kuervitikko, Rautuoja und Lauttaselkä) und ein Erzkörper bei Rautuvaara enthalten zudem auch Gold führenden Chalkopyrit und gediegen Gold in bauwürdigen Anreicherungen (0,3 – 0,7 Cu und 0,5 – 3 ppm Au, vgl. Tab. 5-2). Der Schwefelgehalt, hauptsächlich durch Pyrrhotin verursacht, variiert zwischen 2 und 5 %. Zu den wichtigen Gangmineralen zählen Diopsid, Amphibole, Plagioklas und Olivin. Zweitgrößtes Einzelvorkommen nach Rautuvaara (s. u.) ist Taporoiva

mit Vorräten von ca. 9 Mio. t Erz mit 21 – 25 % Fe (ISOKANGAS 1978, NUUTILAINEN & PAAKKOLA 1976).

Bisher standen im Kolari Eisenerzdistrikt das 1957 durch aeromagnetische Messungen entdeckte Rautuvaara-Vorkommen und zwei der fünf Erzkörper des 1972 entdeckten Hannukainen-Vorkommens (Laurinoja, Vuopia, Kuervaara, Lauku, Kivivuopio, s. Abb. 5-18) im Abbau.

Rautuvaara (NE und SW Rautuvaara) wurde – mit Unterbrechungen – zwischen 1962 und 1988 erst im Tagebau bzw. dann ab 1975 nur noch im Tiefbau abgebaut und produzierte 11,564 Mio. t Erz mit Gehalten von 46,78 % Fe und 0,32 % Cu bzw. Metallinhalten von 5,341 Mio. t Fe und 26.346 t Cu.

Die Kuervaara-Erzkörper von Hannukainen wurden ab 1978 im Tagebau abgebaut und erbrachten 1,1 Mio. t Magnetit mit 41,6 % Fe und 0,08 % Cu.

Zwischen 1982 und 1988 und dann erneut im Jahr 1990 stand der Laurinoja-Erzkörper von Hannukainen im Abbau (Tagebau) und lieferte 3,258 Mio. t Cu führendes Magnetit mit 43,0 % Fe, 0,45 % Cu

und 0,25 ppm Au (+ 207.000 t Cu und Au führendes Erz im Jahr 2000 mit 0,92 % Cu und 1,01 ppm Au + 18.000 t im Jahr 1989 aufgearbeitetes älteres Bergematerial mit 0,33 % Cu und 0,32 ppm Au) (KOR-KALO 2006). Insgesamt wurden aus Hannukainen rund 1,865 Mio. t Fe, 14.814 t Cu und 213 kg Au ausgebracht.

Die nun nur noch im Tiefbau gewinnbaren verbliebenen Erzvorräte des Hannukainen-Vorkommens betragen mehrere Zehner Mio. t mit 16 t Au-, 125.000 t Cu- und 26 Mio. t Fe-Inhalt (SALTIKOFF et al. 2006, NIIRANEN & EILU 2007). Der gegenwärtige Lizenzinhaber, Northland Resources Inc., nennt dagegen aufgrund neuerer Bohrungen gemessene Ressourcen von 53,1 Mio. t Erz mit 35,6 % Fe, 0,25 % Cu und 0,12 ppm Au, angezeigte Ressourcen von 31,5 Mio. t mit 32,9 % Fe, 0,11 % Cu und 0,04 ppm Au sowie vermutete Ressourcen von 81,6 Mio. t Erz mit 32,9 % Fe, 0,11 % Cu und 0,04 ppm Au.

Der große Eisenerzdistrikt von Porkonen-Pahtavaara liegt im Osten der Gemeinde Kittilä. Es wurde bereits 1864 entdeckt und in verschiedenen Phasen seitdem exploriert. Es handelt sich um eine Mangan führende Eisenformation in engem Kontakt zu spi-

	Hannukainen	Rautuvaara	Kuervittiko	Rautuoja
Größe und Gehalt	Gesamt ca. 66 Mio. t Erz @ 0,2 – 4 ppm Au, 0,1 – 2 % Cu, 40 – 55 % Fe	Cu-Rautuvaara: 2,8 Mio. t Erz @ 0,48 % Cu; NE-Rautuvaara: 13,3 Mio. t Erz @ 0,20 % Cu, 46,8 % Fe; SW-Rautuvaara: 4,5 Mio. t Erz @ 42,7 % Fe, 0,81 % Mn	1,2 Mio. t Erz @ 1 ppm Au, 0,3 % Cu	1,9 Mio. t Erz @ 0,34 ppm Au, 0,19 % Cu, 36,7 % Fe
Angereicherte Elemente im Erz	Fe, Cu, Au, S ± Ag, Bi, Ba, Co, Mo, Sb, Te, SE, Zn	Fe, Cu, S ± Au, Ba, Bi, Mo, Se, Th, Te, U, LSEE, Zn	Fe, Cu, Au, S ± Ba, Bi, Mo, Se, Te, Zn	Fe, Cu, Au, S
Erzminerale	Mgt, Py, Po, Cpy ± Mo, Au, Te	Mgt, Po, Py, Cpy ± Ura	Mgt, Py, Cpy, Po	Mgt, Po, Py, Cpy
Gangminerale	Di, Bt, Ab, Hbl, ± Ska, Oli, Cc, Ap, Ep	Di, Ab, Atf, ± Hbl, Bt, Chl, Ap	Di, Ab, Hbl, ± Bt, Chl, Cc, Ep, Ap	unbekannt
Muttergestein(e)	Diopsidskarn	Diopsidskarn, Albit-Antophyllitgestein	Diopsidskarn	Diopsidskarn
Wichtigste Nebengesteine	Diorit, mafische Metavulkanite, Quarz-Albitgestein	Diorit, mafische Metavulkanite, Albit-Antophyllitgestein	Diorit, mafische Metavulkanite, Quarz-Albitgestein	Diorit

Tab. 5-2: Tonnagen und generelle Charakteristika von vier der fünf Cu-Au-führenden Eisenerzvorkommen im Kolari-Eisenerzdistrikt. Abkürzungen der Minerale: Ab=Albit, Ap=Apatit, Atf=Anthophyllit, Au=Gold, Bt=Biotit, Cc=Calcit, Chl=Chlorit, Cpy=Chalkopyrit, Di=Diopsid, Ep=Epidot, Hbl=Hornblende, Oli=Olivin, Mgt=Magnetit, Moly=Molybdänit, Po=Pyrrhotin, Py=Pyrit, Tell=Telluride, Ska=Skapolit, Ura=Uraninit (aus NIIRANEN & EILU 2007).

litischen Vulkaniten. Die mehrere hundert kleinen Erzkörper verteilen sich auf 20 x 4 km Fläche mit Hauptvererzungen bei Porkonen, Silmänpaistama, Kuoreslaki, Haurespää, Pahtavaara und Jänesvaara. Die Erze entstanden svekokarelich als chemische Ausfällungen vulkanischer Exhalationen in verschiedenen Faziesbereichen. Als Erzminerale treten Magnetit und Hämatit in einer oxidischen Fazies (14 – 65,7 % Fe, 0,1 – 1,2 % Mn, 0,13 – 0,78 % P, 0,02 – 0,7 % S, 32 % SiO₂), Manganosi-

derit und Magnetit in einer karbonatischen Fazies (18 – 22,3 % Fe, 2,7 – 4,9 % Mn) sowie Pyrrhotin und Pyrit in einer sulfidischen Fazies (18 – 40 % Fe, 13 – 39 % S) auf. Alle Fazies führen Quarz und regional Graphit, Minnesotait, Stilpnomelan und Chlorit. Die Erzvorräte im gesamten Distrikt werden auf 50 – 100 Mio. t Magnetiterz mit 35 % Fe sowie mindestens die gleiche Menge an Manganosideriterz mit 20 % Fe und 4 % Mn geschätzt. Tei-

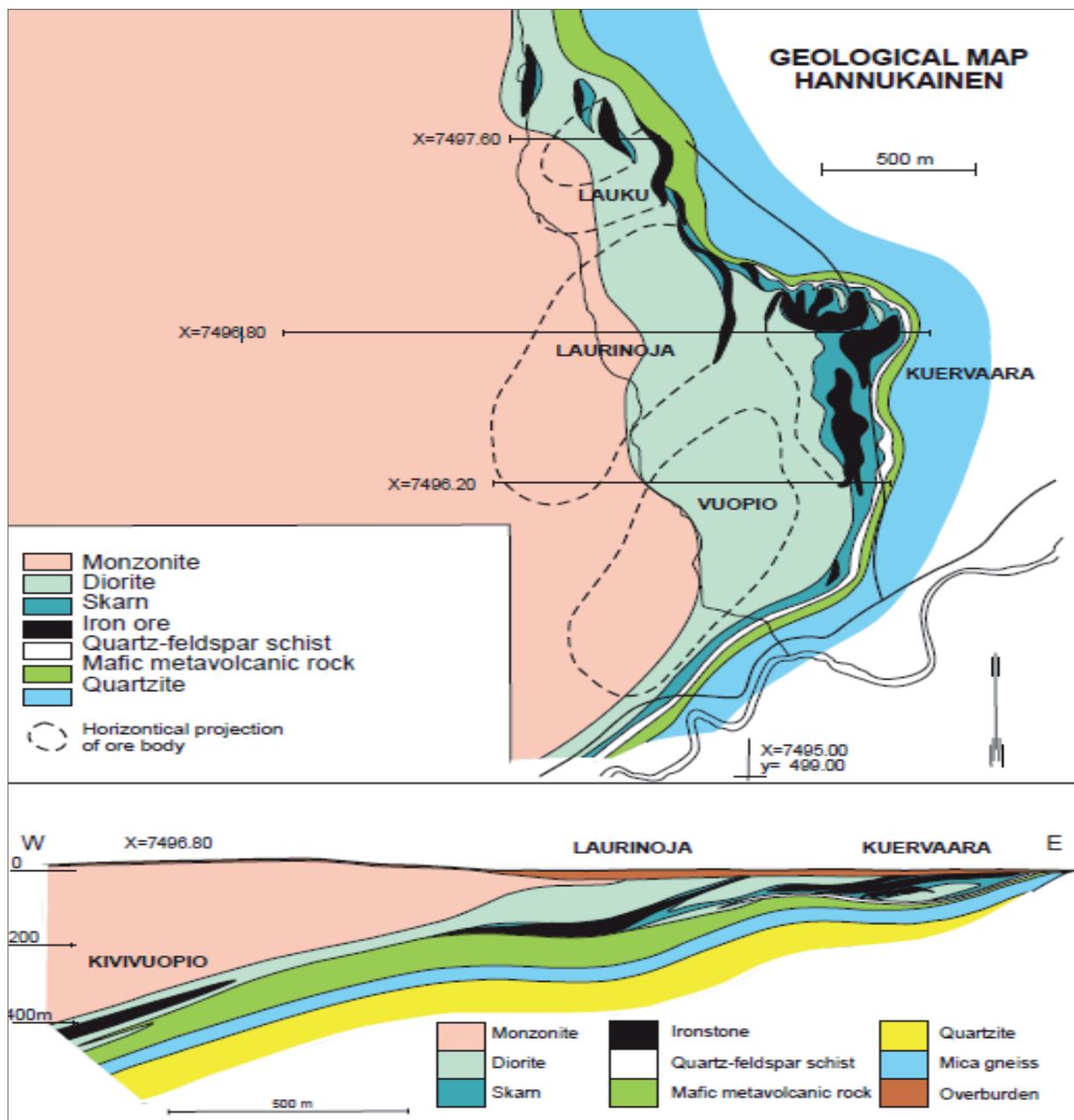


Abb. 5-18: Geologische Übersichtskarte und Profilschnitt durch das Hannukainen-Erzvorkommen, aus NIIRANEN & EILU (2007).

le der Eisenerzkörper sind zudem an Gold vererzt (NUUTILAINEN & PAAKKOLA 1976).

Bei Haurespää treten interglaziale Sande mit Limonit-Zement (z. T. > 50 % Fe) als auch holozäne Sumpfeisenerze (ca. 50 % Fe) auf (Zitzmann 1976 c).

Der Jauratsi-Eisenerzdistrikt liegt im südöstlichen Teil des zentralapländischen Grünsteingürtels und besteht aus den Matalavaara-, Reposelkä-, Jauratsi- und Rakhavaara-Eisenerzkörpern. Der eigentliche Jauratsi Erzkörper liegt in einer E-W-streichenden Mulde von 5 km Länge und 1 km Breite. Der zentrale Muldentheil besteht aus svekokarelich überprägten Quarziten, Serizitschiefern, Skarnen und Hornblendeschiefern. In der nördlichen Muldenflanke treten Hämatit-Magnetit-Goethit führende, an der Südflanke Goethit führende Eisenformationen auf. Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der erstgenannten Erze beträgt 20 % Fe, 0,02 – 0,05 % MnO, 2,4 % P₂O₅ und 0,06 % S. Insgesamt enthält der Jauratsi-Eisenerzdistrikt Vorräte von bis zu 30 Mio. t niedrig gradigen Eisenerzes mit 25 – 30 % Fe (SALTIKOFF et al. 2006).

Die Kylälampi-Eisenerzzone liegt rund 20 km südöstlich der großen mafischen Koitelainen-Intrusion. Die Zone umfasst die geschichteten Gabbrointrusionen von Kylälampi (2.114 Ma) und Kannusjäkä im Osten des Lappland-Grünsteingürtels. Hier wurden in Bohrungen niedrig gradige V-führende Magnetit-mineralisationen (18 – 24 % Fe, 0,02 – 0,08 % V) in Gabbros, Granophyren und Albititen angetroffen (SALTIKOFF et al. 2006).

Nordöstlich des Inarisees, im Gebiet von Tsumujärvi-Nuorgam, tritt ein geschichtetes Magnetiterz auf, bei dem es sich möglicherweise um eine Fortsetzung des norwegischen Sydvaranger-Erzes handelt (s. Norwegen). Die Erzzone ist nur rund 5 m breit und besteht aus verschiedenen, jeweils mehrere hundert Meter langen Einzelvorkommen mit rund 30 % Fe (NUUTILAINEN & PAAKKOLA 1976).

Das noch nicht im Detail explorierte Eisenerzvorkommen Silaskaira, ca. 180 km nördlich des Polarkreises, besteht aus einem 0,5 bis 4 m mächtigen, diskontinuierlichen Horizont aus teils fein verteil-

tem, teils massivem Erz im Hangenden einer rund 100 m mächtigen Amphibolitlage inmitten metavulkanischer Gesteine. Der Erzhorizont fällt mit 45° ein und wurde bisher bis in Teufen von 200 m nachgewiesen. Bei den Erzmineralen handelt es sich um Vanadium führenden Magnetit und Ilmenit sowie als Gangminerale um Chlorit und Amphibole (NUUTILAINEN & PAAKKOLA 1976).

Die ebenfalls noch wenig explorierte Vätsäri-Eisenerzzone im äußersten Nordosten Finnlands beinhaltet vier kleine BIF-Eisenerzkörper. Sie stehen in Verbindung mit Skarnhorizonten in Amphiboliteinheiten des Inari-Gebietes in Nordostlappland. Westlich von Vätsäri wurden BIF-Eisenerze auch bei Supru (7 Mio. t Erz) und Koppasaari (1 Mio. t Erz) gefunden (SALTIKOFF et al. 2006).

5.1.1.2 Titan und Vanadium

NORDNORWEGEN

Auf den Lofoten bzw. den angrenzenden Vesterålen existiert eine Abfolge proterozoischer, ca. 1,9 Ga alter Gabbros, Anorthosite, Mangerite und Granite, die in frühproterozoische suprakrustale und archaische Gneise eingedrungen sind. Einige der Gabbros und Anorthosite führen bedeutende Konzentrationen von Fe-Ti-Oxiden. Vor allem die Bänder von Magnetit-Ilmenit-Pyroxeniten an der Basis eines eisenreichen Gabbros bei Flagstadøy auf den Lofoten und Fe-Ti-Oxidkonzentrationen in einem benachbarten Anorthosit wurden schon früh beachtet.

Das bedeutendste Fe-Ti-Vorkommen in der Region liegt jedoch bei Selvåg, Vesterålen, im Topbereich der geschichteten, ca. 20 km² großen mafischen Eidet-Hovden-Intrusion (vgl. Kap. 5.1.1.1). Bereits Ende des 19. Jh. entdeckt, wurde das Vorkommen häufig und ab 1978 auch von deutschen Wissenschaftlern detailliert untersucht (PRIESEMANN & KRAUSE 1985). Es besteht aus zwei Erzkörpern, Nord und Süd, die durch eine Störung getrennt sind. Der nördliche Erzkörper erstreckt sich in Nord-Süd-Richtung über ca. 500 m Länge, besitzt durchschnittlich 200 m Breite und bedeckt 100.000 m² Fläche. Er ist tektonisch stark beansprucht. Der südliche Erzkörper liegt 200 m vom nördlichen Erzkörper entfernt und ist auf 40.000 m² Fläche

nachweisbar. Der Gehalt an Fe-Ti-Oxiden in den beiden Erzkörpern ist, bei einem mittleren Gehalt von rund 20 Vol.-%, sehr wechselhaft und reicht von < 5 Vol.-% in Leukogabbros bis zu 38 Vol.-% in Pyroxenitlagen. Das Erz besteht im Wesentlichen aus Titanomagnetit (i. M. 82 Vol.-% der Opaken), Ilmenit (i. M. 12 Vol.-% der Opaken) und Sulfiden (Pyrrhotin, Bravoiit, Pentlandit, Pyrit, Markasit, Mackinawit, Chalkopyrit und Covellin; 4 – 5 Vol.-% der Opaken).

Die geologischen Gesamtvorräte im nördlichen Erzkörper betragen rund 44 Mio. t Erz bzw. im Tagebau gewinnbare Vorräte von 10 – 15 Mio. t Erz mit 25 – 30 % Fe, 2,5 – 4 % TiO₂, 0,15 – 0,17 % V und 0,1 – 0,7 % S (BUGGE 1978). Der südliche Erzkörper enthält Erze etwas schlechterer Qualität. Beide Erzkörper sind trotz akzeptabler Infrastruktur nicht bauwürdig.

Im Süden der Lofoten, bei Andopen auf Flakstadøy, existieren zahlreiche kleinere Anreicherungen von Titanomagnetit, Ilmenit und Spinell in Olivin- und Labradoritfelsen. Die Gehalte im Erz betragen 60 % Fe und 10 % TiO₂. Die Ressourcen sind sehr gering und werden auf 10.000 – 15.000 t Erz geschätzt (ANONYM 1940).

An den Stränden der Eidet-Hovden-Halbinsel treten zudem Seifen mit Titanomagnetit und Ilmenit auf.

In der magmatischen Seiland-Provinz, einem Teil der Kaledoniden Nordnorwegens, treten in geschichteten mafischen Intrusionen, wie auch in alkalischen Ultrabasiten, fein verteilte Anreicherungen von Fe-Ti-Oxiden auf. Trotz Verbreitungsflächen von 1 km² und Gehalten von 10 % Titanomagnetit (mit bis 0,59 % V) und 9 % Ilmenit sind diese sämtlich nicht bauwürdig (ROBINS 1985).

NORDSCHWEDEN

Zahlreiche der Eisenerzlagerstätten Nordschwedens führen auch geringe Gehalte an Titan und Vanadium. Nach GRIP (1978) und der Fennoscandian Ore Deposit Database können jedoch nur vier dieser Vorkommen als reich an diesen Elementen ausgehalten werden:

- Ruoutevare, 13 km NW von Kvikkjokk bzw. 40 km nördlich des Polarkreises: Dieses Vorkommen sowie auch das benachbarte Vorkommen Tjavelk (6,8 Mio. t Erz) liegen bereits in den Kaledoniden in einer großen Platte aus präkambrischen Gesteinen. Muttergestein des Erzes bei Ruoutevare ist ein Anorthosit. Das Erz führende Gebiet ist 1,5 km lang, über 300 m breit und umfasst 387.000 m² Ausstrichfläche. Das Erz wird von zahlreichen, meist kleinen und steil einfallenden metabasischen Gängen durchschlagen. Zudem ist es tektonisch stark beansprucht. Es besteht aus Titanomagnetit (90,8 %), Ilmenit (5,2 %) und Korund (2,2 %), zum Teil auch Pleonast und Ulvit (1,7 %) sowie geringen Anteilen von Pyrrhotin und Pyrit. Högbomit taucht in Schlieren auf. Das Erz bildet mehrere längliche bis tabulare Körper, die mit 10 – 20° einfallen. Die Gesamtmächtigkeit der Erzkörper beträgt rund 70 m. Die Vorräte betragen 140 Mio. t Erz (cut-off 30 % Fe) mit 39,1 % Fe, 5,7 % Ti und 0,17 % V. Obwohl das Vorkommen seit seiner Entdeckung zahllose Male prospektiert und exploriert wurde, fand bisher kein Abbau statt.
- Akkavare, 40 km WNW von Gällivare: Hier treten Titan haltige Eisenerze in einer Anzahl von Absonderungen in einem noritischen Gabbro von 6 km Länge x 1 km Breite auf. Die Hauptminerale sind Plagioklas, Pyroxen und uralitische Hornblende. Zu den Nebenbestandteilen zählen Biotit, Chlorit, Hercynit und reichlich Apatit. Magnetit und Ilmenit liegen fein verteilt im Gestein und in bis 50 m langen Anreicherungs-zonen vor, die durchschnittlich 18,5 % Fe, 4,5 % Ti sowie etwas S und V enthalten. Die Gesamtvorräte betragen rund 230 Mio. t Erz.
- Eustilljåkk, dieses Apatit-Eisenerzvorkommen enthält Vorräte von 5 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 37,5 % Fe und 0,25 % V.
- Tansari ist ein kleineres Apatit-Magnetit-Erzvorkommen mit Vorräten von 3 Mio. t Erz und Gehalten von 20 % Fe und 0,6 % Ti.

NORDFINNLAND

Das Ti-Fe-Vorkommen Silaskaira liegt rund 180 km nördlich des Polarkreises. Hier tritt in Amphibolitlagen von 0,4 – 4 m Mächtigkeit und mehreren Kilometer Länge Titanomagnetit in Form von Imprägnationen und z. T. als konkordante Lagen mit massivem Erz auf. Die Lager fallen mit 45° ein und sind bis 200 m Tiefe nachgewiesen (BUSCH 1977).

Auch in Nordfinnland existieren mehrere Vanadiumvorkommen, davon die meisten in den Metavulkaniten und Schiefeln um Pyhäjärvi. Leider liegen über die Mehrheit dieser Vorkommen keinerlei Publikationen vor.

Akanvaara (s. Chrom): In der Akanvaara-Intrusion enthält die 6 – 13 m mächtige basale Lage des Magnetitgabbros bis in 100 m vertikale Teufe Ressourcen von rund 20 Mio. t Erz mit 0,34 % V, 0,10 % Cu und 2,5 ppm Ag. Der Vanadium reiche Magnetit enthält zwischen 1,93 – 1,99 % V. Bei Aufbereitungsversuchen konnten 50 – 60 % des Vanadiums ausgebracht werden. Die Obere Chromitlage in Akanvaara ist geologisch, mineralogisch und von der Zusammensetzung her sehr homogen. Die vermuteten Ressourcen bis in 300 m vertikale Teufe betragen 18,1 Mio. t Erz mit 22,8 % Cr₂O₃, 0,4 % V und 0,91 ppm PGM (Pt, Ru, Os, Rh, Ir und Pd). Bei Aufbereitungsversuchen konnten 92 % des Chroms und 88 % des Vanadiums ausgebracht werden (Geologischer Dienst von Finnland – Digitale Datenbank).

Koitelainen (s. Chrom): In der der Akanvaara-Intrusion sehr ähnlichen Koitelainen-Intrusion enthält der Obere Chromit Ressourcen von insgesamt 70 Mio. t Erz mit durchschnittlich 21 % Cr₂O₃, 0,4 % V und 1,1 ppm PGM. Der Untere Chromit enthält dagegen nur rund 2 Mio. t Erz mit ca. 0,2 % V.

- Karhunjupukka: Vorräte von 5,2 Mio. t Erz mit V, Fe, Ti und Co,
- Ala-Postojoki: Vorräte von 5 Mio. t Fe-V-Erz,
- Pyhäjärvi: Vorräte von 2,7 Mio. t V-Fe-Erz,
- Koivusilasselkä: Vorräte von 0,85 Mio. t V-Erz,
- Pesosjärvi: Vorräte von 0,7 Mio. t V-Erz,
- Kuusilaanivaara: Vorräte von 0,25 Mio. t V-Erz.

5.1.1.3 Kupfer

NORDNORWEGEN

Ganz im Westen der Provinz Finnmark ist in den kaledonidischen Decken das Raipas-Fenster abgeschlossen, in dem präkambrische Ablagerungen mit zahlreichen, teils bauwürdigen Vererzungen – auch an Kupfer – anstehen (s. Abb. 5-19).

Die Ulveryggen Cu-Mineralisation am Repparfjord liegt nahe der Stadt Hammerfest, wo Kupfer in sehr bescheidenem Maßstab schon im 18. Jh. abgebaut wurde. Erste Explorationskampagnen lassen sich auf die Jahre 1903 und 1955 datieren. Nach 1964 begann eine intensivere Exploration, die bis in 250 m Teufe Vorräte von 9,9 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,72 % Cu nachwies. Zwischen 1972 und 1979 wurden dann insgesamt 3,1 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 0,66 % Cu aus vier Tagebauen gefördert. Die daraus vor Ort produzierten 51.000 t Kupfervorkonzentrat enthielten durchschnittlich 35,5 % Cu sowie 50 – 70 ppm Ag. Durch die klimatischen Verhältnisse war der Betrieb jedoch derart stark behindert, dass er nach wenigen Jahren wieder eingestellt werden musste. Gegenwärtig findet eine wirtschaftliche Neubewertung der Abbaumöglichkeiten inkl. Exploration benachbarter Gebiete statt.

Die Erzzone am Repparfjord besteht aus diffusen länglichen Erzkörpern mit einer streichenden Länge von 1,8 km und einer maximalen Mächtigkeit von 60 – 80 m in einem nach NW einfallenden Flügel einer NE-SW-ausgerichteten Falte. Als Erzminerale in den dortigen niedriggradig mineralisierten Arkosesandsteinen treten auf: Bornit, Chalkopyrit, Digenit, Chalkosin, Covellin, Pyrit, Spekularit, Malachit, Ilmenit, Chromit, Hämatit und Magnetit (BUGGE 1978, Fennoscandian Ore Deposit Database, Gierth 1979, STRIBRNY 1985).

Ebenfalls am Repparfjord liegt das 1979 entdeckte und noch unzureichend explorierte Nussir-Cu-Vorkommen mit bisher nachgewiesenen Ressourcen von 25,52 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 1,16 % Cu, 18,4 ppm Ag, 0,13 ppm Au, 23,5 ppb Pd und 23,9 ppb Pt. Es handelt sich um mit einer Mächtigkeit von 0,5 – 7 m, durchschnittlich 3,1 m, mineralisierte dolomitische Marmore, die sich über

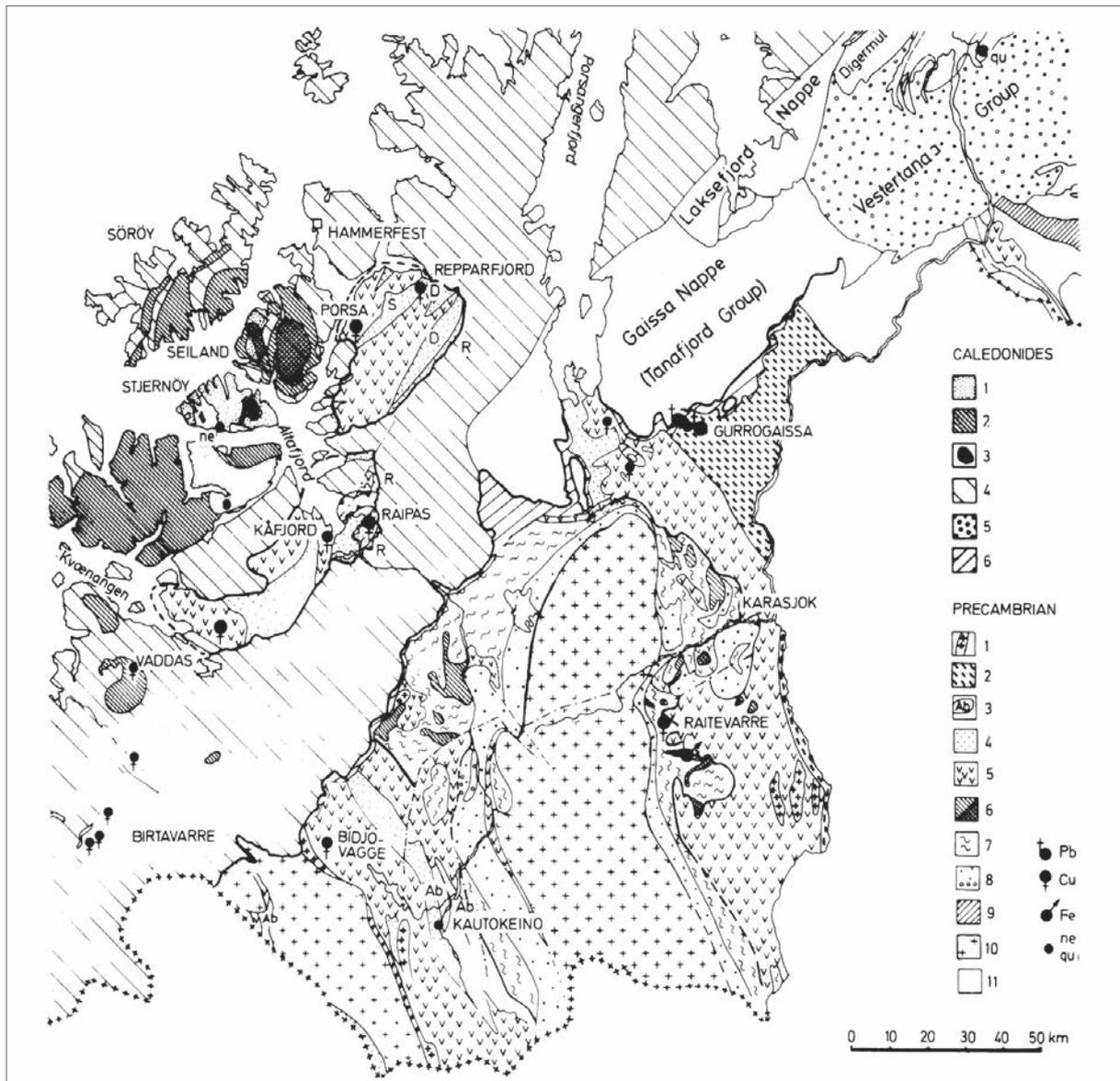


Abb. 5-19: Geologie und Lage wichtiger Mineralvorkommen in der westlichen Finnmark: *Kaledoniden:*

1) Alkaligesteine, Karbonatite 2) mafische Intrusionen 3) Ultramafite 4) Metasedimente des Kambro-Siluriums und Eokambriums 5) Eokambrium 6) Dividal-Gruppe; *Präkambrium:* 1) Granit 2) Granulite 3) Albit-Karbonate 4) Meta-Sandsteine 5) Grünsteine 6) Ultramafite 7) tonige Metasedimentgesteine 8) sandige Metasedimentgesteine 9) BIF 10) Archaisches Grundgebirge 11) Präkambrium, nicht untergliedert, aus BUGGE (1978).

8,9 km streichende Länge verfolgen lassen. Die Haupterzminerale Chalkosin und Bornit, untergeordnet auch Chalkopyrit, Digenit, Covellin, Pyrit, Hämatit, Rutil, Cobaltit, Molybdänit und Gold, sind feinkörnig ausgebildet und treten fein verteilt in feinkörnigen bituminösen Schiefen und dünnen, mit Quarz verheilten Klüften in den Dolomitmarmoren auf (Fennoscandian Ore Deposit Database, Homepage Nussir ASA).

Das Porsa-Vorkommen, ca. 30 km südöstlich von Ulveryggen, stand zwischen 1905 und 1918 im Abbau. Hier treten Chalkopyrit und Pyrit, gelegentlich auch Hämatit, Magnetit und Zinkblende, in Quarz-Calcitgängen von durchschnittlich 0,5 – 1,0 m Stärke in den Raipas-Grünsteinen auf. Die maximale Gangbreite nimmt mit zunehmender Teufe, von 10 – 12 m an der Erdoberfläche bis 2 m in 80 – 90 m Teufe, ab (BUGGE 1978).



Abb. 5-20: Typische Geomorphologie am Repparfjord mit Blick auf das Nussir-Cu-Vorkommen, Foto: NUSSIR ASA.

Auch aus der nördlich Porsa gelegenen und mit dieser Grube durch eine 3 km lange Seilbahn verbundenen Bachkes-Grube wurden zwischen 1900 und 1931 rund 25.000 t Kupfererze mit durchschnittlich 1,95 % Cu gewonnen. Dieses wurde ab 1917 durch Flotation zu Exportkonzentrat mit 22 % Cu aufbereitet (Fennoscandian Ore Deposit Database, Anonym 1940).

Das rund 70 km südlich von Ulveryggen gelegene Cu-Vorkommen von Raipas wurde zwischen 1837 und 1870 abgebaut. Insgesamt wurden damals 12.500 t Erz mit 6,3 % (Fennoscandian Ore Deposit Database: 3 %) Cu gewonnen. Das Vorkommen besteht aus brekzierten Gängen, die senkrecht dolomitische Marmore und Mergelsteine durchschneiden. Die Erzminerale in abnehmender Bedeutung sind Chalkopyrit, Bornit, Tennantit, Siegenit, Digenit, Chalkosin, Idait, Pyrit und Covellin (BUGGE 1978).

In den Grünsteinen der möglicherweise sehr alten Karasjok-Gruppe in Finnmarksvidda, einer weitläufigen Hochebene an der Grenze zu Finnland, existieren zahlreiche disseminierte Cu-Fe-Sulfidvorkommen. Zusätzlich gibt es in diesem Gebiet BIF- und auch Mangan führende Eisenerzvorkommen (s. Eisen). Obwohl das Potenzial dieser Vorkommen teilweise beträchtlich ist, verhindern ihr geringer Gehalt und ihre Abgeschlossenheit meist jeden ernsthaften Abbauersuch (BUGGE 1978).

Das niedrig gradige Cu-Vorkommen von Karasjok, rund 100 km südlich des Porsangerfjords, wurde 1966 entdeckt. Es tritt in einer 10 – 50 m mächtigen

Abfolge von Quarziten, Glimmergneisen, Granatgneisen, Graphitschiefern und karbonatischen Gesteinen auf, die entlang ihrer Streichrichtung über mehr als 4 km verfolgt werden kann. Chalkopyrit und Pyrit sind die wichtigsten Erzminerale. Der durchschnittliche Cu-Gehalt ist gering und liegt bei < 0,4 %, aber da das Cu-Konzentrat einige ppm Au enthält, ist die weitere Exploration für einige Firmen dennoch interessant.

Das Südennde des großen Porsangerfjords ist seit Ende des 2. Weltkrieges zahlreiche Male intensiv exploriert worden. In diesem Raum treten in den Karasjok-Grünsteinen zwei Arten von Mineralisationen auf:

- a. Schichtgebundene sedimentäre Pyrit-Pyrrhotin-Vererzungen mit geringem Cu-Gehalt. Die größte, dennoch nicht wirtschaftlich abbaubare Vererzung dieser Art liegt bei Skoganvarre und lässt sich über 3,5 km Länge, 20 m Ausstrichbreite und 10 – 20 m Mächtigkeit nachweisen. Es handelt sich um gebänderte Sulfidhorizonte, die mit quarzitischen oder Schieferhorizonten wechsellagern. Die Erzminerale sind Pyrrhotin, Pyrit, Arsenopyrit sowie untergeordnet Chalkopyrit.
- b. Brekziengänge und fein verteilte Cu-Anreicherungen in gescherten und brekzierten Grünsteinen. Diese Vererzungen sind am besten im nördlichen Gebiet von Porsanger (u. a. Lakselvdalen, Karenhaugen, Porsvann) entwickelt, wo sie in ungleichmäßiger Ausbildung über viele Kilometer entlang ihrer Streichrichtung verfolgt werden können. Die Breite der Vererzungszonen variiert von wenigen Metern bis 100 m, mit Cu-Gehalten < 0,1 – 0,2 %. Nur in einigen dünnen Gängen erreicht der Cu-Gehalt mehrere Prozent. Die häufigsten Erzminerale sind Pyrit und Chalkopyrit mit Spuren von Molybdänit, Bornit, Digenit, Chromit, PGM und Chalkosin. Covellin, gediegen Kupfer, Cuprit und Malachit sind Verwitterungsminerale.

Im Gebiet um Kautokeino gibt es viele kleine Vorkommen von Cu- und Fe-Sulfiden, von denen aber die einzig wirtschaftlich abbaubaren auf die Umgebung von Bidjovagge beschränkt sind. Die

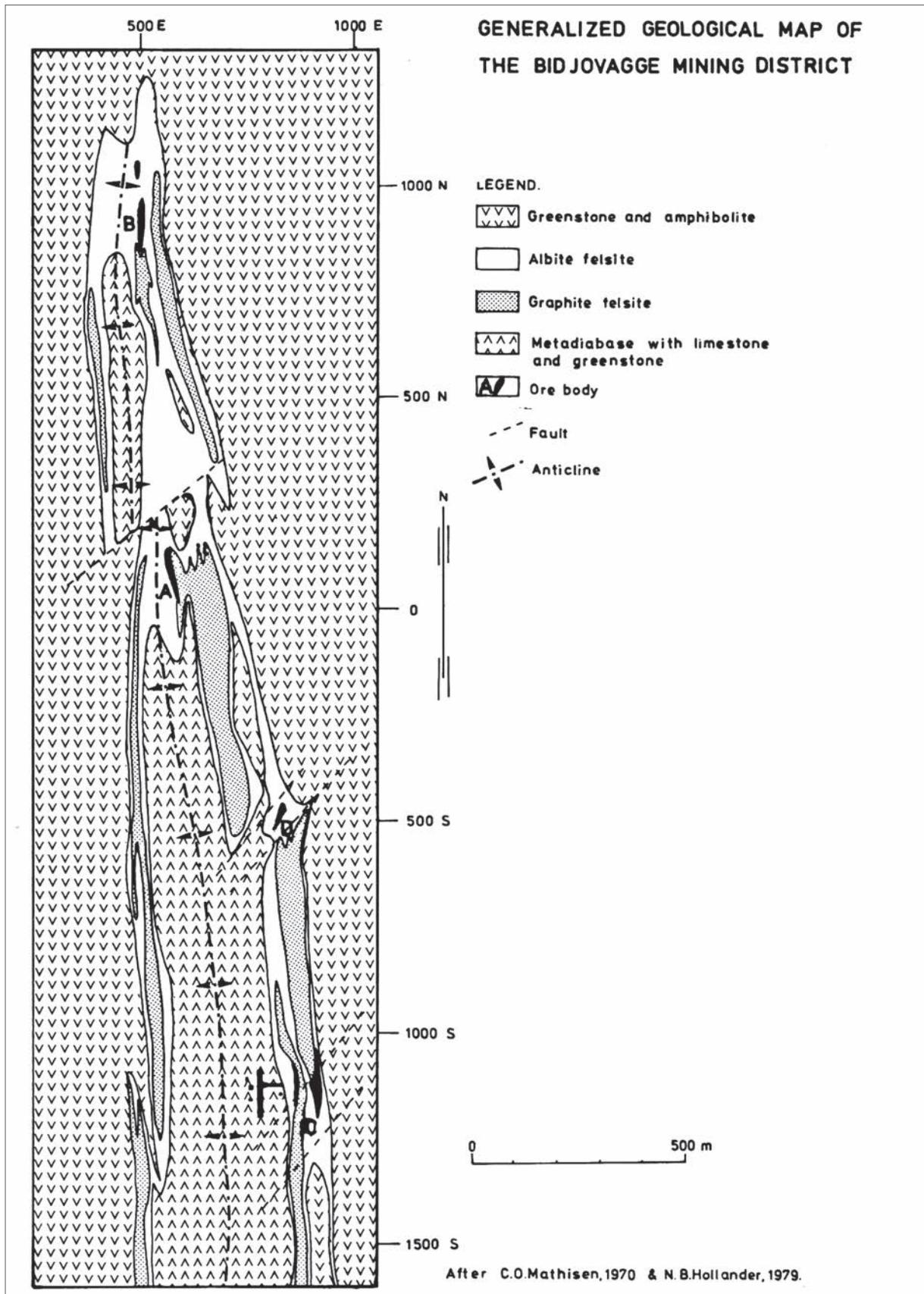


Abb. 5-21: Übersichtskarte des Bidjovagge-Kupferfeldes, aus HAGEN (1982).

dortigen Erzkörper sind als unregelmäßige diffuse Linsen von fein verteiltem und brekziierten Erz im svekokarelischen Kautokeino-Grünstein (Quarzkeratophyr) ausgebildet. Bei den Erzmineralen handelt es sich um Chalkopyrit und Pyrit in einer Matrix aus Calcit, Quarz und Feldspat. Die wirtschaftlich gewinnbare Cu-Mineralisation ist auf vier, 500 – 800 m voneinander entfernt liegende Erzkörper (A, B, C und D) von rund 2,5 km streichender Länge begrenzt (s. Abb. 5-21). Zwischen den Cu-Erzkörpern existiert nur eine fein verteilte Pyritmineralisation ohne Cu.

Nachdem 1956 umfangreiche Explorationsarbeiten begannen, die dann später in Aufschlussarbeiten übergingen, startete die eigentliche Gewinnung im Jahr 1968. Diese erbrachte bis 1975 388.000 t Erz, wurde zwischen 1976 und 1985 zur Optimierung der Aufbereitungsanlage unterbrochen und dann 1992 endgültig eingestellt. Bis dahin waren weitere 1,939 Mio. t Erz mit Gehalten von 1,2 % Cu und 3,6 ppm Au gefördert worden. Das Gold ist an den Chalkopyrit gebunden. Das produzierte Chalkopyritkonzentrat enthielt zwischen 10 – 20 (max. 55) ppm Au und erbrachte bis zur Schließung der Mine immerhin eine Gesamtmenge von 6,2 t Gold (BUGGE 1978, OFTEN 2008). Die in den zahlreichen Tage- und Untertagebauen sowie Halden verbliebenen, teils noch gewinnbaren Erzvorräte wurden auf 1,16 Mio. t mit Durchschnittsgehalten von 1,09 % Cu und 3,72 ppm Au berechnet (IGE Nordic AB).

In der Provinz Troms standen einst fünf VMS-Cu-Vorkommen in Abbau (ANONYM 1940, BUGGE 1978, Fennoscandian Ore Deposit Database):

1. Das Birtavarre-Vorkommen (mit den Erzkörpern Moskogaissa 115, Moskogaissa 117, Sabetjok, Monte Carlo, Ankerlien und Skaide sowie einige Kilometer weiter westlich von Skardal und Mandal) am Kåfjord wurde bereits 1690 entdeckt. In den beiden Abbauepochen 1826 bis 1878 (britische Eigentümer) und 1896 bis 1909 (schwedische Eigentümer) wurden v. a. aus dem Sabetjok-Tagebau 200.000 t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 4,3 % Cu und 0,02 % Co gewonnen, aus denen 13.000 t Cu-Metall ausgebracht
2. Bei Moskodäl wurde nach vorbereitenden Arbeiten ab 1907 im Jahr 1918 3.666 t Erz mit 3,6 % Cu gewonnen, aus denen in einer Schmelzhütte vor Ort 556 t Kupferstein mit einem Gehalt von 13,3 % Cu produziert wurden. Dieses wurde dann in Birtavarre weiter verhüttet.
3. Umfangreicher waren die Arbeiten am nördlich von Moskodäl gelegenen, weitaus größeren Vaddas-Vorkommen. Dieses wurde mit Unterbrechungen zwischen 1900 und 1912 untersucht und dann zwischen 1915 und 1920 in Betrieb genommen. Im Untertageabbau wurden insgesamt 700.000 t Erz mit Gehalten von 1,37 % Cu, 0,05 % Co und 0,01 % Zn gewonnen. Die verbliebenen Restvorräte von 715.000 t waren bis in die 1970er Jahre hinein Gegenstand von Explorationskampagnen.
4. Das Cu-Vorkommen bei Kvænangen besteht aus Gängen und metasomatischen Erzkörpern mit den Gangmineralen Calcit und Quarz. Dazu kommen Imprägnationen von Chalkopyrit und Pyrit. Das Erz, das bis zu 2 % Cu führt, wurde zwischen 1904 und

wurden. In den Erzkörpern am Kåfjord finden sich Chalkopyrit und Pyrit, aber auch Zinkblende, Bleiglanz, Markasit, Cubanit und Vallerit als Erzminerale in Quarz-Calcitgängen mit Chlorit, Ankerit und asbestiformen Aktinolith. Hämatit ist das vorherrschende Erzmineral in wenigen kleinen Gängen, während Magnetit nur in einem Gang bei Simanes (Erz mit 47 % Fe) vorkommt. In den gefalteten Metagabbros, Grünsteinen und Graphitschiefern svekokarelischen Alters am Kåfjord existieren zwar 15 – 20 mineralisierte Gänge, aber der Abbau beschränkte sich auf die sechs bis acht größten. Letztere besitzen eine streichende Länge bis 300 m und ließen sich bis in 60 bis 80 m Teufe entlang ihres Einfallens nachweisen. Hierbei streichen nicht alle an der Erdoberfläche aus. Die Gänge sind meistens 1 – 3 m, durchschnittlich 2 m mächtig, können aber auch 8 – 10 m Mächtigkeit erreichen.

- 1908 in geringen Tonnagen gewonnen und bei Kåfjord (s. o.) verschmolzen.
5. Das Middavarre Cu-Vorkommen am Burfjord ist dem von Kvænangen sehr ähnlich und lieferte zwischen 1904 und 1906 bzw. 1910 und 1920 sehr kleine Mengen hochgradigen Erzes mit 10 – 16 %

Cu. Ein von der ehemaligen Norddeutschen Affinerie 1940 abgesandter Geologe konnte jedoch nur noch geringe Restvorräte dieses Reicherzes feststellen.

Die Provinz Nordland kann historischen Kupferabbau bei Melkedalen, 33 km südwestlich Narvik,

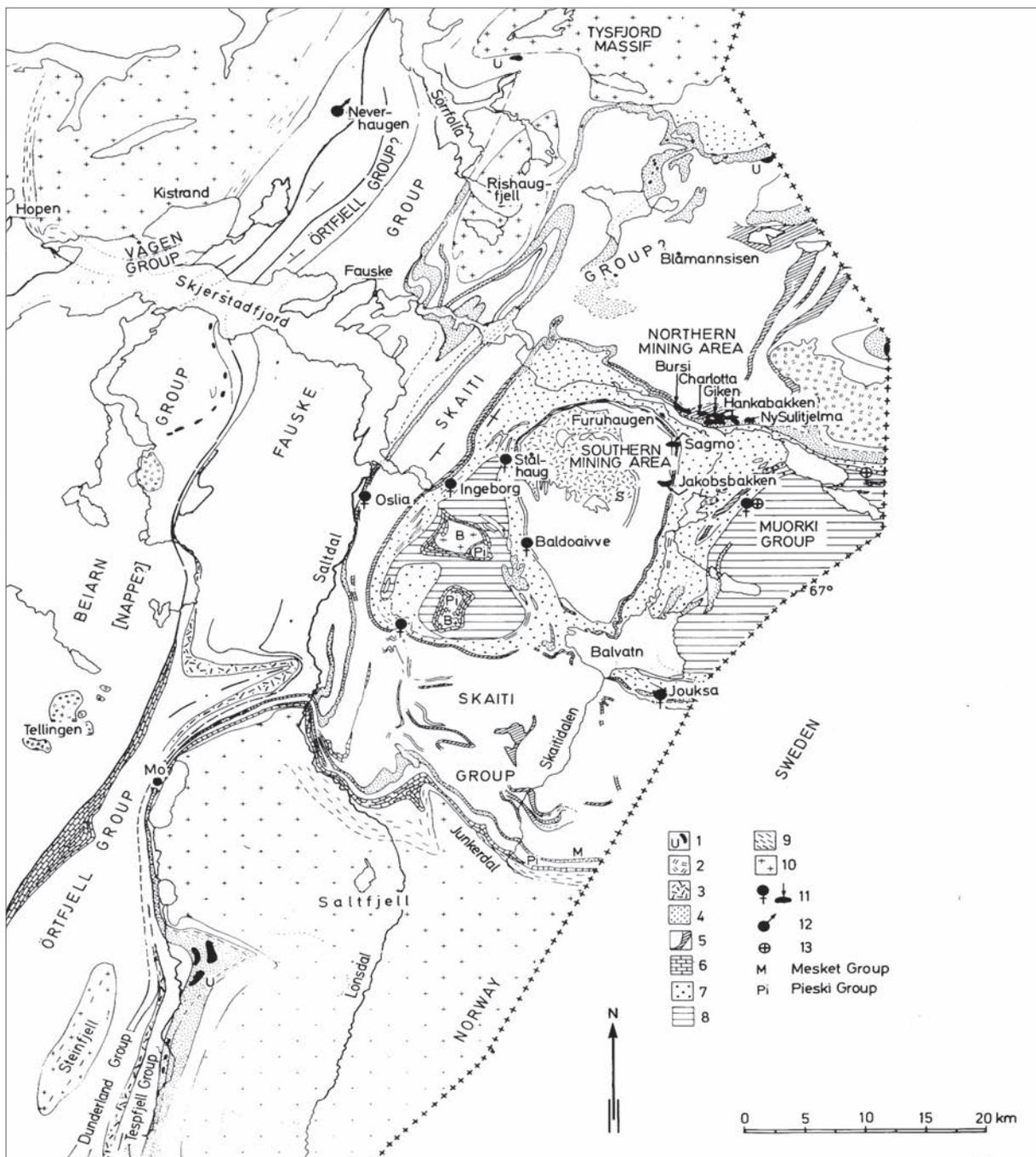


Abb. 5-22: Geologische Übersichtskarte der Region Sulitjelma: 1) Ultramafite 2) Gabbro 3) Granit 4) Sulitjelma-Amphibolit 5) felsische Metavulkanite (inkl. einiger Granite) 6) Kalkstein 7) Furuland-Schiefer 8) Muorki-Gruppe 9) Eokambrium 10) Präkambrisches Grundgebirge 11) Kupfervorkommen 12) Eisenerzvorkommen 13) Fossilfundpunkt, aus BUGGE (1978).

bieten. Hier sind entlang einer Störungszone dolomitische Marmore mit Pyrit, Pyrrhotin, Zinkblende, Chalkopyrit und Arsenopyrit vererzt. Zwischen 1899 und 1913, mit Höhepunkt 1907 bis 1911, wurden hier rund 15.000 t Erz mit Durchschnittsgehalten von 0,5 – 1 % Cu und 2,2 % Zn gewonnen. Das erzeugte Vorkonzentrat enthielt 1,67 % Cu und 40,8 % S (ANONYM 1940). Die Restvorräte werden auf 600.000 t Erz geschätzt.

Die kleine Cu-Lagerstätte Berg bei Borkenes stand zwischen 1916 und 1918 probeweise im Abbau. Sie lieferte rund 3.400 t Erz mit 1 % Cu, aus denen ein Kupferkonzentrat mit rund 5 % Cu erzeugt wurde (ANONYM 1940).

Bei Sulitjelma, 80 km östlich von Bodø in der norwegischen Provinz Nordland, standen zwischen 1886 und 1991 mehrere mit 20 bis 40 Grad einfallende Erzlinen in den drei Horizonten Bursi, Hankabakken und Giken im Untertageabbau. Die Mineralisation besteht aus Pyrit (65 %), Pyrrhotin (25 %), Chalkopyrit (8 %) und Zinkblende (2 %). Das Fördererz enthielt durchschnittlich 1,8 – 2,2 % Cu und 0,4 % Zn. Neben einem Kupferkonzentrat (25,3 % Cu, 35,8 % S, 2,01 % Zn) wurden ein Pyritkonzentrat (49,3 % S, 44,2 % Fe, 0,19 % Cu) und ein Zinkkonzentrat (44 % Zn, 36,1 % S, 1,6 % Cu) produziert. Das Kupferkonzentrat wurde direkt am Ort in einer kleinen Elektrohütte verarbeitet (GIERTH 1979) bzw. in Deutschland weiter veredelt (Ag, Au) (ZITZMANN 1976c).

Bei den vererzten Horizonten in den Bergbaugebieten handelt es sich um schichtgebundene, teils stratiforme, teils vielfach gefaltete Pyritlagerstätten mit Cu-Zn-(Pb)-Sulfiden. Die Erzlager erreichen 1 – 2 km Länge, 200 – 400 m Breite und 1,5 – 2 m, lokal auch 5 – 8 m Mächtigkeit. Drei verschiedene Erztypen werden unterschieden: massives Pyriterz, fein verteiltes Pyriterz und Chalkopyrit-Pyrrhotinerz. Die wichtigsten Erzminerale sind Chalkopyrit, Zinkblende, Pyrit und Pyrrhotin. Nebenerzminerale sind Bleiglanz, Cubanit, Mackinawit, Valleriit, Arsenopyrit, Magnetit und Ilmenit. Rutil und Molybdänit sind eher selten. Zu den Gangmineralen zählen Quarz, Karbonate, Amphibole, Biotit, Chlorit und Muskovit.

Die Vererzungen sind beschränkt auf die oberen Abschnitte der oberordovizischen Muorki-Gruppe (felsische bis intermediäre Effusiva mit Kalksteinlagen: Cu-Vorkommen Kong-Oscar-Grube und Jouksa) und der silurischen Furuland-Gruppe (Glimmerschiefer und Phyllite mit Cu-Vorkommen in den Giken- und Ingeborg-Staalhaugen-Baldoivi-Zonen) sowie auf den Kontaktbereich zum Sulitjelma-Amphibolit (Cu-Vorkommen in den Charlotta- und Jakobsbakken-Zonen) (vgl. Abb. 5-22) (BUGGE 1978).

Die sechs VMS-Lagerstätten, die im nördlichen Bergbaudistrikt von Sulitjelma in Abbau standen (s. Abb. 5-22), waren (Fennoscandian Ore Deposit Database):

- Mons Petter, abgebaut 1887 – 1986: 2,5 Mio. t Erz mit durchschnittlich 1,75 % Cu und 0,48 % Zn,
- Charlotta, abgebaut 1894 – 1991: 3 Mio. t Erz mit durchschnittlich 2 % Cu, 0,58 % Zn, 0,02 % Co und 0,24 ppm Au,
- Giken, abgebaut 1892 – 1991: 5,8 Mio. t Erz von ursprünglichen 10,5 Mio. t Erz mit durchschnittlich 2,25 % Cu und 0,7 % Zn,
- Hanabakken, abgebaut 1901 – 1987: 1,99 Mio. t Erz von ursprünglich 2,49 Mio. t Erz mit durchschnittlich 1,4 % Cu und 0,4 % Zn,
- Sagmo, abgebaut 1906 – 1986: 1,9 Mio. t Erz mit durchschnittlich 1,6 % Cu, 0,23 % Zn, 0,045 % Co und 0,07 ppm Au,
- Ny-Sulitjelma, abgebaut 1893 – 1965: 2,59 Mio. t Erz mit durchschnittlich 1,99 % Cu, 0,55 % Zn, 0,013 % Co und 0,3 ppm Au.

Auch direkt auf dem Stadtgebiet von Bodø, im ehemaligen Ortsteil Bodin (Hopen), wurde in den Jahren zwischen der Jahrhundertwende und dem Ende des 1. Weltkriegs (vor 1904, 1908, 1911 und 1916) zeitweilig Kupfererz gewonnen. Es handelt sich um kleine Vererzungen von Chalkopyrit, Zinkblende und untergeordnet Pyrrhotin in kaledonischen Schiefen. In den Gruben, die bis 100 m Teufe erreichten, wurde ausschließlich per Hand abgebaut. Die Cu-Gehalte im Erz waren extrem schwankend zwischen 2,2 und 19,4 %. Das exportierte Kupfererz enthielt 12 % Cu (ANONYM 1940).

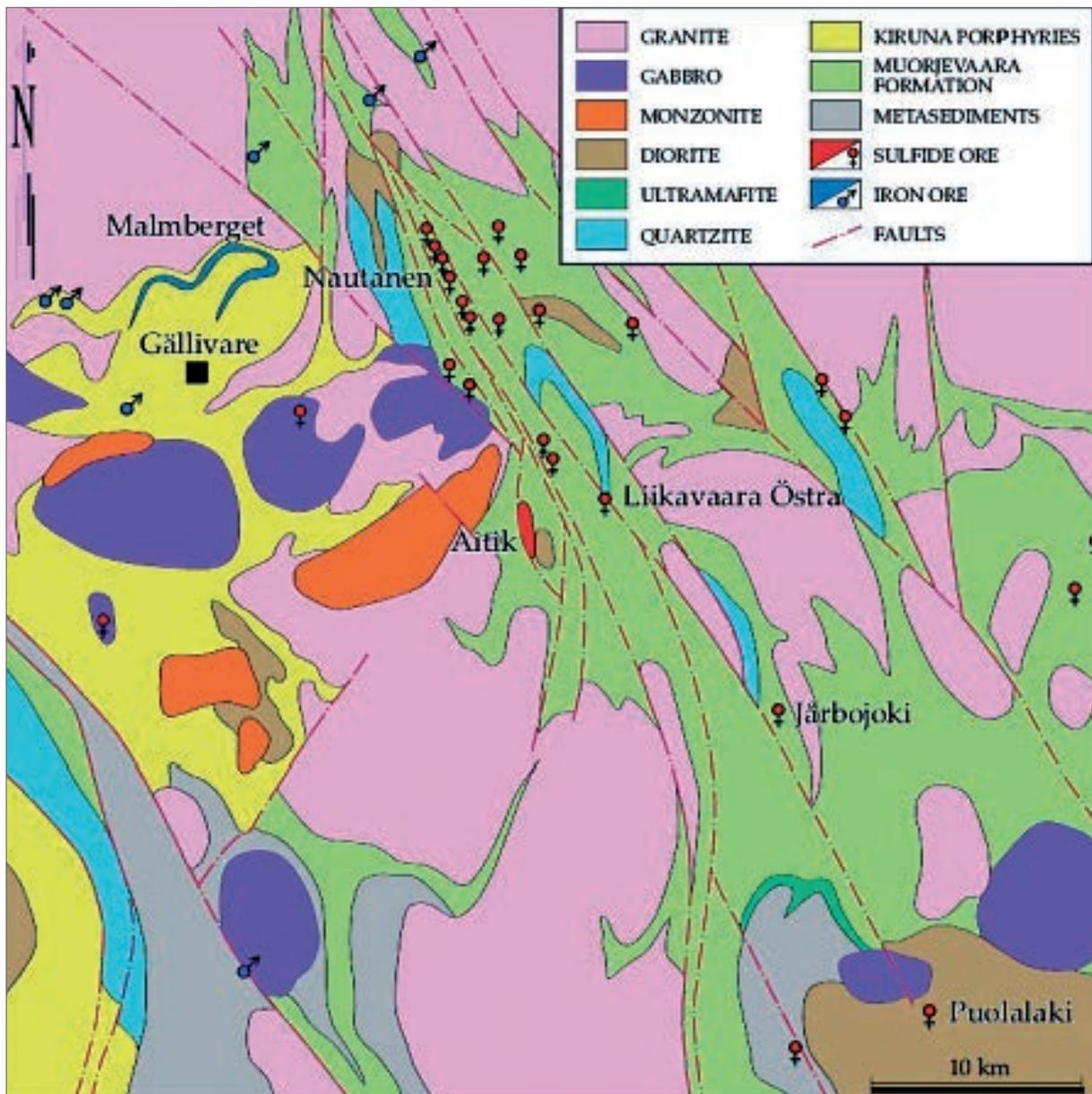


Abb. 5-23: Geologische Übersichtskarte des Gällivare-Aitik-Distrikts, aus NORDIN ET AL. (2007).

Ein möglicherweise großes Cu-Vorkommen wurde 1967 vom Norwegischen Geologischen Dienst bei Rai'tevarri im Rai'tevarri-Storfossen Gebiet entdeckt. Hier stehen auf ca. 20 km² Fläche Hornblendegneise an, die fein verteilt sulfidische Erzminerale führen. Bisher wurden Pyrit, Chalkopyrit, Pyrrhotin, Mackinawit, Molybdänit, Magnetit, Altit, Bismutin, Hessit, Bleiglanz, Chalkosin, Gold und Zinkblende nachgewiesen. Detaillierte Erkundungsarbeiten stehen noch aus (Fennoscandian Ore Deposit Database).

NORDSCHWEDEN

In Nordschweden finden sich fast alle Cu- und Cu-Au-Sulfiderze (z. B. Viscaria oder Pahtohavare) in der gleichen stratigrafischen Position wie die Skarn-eisenerze und die BIF-Erze (s. Eisen) und zwar im Übergang zwischen Sedimentiten und Metavulkaniten. Hierbei können verschiedene Arten von Mineralisationen gemeinsam auftreten. Zum einen handelt es sich um fein verteilte Sulfide, zum anderen um reiche Quarzgänge, gelegentlich mit Calcit und Baryt. Die in ihnen auftretenden Erzminerale sind Chalkopyrit, Bornit, Chalkosin und Scheelit.

10 km östlich von Gällivare, in der Umgebung von Nautanen, existieren mehrere Einzellagerstätten (vgl. Abb. 5-23), von denen die meisten bereits Ende der 1890er Jahre entdeckt und zwischenzeitlich auch abgebaut wurden (GRIP 1978).

Die weitaus bedeutendste, wenn auch niedrig gradige disseminierte Einzellagerstätte ist Aitik mit ihrem 4 km östlich gelegenen Satellitenerzkörper Liikavaare Östra. Ein erster Ausbiss bei Aitik wurde in den 1930er Jahren entdeckt und Erzgeschiebe in Moränen zeigten, dass das Vorkommen größer sein musste. Bald danach wurde es durch Bohrungen und mittels Geophysik näher erkundet, bis Jahrzehnte später endlich feststand, dass ein wirtschaftlicher Abbau möglich sein sollte.

Der Kupfertagebau von Aitik wurde dann 1968 mit einer Jahreskapazität von 2 Mio. t Erz eröffnet. Die nächste Erweiterung nach 5 Mio. t (1970 – 72), 11 Mio. t (1979 – 81), 16 Mio. t (1989 – 91), 33 Mio. t (2006 – 2009) und soll auf 36 Mio. t bis 2014 erfolgen. Vor Ort wird ein Kupferkonzentrat mit 27,2 % Cu, 8 ppm Au und 250 ppm Ag produziert, das in der Rönnskär-Schmelze nahe Skellefteå aufbereitet wird (NORDIN et al. 2007). Im Jahr 2010 wurden 27.596.000 t Erz mit Durchschnittsgehalten von 0,27 % Cu, 0,16 ppm Au und 2,07 ppm Ag bzw. Metallinhalten von 67.168 t Cu, 1.218 kg Au und 32.087 kg Ag gewonnen. Seit Eröffnung des Tagebaus vor 40 Jahren wurden insgesamt rund 512 Mio. t Erz abgebaut, aus denen 1,7 Mio. t Cu, 51,8 t Au und 1.280 t Ag separiert wurden. Die Abtrennung von Mo aus dem Cu-Konzentrat ist geplant. Auch soll der jährlich in großen Mengen anfallende Abraum mittelfristig zu gebrochenen Gesteinskörnungen für die Bauindustrie aufbereitet werden.

Die mineralisierte Zone bei Aitik besteht aus Metamorphiten, inkl. Serizitschiefern, Quarziten, Biotit-Amphibolitgneisen und Gneisen mit Skarnschlieren in svekofennidischen Vulkanoklastiten. Das einzige Wertmineral von Bedeutung ist Chalkopyrit, während Pyrit, Magnetit und Pyrrhotin nur in geringen Anteilen vertreten sind. Malachit ist auf Verwitterungszonen, Chalkosin und Bornit auf Quarzgänge beschränkt (Abb. 5-24). Zinkblende, Bleiglanz und Arsenopyrit treten nur lokal auf. Silber findet sich in kleinen Einschlüssen von Fahlerz im Chalkopy-



Abb. 5-24: Sekundäre Kupfermineralisation in Aitik, FOTO: BOLIDEN AB.

rit. Uraninit, Scheelit und Molybdänit kommen als Einzelkörner in Pegmatiten vor. Quarz und Baryt sind die häufigsten Gangminerale. Fluorit und Calcit treten gelegentlich in dünnen Adern auf. Weitere beobachtete Minerale sind Ilmenit, Magnetit, Hausmannit, Schörl, Skapolith, Apatit, Hornblende, Biotit, Epidot und Serizit. In Aitik treten verschiedene Arten von Mineralisationen auf:

- Am häufigsten fein verteilter und in Adern in feinkörnigen, Biotit führenden Gneisen, Schiefen und Quarziten angereicherter Chalkopyrit sowie untergeordnet Pyrit.
- Fein verteilter Pyrit und Chalkopyrit in Serizitschiefern und Quarziten oder teilserezitisierten Biotitgneisen.
- In Skarnschlieren und Äderchen angereicherter Chalkopyrit und Pyrit mit Adern aus Magnetit und Baryt.
- In sehr unregelmäßig im Erzkörper verteilten, unterschiedlich mächtigen Quarzgängen, teils mit Bornit und Chalkosin, auftretender Chalkopyrit und Pyrit.
- Chalkopyrit in roten, Aplit ähnlichen Mikroklingneisen.

Die mineralisierte Zone bei Aitik ist fast 3 km lang und 400 m breit, wobei der eigentliche Erzkörper 2 km lang und 50 – 200 m mächtig ist. Das Erz streicht bei einem cut-off von 0,32 % Cu und einem mittleren Gehalt von 0,5 % Cu auf 220.000 m² Fläche aus. Innerhalb des Erzkörpers zeigt die Kupferkonzentration zudem mehrere Zentren mit Gehalten > 1 %. Der Tagebau von Aitik ist derzeit rund 3 km lang, 1,1 km breit und 405 m tief. Bis zum derzeit



Abb. 5-25: Blick in den Kupfertagebau von Aitik, Foto: BOLIDEN AB.

absehbaren Ende des Abbaus im Jahr 2026 wird er 5 km Länge, 1 km Breite und 600 m Tiefe erreichen (vgl. Abb. 5-25).

Am Ende des Jahres 2010 betrug nach Jahresbericht 2010 der BOLIDEN AB die

- sicheren Reserven 504 Mio. t Erz mit 0,5 % Cu, 0,15 ppm Au, 1,6 ppm Ag und 29 ppm Mo,
- wahrscheinlichen Reserven 229 Mio. t Erz mit 0,24 % Cu, 0,3 ppm Au, 1,7 ppm Ag und 32 ppm Mo,
- nachgewiesenen Ressourcen 639 Mio. t Erz mit 0,19 % Cu, 0,2 ppm Au, 1,0 ppm Ag und 24 ppm Mo,
- angezeigten Ressourcen 845 Mio. t Erz mit 0,19 % Cu, 0,11 ppm Au, 1,1 ppm Ag und 25 ppm Mo sowie
- die vermuteten Ressourcen 164 Mio. t Erz mit 0,15 % Cu, 0,11 ppm Au, 0,6 ppm Ag und 20 ppm Mo.

Dies macht Aitik zur größten Cu-Lagerstätte Skandinaviens und zu einer der größten Au-haltigen Cu-Porphyr-Lagerstätten der Erde (NORDIN et al. 2007).

Der Satellitenerzkörper Liikavaara Östra ist Aitik sehr ähnlich mit einer Erzausstrichfläche von 14.000 m² und Erzvorräten von 42 Mio. t bis in 200 m Teufe. Das Erz enthält bei einem cut-off von 0,4 % Cu, 0,63 % Au, 0,1 ppm Au, 6 ppm Ag und 0,04 % WO₃.

Weiterhin wurden auch bei Salmijärvi, westlich von Aitik, Erzreserven von 40 Mio. t bis 120 m Teufe sowie bei Aitik Östra, im Nordosten des Tagebaus, Erzreserven von 10 Mio. t bis 200 m Teufe nachgewiesen. Die Exploration der zahlreichen anderen Cu-Au-Sulfidvererzungen in diesem Raum wird fortgesetzt. Dazu zählt auch das Ferrum Mo-Cu-Au-Vorkommen westlich von Gällivare, das zwischen 1905 und 1918 bereits im Abbau stand und damals 453 kg Erz lieferte.

Ein deutlich kleinerer Kupfererzdistrikt als Aitik liegt direkt bei Nautanen mit den Erzkörpern Liikavaara, Sorvainen, Nietsajoki, Fridhem, Snålkok, Juoikama und Sakakoski. Das Erz streicht dort auf insgesamt 1.300 m² Fläche aus und enthält meist > 1 % Cu. Die einzelnen Erzkörper sind 20 – 40 m lang und durchschnittlich 3 m mächtig. Die Mineralparagenese umfasst Magnetit, Bornit, Apatit, Chalkopyrit, Pyrit, Chalkosin und in Pegmatiten zudem Turmalin.

Aus dem Erzkörper Nautanen-Max östra wurden zwischen 1902 und 1918 bereits insgesamt 124.311 t Erz gewonnen und auf Cu und Au aufbereitet. Die Erzkörper Liikavare-8 und Liikavare-Nya Findet standen zwischen 1904 und 1907 auf Au, Cu und Ag (2.859 kg Erz) im Abbau. Im Osten des Gebietes wurde zudem im 17. und 18. Jh. Gold gewaschen.

Hervorzuheben ist im Nautanen-Distrikt der ebenfalls schon zu Beginn des 20. Jh. wegen seines Goldgehalts fast vollständig abgebaute Fridhem-Erzkörper. Er besteht aus mehreren parallelen, Gold führenden Quarzgängen in einem feinkörnigen, grau gebänderten Leptit. Die Gänge fallen steil, meist mehr oder weniger parallel zur Bänderung des Leptits ein. Neben Quarz ist Chalkosin sehr häufig, während Bornit und Chalkopyrit selten sind. Stets vergesellschaftet mit Chalkosin ist Stilbit und Chabazit. In den Quarz ärmeren Gängen tritt Gold in

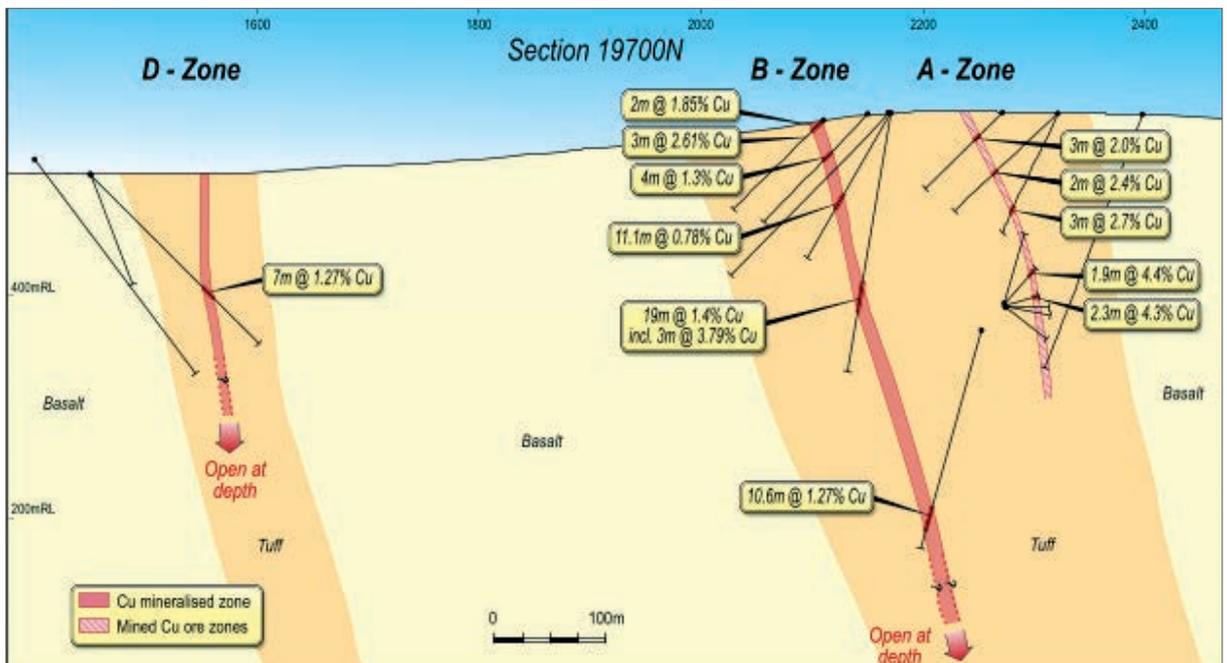


Abb. 5-26: Profilschnitt durch die Erzkörper A, B und D von Viscaria (AVALON MINERALS LTD.).

sichtbaren Flittern, aber sehr variablen Anteilen, zusammen mit Zeolithen, Calcit und Chalkosin auf.

Westlich des Luossajärvi Sees bei Kiruna befindet sich inmitten der mit Ausnahme von Pahtohavare (s. u.) ansonsten sehr kleinen Kupfervererzungen des Grünsteingürtels (s. u.) das Viscaria-Erzvorkommen (nach der dort überaus häufigen Kupferanzeiger-Blume *Viscaria alpina*). Dieses Vorkommen besteht aus vier (A-Süd, A-Nord, B und D), steil einfallenden Erzkörpern von 5 – 20 m Breite und bis 2,8 km Länge. Die durch Bohrungen bis 200 m Tiefe angezeigten Gesamtvorräte betragen ursprünglich ca. 30 Mio. t Erz mit 3 % Cu (s. Abb. 5-26).

Vor allem die A-Zone mit ursprünglichen Vorräten von 14,25 Mio. t Erz mit Gehalten von 3,54 % Cu, 0,70 % Zn und 0,30 ppm Au wurde zwischen den Jahren 1982 und 1997 abgebaut. Sie lieferte 12,54 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 2,29 % Cu. Zink und Gold wurden nicht ausgebracht. Die vermuteten Restvorräte für Gesamt-Viscaria werden auf 39,8 Mio. t Erz (0,8 – 2,7 % Cu) mit einem Metallinhalt von 514.000 t Cu geschätzt – die Wiederaufnahme der Produktion bei ausreichend hohen Rohstoffpreisen ist geplant.

Während Au fast vollkommen fehlt, ist der Zn-Gehalt im Viscaria-Vorkommen deutlich erhöht, dementsprechend enthielt das in den letzten Produktionsjahren erzeugte Cu-Konzentrat 25 % Cu, 2,3 % Zn, 0,1 % Pb und 60 ppm Ag aber nur 0,5 ppm Au (AVALON MINERALS LTD.).

Das epigenetische Cu-Au-Vorkommen Pahtohavare liegt im gleichen Grünsteingürtel wie Viscaria, rund 10 km weiter südlich. Die Mineralisation besteht hier aus Imprägnationen, epigenetischen Quarz reichen Brekzien und Kluffüllungen mit Pyrit, Chalkopyrit, Pyrrhotin und Gold in einer komplexen tektonischen Umgebung. Aus zwei Tage- und Tiefbauten wurden zwischen 1990 und 1997 insgesamt 1.720.300 t Erz (von ursprünglich geschätzten Vorräten von 2,6 Mio. t Erz) mit Durchschnittsgehalten von 1,89 % Cu und 0,88 ppm Au gewonnen.

Ebenfalls bei Kiruna liegen die relativ kleinen Kupfervorkommen (GRIP 1978):

- Laukujärvi, mit Chalkopyrit in einer Porphyrbrekzie bzw. in einem Porphyrkonglomerat,
- Lieteksavo, 1980 entdeckt, Ganglagerstätte mit 50.000 t Erz mit 6,8 % Cu, 46 ppm Ag und

- 1,3 ppm Au, Erzminerale: Chalkopyrit, Bornit, gediegen Gold und Scheelit,
- Tjärrojåkka, s. Eisen, mit einer Cu-Mineralisation über 680 m Länge bzw. auf 8.800 m² Fläche, Vorräte von 3,23 Mio. t Erz mit 0,87 % Cu bei einem cut-off von 0,5 % Cu,
 - Sierkavare, mit Erzvorräten von 5 Mio. t und einer Mineralisation von 0,61 % Cu über 1,5 km Länge in Magnetitgängen und Syeniten,
 - Äijäjärvö Östra, mit geringen Erzvorräten von 100.000 t und einem Durchschnittsgehalt von 1,16 % Cu,
 - Tervakoski, Cu führendes Skarneisenerz, das bis in „größere Tiefe“ nachgewiesen wurde. Als Erzminerale finden sich Magnetit sowie untergeordnet Pyrit, Chalkopyrit und Pyrrhotin. Die Cu reichen Partien sind auf tektonische Klufzonen im Nebengestein begrenzt. Die Vorräte betragen rund 30 Mio. t Erz mit 48 % Fe, 0,1 % Cu, 3 % S und 0,05 % P (FRIETSCH 1976),
 - Sautusvaara, bestehend aus einer 100 m langen und 1 m mächtigen Lage aus Nickel freiem Pyrrhotin und
 - Salmivaara, 52 km SE von Kiruna mit Chalkopyritvererzung in einem Skarneisenerzvorkommen. Während dort jedoch der Chalkopyrit- und damit auch der Cu-Gehalt vorwiegend sehr niedrig ist (0,1 %, lokal bis 1,8 %), steigt der S-Gehalt (1,5 – 4,5 %) lokal bis 20 % an.

Im Gebiet um die kleine Ortschaft Svappavaarva können zwei Arten sulfidischer Mineralisationen unterschieden werden. Der erste Typ steht in Verbindung mit Skapolith führenden Gesteinen, der zweite Typ findet sich in graphitischen Phylliten (GRIP 1978).

Das zum ersten Typ zählende Gruberget Kupfervorkommen steht in Zusammenhang mit dem gleichnamigen Apatit-Eisenerzvorkommen (s. o.) und liegt auf der Westseite der nördlichen und zentralen Eisenerzkörper. Es ist eine niedriggradige Lagerstätte mit einer Ausstrichfläche von nur 1.000 m². Im 17. und 18. Jh. stand das Vorkommen in mehreren Gruben im Abbau, von denen die

tiefste, Storgruvan, abgebaut 1655 – 1673, 91 m tief war (BERGMAN 2007). Insgesamt wurden 845 t Erz gewonnen, bevor im Jahr 1741 auch der letzte Abbau durch technische und wirtschaftliche Probleme zum Erliegen kam. Die Cu-Mineralisation ist an einen Skapolith führenden Leptit in einer steil nach N oder NE einfallenden Synklinale gebunden. Das Apatiteisenerz liegt im Zentrum dieser Falte. Die Cu-Erzkörper streichen N oder NNE und fallen steil nach Osten ein. Das Kupfererz tritt als sekundäre Schlieren oder Gangfüllungen auf. Es besteht zu gleichen Teilen aus Bornit und Chalkopyrit, das durch präglaziale Verwitterung in Teufen von < 80 m zu Chalkosin, Covellin, Malachit und Azurit umgewandelt wurde. Die Gangminerale in den Gängen und Schlieren bestehen aus Skapolith, Amphibolen, Zeolithen und zum Teil Calcit. Die Leptite selber führen Pyrit, Arsenopyrit, Erythrit, Molybdänit und gediegen Gold.

Zum zweiten Typ zählen die Erzlagerstätten von Kiilavaara, Isovainio und Puutjala, wobei die ersten beiden Pyrrhotin mit nur wenig Chalkopyrit in graphitischen Phylliten führen.

Nordnordöstlich von Svappavaara liegt das von 1972 bis 1980 vom Schwedischen Geologischen Dienst näher erkundete, hydrothermal entstandene Cu-Vorkommen Kiskamavaara. Es enthält Vorräte von 3,42 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,37 % Cu und 0,09 % Co. Die Mineralisation aus Chalkopyrit, Pyrit (mit 1 % Co), Hämatit, Magnetit, Bornit, Molybdänit und Martit tritt in einer langen und schmalen, stark brekzierten Zone inmitten intermediärer bis saurer Vulkanite auf. Diese Brekzienzone steht vermutlich in Beziehung zu einem System von Störungen, das in Nordnorwegen zur Ausbildung hydrothermalen Gänge führte, wo der Pyrit ebenfalls Co führt.

Auch zwischen Svappavaarva und Vittangi liegen mehrere Sulfidvorkommen mit Chalkopyrit, Pyrit und geringen Mengen anderer Erzminerale. Das größte Vorkommen heißt Östra Äijäjärvö und wurde in den 1960er Jahren entdeckt. Zwei mineralisierte Zonen in Quarzit werden hier von Granit und Migmatit umschlossen. Bis in eine Tiefe von 175 m betragen die Vorräte in der zentralen Zone 120.000 t Erz (cut-off 0,7 % Cu) mit 1,16 % Cu

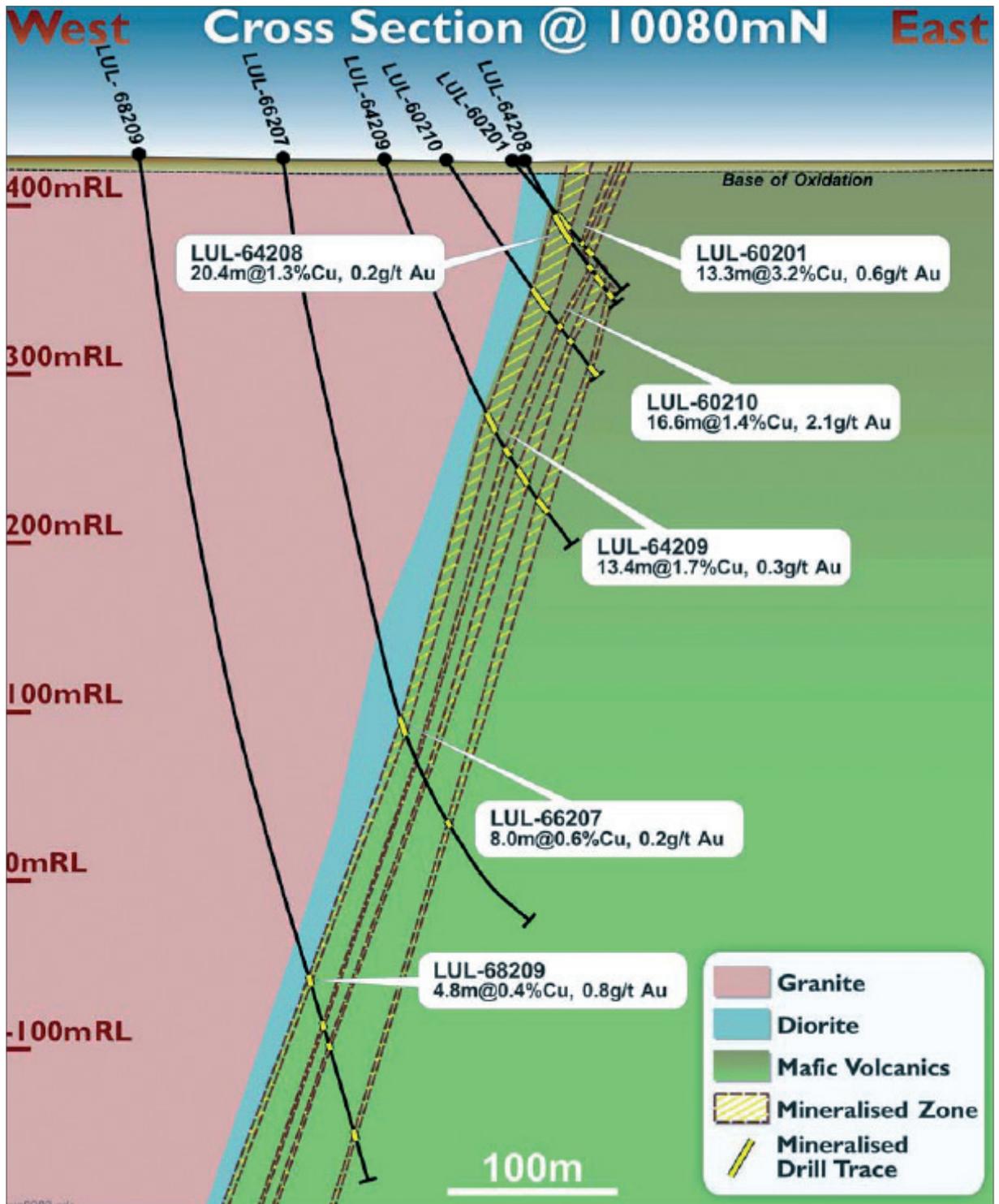


Abb. 5-27: Schematischer Profilschnitt durch das Lulepotten-Cu-Au-Vorkommen (ENERGY VENTURE LTD.)

bzw. 380.000 t Erz (cut-off 0,35 % Cu) mit 0,68 % Cu. Die Ostzone enthält nur 15.875 t Erz (cut-off 0,7 % Cu) mit 0,74 % Cu bzw. 70.000 t Erz (cut-off 0,35 % Cu) (GRIP 1978).

Die zwischen 1960 und 1978 vom Schwedischen Geologischen Dienst erkundete Lulepotten-Cu-Au-Mineralisation liegt im Kontaktbereich zwischen einem Granit und einer Abfolge von wechsellaagernden mafischen bis felsischen Vulkaniten und Sedimentgesteinen, die alle metamorph und stark tektonisch überprägt wurden. Die Vererzung ist dabei an eine Serie sub-paralleler Strukturen gebunden, die dem lokalen, SW-NE streichenden und steil nach NW einfallenden Gefüge folgen. Die Sulfidmineralisation umfasst unregelmäßige dünne Gänge und fein verteilte Anreicherungen von Chalkopyrit und Bornit sowie untergeordnet Pyrit. Sie ist v. a. in der metavulkanischen und metasedimentären Abfolge, aber auch im Granit ausgebildet und wurde bis 300 m unter Gelände sowie über eine streichende Länge von ca. 1.500 m nachgewiesen (vgl. Abb. 5-27). Eine Bohrung traf den mineralisierten Horizont sogar in 600 m Teufe an. Die vermuteten Ressourcen liegen bei 5,4 Mio. t Erz mit 0,8 % Cu (0,3 % cut-off) und 0,3 ppm Au, entsprechend einem

Metallinhalt von 43.000 t Cu und 52.000 Unzen Au (AGRICOLA RESOURCES PLC.)

Der Sjangeli-Kupfererzdistrikt, ganz im Nordwesten der Provinz Norrbotten an der Grenze zur nordnorwegischen Provinz Nordland, wurde bereits 1696 entdeckt und umfasst nur wenige Hundert Quadratmeter Fläche (Abb. 5-28). Hier finden sich in den aufgeschlossenen Sedimentgesteinen und Amphiboliten zahlreiche Gänge mit Bornit, Chalkosin und Magnetit sowie untergeordnet Chalkopyrit, Pyrit und Hämatit. In den über 300 Prospektionsgruben und -gräben tritt zudem sekundärer Azurit und Malachit auf. Der Gehalt in den Erzen liegt bei maximal 15 % Cu, durchschnittlich 3 % Cu, 0,15 % Co und bis zu 3 ppm Ag (GRIP 1978).

Ebenfalls bereits in den Kaledoniden liegt das Rätjaure-Vorkommen mit weitflächiger, aber ansonsten niedriggradiger Chalkopyritvererzung. Ähnlich sind die kleinen Cu-Vorkommen südlich und südwestlich des Virihaure Sees, Allak, westlich des Akkajaure Sees, sowie Jervas, südwestlich des Ikisjaure Sees einzustufen. Letzteres besteht aus einer über 20 km Länge verfolgbaren Mineralisation in Form von Imprägnationen und Schlieren aus Pyrit und Chalkopyrit, gelegentlich auch Zinkblende, in ordo-



Abb. 5-28: Blick auf das Bergbaudörfchen Unna im Sjangeli-Kupfererzdistrikt, Foto: SVENKSA TURISTFÖRENINGEN.

vizischen Serizitschiefern. Die Erzvorräte betragen rund 10 Mio. t mit Durchschnittsgehalten von 4,1 % Cu, 0,07 % Zn und 0,04 % Pb (GRIP 1978).

Auch die intermediären bis sauren Vulkanite im nördlichen Teil der Provinz Norrbotten führen etwas Cu. So sind bei Tjarrojokka, WSW von Kiruna, Tuffe, die mit den dortigen Vulkaniten wechsellagern, mit Chalkopyrit, Bornit und Magnetit mineralisiert. Die Vorräte betragen ca. 9,5 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 0,5 % Cu (FRIETSCH 1980).

NORDFINNLAND

Der Kittilä-Erzdistrikt enthält nicht nur bedeutende Eisenerzanreicherungen (s. Eisen), sondern auch Ni-führende Ophiolithe, im Westen Buntmetallanreicherungen und im Osten zahlreiche Vorkommen von Au (s. Gold), Cu und Buntmetallen. Als typische Sulfide finden sich Pyrrhotin/Pyrit, Chalkopyrit und Zinkblende.

Die Pahtavuoma Cu-Zn Lagerstätte liegt im Westen des Distrikts in einer E-W-streichenden vulkanisch-sedimentären Abfolge. Die Lagerstätte umfasst vier schichtgebundene Cu-Erzkörper (West, Zentral, A

und Ulla), sechs Zn-Mineralisationen und drei gangförmige U-Vorkommen (vgl. auch Zink bzw. Uran). Die Cu-Mineralisationen treten am Kontakt zwischen Schiefern und Grünsteinen vornehmlich in Graphit führenden Phylliten und Glimmerschiefern auf (s. Abb. 5-30). Das Vorkommen wurde 1970 entdeckt, in den folgenden Jahren abgebohrt und zwischen 1974 und 1976 sowie 1989 bis 1993 auch 295.000 t Erz mit 1,07 % Cu und 26 ppm Ag probeweise gewonnen. Hieraus wurden 3.157 t Cu und 5.310 kg Ag abgetrennt. Die Gesamtvorräte (abzgl. der bereits abgebauten 295.000 t Erz) von Pahtavuoma belaufen sich auf 17 Mio. t Erz mit 0,81 % Zn, 0,11 % Cu, 0,09 % Pb, 0,02 % Ni, 0,01 % Co und 7 ppm Ag entsprechend einem Metallinhalt von 143.100 t Zn, 64.800 t Cu, 16.300 t Pb, 4.750 t Ni, 2.600 t Co und 224 t Ag. Die vier Cu-reichen Erzkörper (cut-off grade 0,3 % Cu) enthalten zusammen 6,53 Mio. t Erz mit 0,84 % Cu und 21 ppm Ag bzw. bei Annahme eines cut-off grades von 0,6 % Cu 4,4 Mio. t Erz mit 1,04 % Cu, 0,12 % Zn, 0,02 % Pb, 0,03 % Ni, 0,02 % Co und 23 ppm Ag (KORKALO 2006, MARTINSSON et al. 2007).



Abb. 5-29: Brekziöses Erz von Pahtavuoma, Durchmesser der Münze 20 mm, Foto: PEKKA NURMI/GEOLOGISCHER DIENST VON FINNLAND.

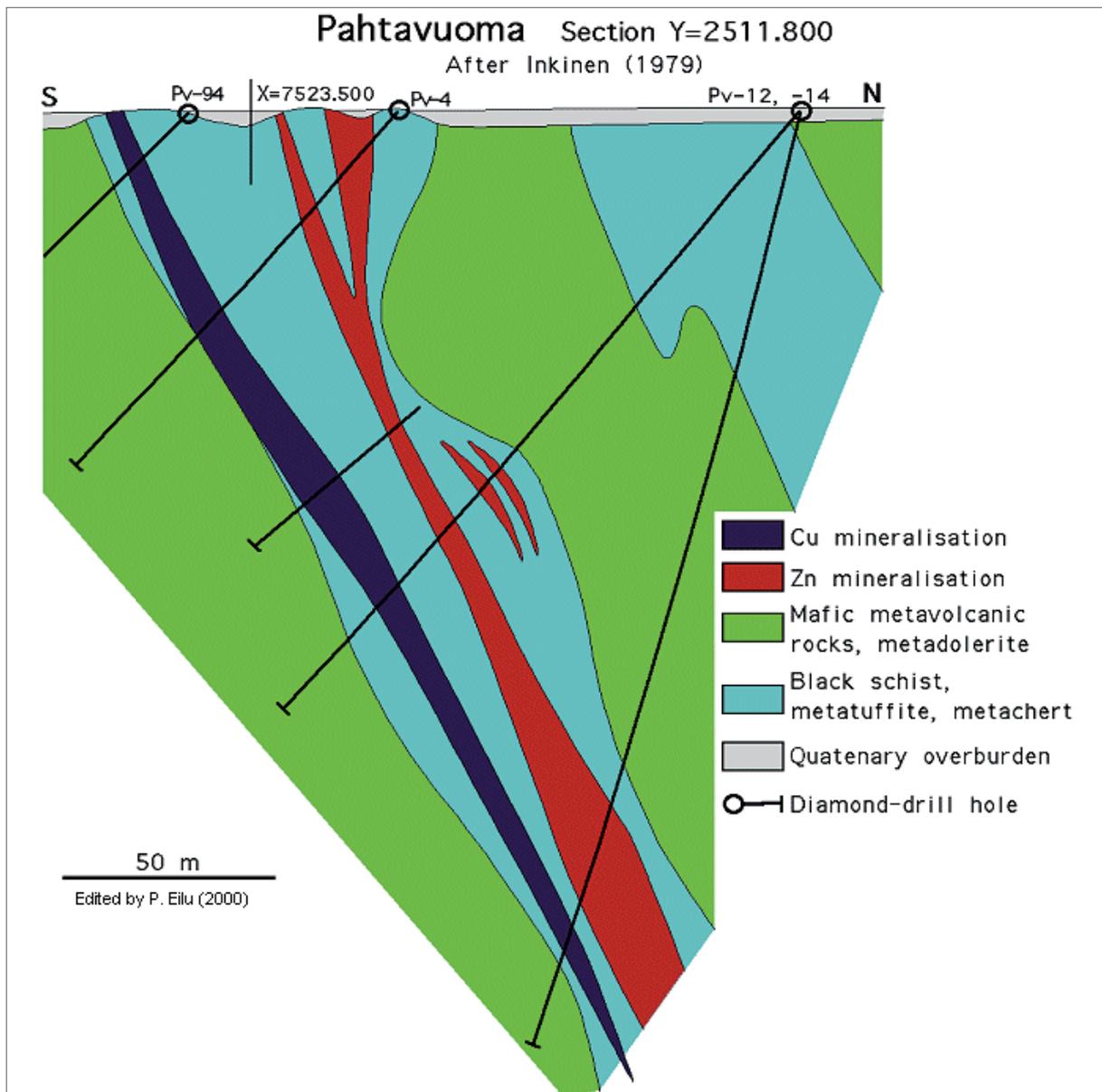


Abb. 5-30: Schnitt durch die Erzkörper mit Cu- und Zn-Mineralisationen von Pahtavuoma, Quelle: GEOLOGISCHER DIENST VON FINNLAND.

Auch das polymetallische Sirkka Ni-Cu-Co-Au-Vorkommen liegt im Kittilä-Distrikt. Es ist vergesellschaftet mit typischen Graphit-Albit-Biotitgesteinen mit Gehalten von 0,32 % Ni und 0,38 % Cu. Das Vorkommen, nach dem die Sirkka-Scherzone einst benannt wurde, stand versuchsweise zwischen 1953 und 1956 im Abbau und lieferte damals rund 9.500 t Erz mit ca. 0,34 % Cu, 0,52 % Ni und 0,11 % Co (KORKALO 2006).

Das 1969 entdeckte Riikonkoski-Cu-Vorkommen liegt ebenfalls im Kittilä-Distrikt, ca. 10 km südlich

der Sirkka-Scherzone. Hier bilden Graphit reiche Schwarzschiefer, Serizitschiefer und Albitite die Muttergesteine der zumeist brekziierten Mineralisation. Als Erzminerale treten Pyrit, Pyrrhotin und Chalkopyrit in stark unterschiedlichen Anteilen sowie untergeordnet Magnetit, Arsenopyrit, Pentlandit, Cobaltit und gediegen Gold, letzteres zusammen mit Arsenopyrit, auf. Die geschätzten Vorräte betragen 9,2 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,48 % Cu, verteilt auf ein östliches Vorkommen von 2,5 Mio. t Erz mit 0,68 % Cu und ein westliches Vorkommen von 6,7 Mio. t Erz mit 0,41 % Cu (KORKALO 2006).

Das Kelujoki-Magnetitvorkommen befindet sich rund 5 km NNE von Sodankylä und ist seit den 1930er Jahren bekannt. Die Mineralisation tritt im Kontaktbereich zwischen einem Serizitquarzit und einem Amphibolit auf und besteht mineralogisch aus Magnetit, Pyrit und Chalkopyrit. In einer Bohrung wurden Gehalte von 0,14 % Cu, 0,05 % Co (Pyrit mit 1 % Co) und 0,97 % S ermittelt. In Handstücken wurden jedoch deutlich höhere Werte und zudem 1 – 2 ppm Au analysiert (KORKALO 2006). Die Vorräte werden auf 1,5 Mio. t Erz geschätzt.

Benachbart liegen die ebenfalls nicht bauwürdigen Cu-Vorkommen von Sodankylä und Outolampi (KORKALO 2006). Das Vesilaskunjänkkä-Chalkopyritvorkommen wurde 1981 entdeckt und liegt nahe des Jauratsi-Magnetitvorkommens. Die Mineralisation steht in Zusammenhang mit albitisierten Tuffiten und Schwarzschiefern und besteht aus drei Varietäten: massivem Pyrrhotin, einem Netzwerk von sulfidischen Gängen und einer fein verteilten Fe-Sulfidvererzung. Alle drei Varietäten führen geringe Anteile an Chalkopyrit. Die Vorräte werden auf 1,8 Mio. t Erz mit 0,23 % Cu, 0,02 % Ni, < 0,01 % Zn und < 0,01 % Co geschätzt (KORKALO 2006).

Lauttaselkä, auch genannt Ylläs, liegt im zentral-lappländischen Grünsteingürtel ca. 15 km NE der Rautuvaara-Eisenerzlagerstätte. Es ist eine kleine Lagerstätte mit Vorräten bis in 50 m Teufe von 600.000 t Erz mit 0,23 % Cu und 0,48 ppm Au bzw. Metallinhalten von 300 kg Au und 1.400 t Cu. Auch finden sich Anreicherungen von Fe, Co, Ni und U. Die Lagerstätte umfasst drei einzelne Erzkörper und eine separate Chalkopyritvererzung an einer größeren Störungszone. Weiteres hohes Cu-Potenzial wird dem Tal des Flusses Jeesiöjoki zwischen Kittilä und Sodankylä zugerechnet. Die zahlreichen Einzelfunde, die bisher trotz intensiver Prospektion und Exploration jedoch nicht zum Fund einer abbauwürdigen Lagerstätte führten, werden von KORKALO (2006: 91 – 92) ausführlich beschrieben.

5.1.1.4 Gold und Silber

NORDNORWEGEN

In der Provinz Nordland finden sich zahlreiche feine Fiedergänge und Verdrängungslagerstätten, die mit

dem Aufdringen des Svenningdal-Granits südlich von Rana in Verbindung stehen. Die meisten von ihnen, z. B. Eiteråkroken, Kförisfjeld und Hjortskarvo, sind reich an Gold, aber klein und unregelmäßig und lassen sich nicht wirtschaftlich abbauen.

Nur bei Svenningdalen, knapp südlich des Polarkreises, hat sich bisher die Gewinnung rentiert. Diese war aber hauptsächlich auf Silber ausgerichtet, und zwar von 1879 bis 1889. Das dort geförderte Erz enthielt 7 – 15 % Pb, 10 – 15 % Cu, 0,5 % Ag und 10 – 15 ppm Au. Die Gesamtproduktion betrug 16.500 kg Silber. Bei Svenningdalen gibt es 15 – 20 einzelne Gänge mit einer Breite von durchschnittlich jeweils 10 – 25 cm. Die Gänge kommen in einer metasedimentären Abfolge von Glimmerschiefern und Karbonatgesteinen vor und führen als Erzminerale Bleiglanz, Tetraedrit, Proustit, Arsenopyrit, Chalkopyrit, Pyrrhotin sowie etwas Zinkblende und Stibnit. Der Goldgehalt ist für diese Art von Lagerstätte ungewöhnlich hoch und das Goldausbringen soll wesentlich die Produktionskosten getragen haben.

Auch bei Bindalen, 40 km südwestlich, sind Quarzgänge mit Freigold untersucht worden. Sie verteilen sich auf fünf Lokalisationen über 50 km² Fläche und sind zu klein und arm, um wirtschaftlich abgebaut werden zu können (BUGGE 1978).

Das Gautelis Au-Vorkommen liegt im Bereich des Rombak Grundgebirgsfensters nahe der schwedischen Grenze SSE von Narvik. In diesem Gebiet



Abb. 5-31: Goldexploration in der Finnmark im Jahr 1990, aus OFTEN (2008).

sind Goldanomalien in Sedimentproben nicht selten, doch die einzige bedeutendere Goldmineralisation wurde bisher bei Gautelisfjell im Süden entdeckt, wo eine kleine halbmassive Linse aus Arsenopyrit (2,5 x 80 m) zwischen 1916 und 1920 abgebaut wurde. Zwischen 1983 und 1986 wurde dann nicht nur diese Vererzung, sondern auch die nähere Umgebung eingehender exploriert. Danach ist die Goldmineralisation bei Gautelis an Scherzonen in den dortigen suprakrustalen Gesteinen und umgebenden 1,77 Ga alten Graniten gebunden. Diese Scherzonen weisen verschiedene Streichrichtungen auf und fallen meist steil ein. Entlang dieser Strukturen können drei Haupttypen von Goldmineralisationen unterschieden werden:

- a. Schichtgebundener, massiver bis fein verteilter Arsenopyrit mit gediegen Gold in einer Matrix aus Quarz entlang der Kontaktflächen von Calcitmarmor zu Grauwacke,
- b. Mineralisation von Chalkopyrit und Gold sowie untergeordnet Pyrrhotin und Pyrit entlang von Kalksilikatzonen in den Marmoren und entlang von Quarzgängen in den Grauwacken und
- c. niedriggradig sulfidische Erze mit feinkörnigem Gold (0,002 – 0,04 mm) sowie Magnetit und Chlorit, untergeordnet auch Chalkopyrit und Pyrit in unreinem dolomitischen Marmor.

Analysen der Goldmineralisation bei Gautelisfjell reichen von 0,5 – 45 ppm Au (max. 300 ppm) bei einem Durchschnitt von ca. 4 ppm. In 3 m langen Kernabschnitten von Bohrungen wurden Goldgehalte von 6 – 7 ppm ermittelt (NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE MALMDATABASEN).

Das Goldvorkommen von Gjeddevann liegt am Støvlevann See im schlecht erschlossenen Pasviktal im äußersten Nordosten Norwegens. Es wurde während einer Geländekampagne im Sommer 1993 entdeckt und in den folgenden Jahren vom Norwegischen Geologischen Dienst eingehend mittels Geophysik und Bohrungen untersucht. Das Gold liegt danach gediegen in unterschiedlich großen Körnern als Einschlüsse oder Mikrogänge in kataklastischem Arsenopyrit und seltener als Körner in Zwischenräumen zwischen Arsenopyrit, Pyrrhotin

und/oder Gangmineralen vor. Die höchsten Goldgehalte sind dabei stets an makroskopisch sichtbaren Arsenopyrit gebunden und erreichen 1,3 – 6,3, maximal 14,7 ppm. Da diese hohen Goldgehalte jedoch nur in kurzen Kernstreckenintervallen vorkommen, wird das Gjeddevann-Vorkommen für nicht abbauwürdig gehalten. Es setzt sich vermutlich in Form hydrothormaler Gänge nach Westen fort, ist dort jedoch unter mächtiger blockiger Grundmoräne verborgen (NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE MALMDATABASEN).

Gediegen Gold kommt auch im Sjørdalshøgda-Vorkommen in Grünsteinen auf der Insel Ringvassøya vor. Dieses ist jedoch wirtschaftlich nicht gewinnbar (RAMBERG et al. 2008; ANONYM 1940). Es wird berichtet von Gehalten zwischen 1 und 9 ppm Au in den Vorkommen um den dortigen Skogsjord See. Die Erzparagenese umfasst weiterhin Pyrit, Chalkopyrit, Pyrrhotin und Malachit, die zwischen 1905 und 1910 geschürft wurden.

Im Jahr 1866 wurde am Niitusjohka, einem kleinen Nebenbach des Karasjohka, unweit von Karasjok in der Finnmark, Seifengold entdeckt. Während der folgenden Sommermonate konnten immer weitere Seifengoldfunde gemacht werden, die aber im Wesentlichen in Finnland lagen (s. u.). Die norwegischen Hauptfelder sind Sargejok und Noaidejavre. Um einen Goldrush wie in Finnland zu verhindern, erklärte das norwegische Parlament Seifengold kurzerhand zu Staatseigentum, was bis heute jede Prospektionskampagne stark behindert. Im Herbst 1990 konnte die Herkunft des alluvialen Seifengoldes in der Finnmarksvidda immerhin auf einen, in 16 m Tiefe liegenden, fossilen Seifengoldhorizont zurückgeführt werden (s. Abb. 5-31). Das hierfür verantwortliche Primärgoldvorkommen bleibt weiterhin unter quartären Ablagerungen verborgen (OFTEN 2008).

NORDSCHWEDEN

Obwohl Edelmetalle in großen Mengen als Beiprodukt der Kupferförderung in Aitik anfallen (vgl. Kupfer), liegt das bekannteste Edelmetallvorkommen der schwedischen Arktis bei Nasafjäll. Die dortigen Ag-führenden Bleiglanzgänge wurden einst von umherziehenden Samen entdeckt und 1634 den Behörden gemeldet. Der Abbau begann dann 1635

und hielt mit vielen Unterbrechungen bis 1806 an. Es wird geschätzt, dass die ursprünglichen in situ-Vorräte 1,6 Mio. t Erz mit ca. 30 ppm Ag, 1,2 % Zn, 1,5 % Pb und 3,3 % Pyrrhotin betragen haben. Rund 20.000 t Erz wurden abgebaut, aus denen 500 t Pb und 1.000 kg Ag gewonnen wurden, wobei besonders die Silberproduktion im damaligen Staatshaushalt eine wichtige Rolle spielte.

Das Nasafjäll-Vorkommen liegt am Süden des gleichnamigen tektonischen Fensters in der Provinz Norrbotten in einer schmalen Zone eokambri-scher oder kambrischer Quarzite und Schiefer. Bei der späteren Faltung drangen Quarzgänge in diese Quarzite ein, die an Fugen mit Sulfiden vererzt sind. Pyrrhotin, Zinkblende und Bleiglanz sind die Haupterzminerale, mit großem Abstand gefolgt von Chalkopyrit, Boulangerit und Pyrit. Da die Erzminerale völlig unabhängig voneinander auftreten, konnte der alleinig Ag-führende Bleiglanz von Hand gewonnen und aussortiert werden (GRIP 1978).

Auch bei Suombertjåkko wurde ein kleiner, während des Ordoviziums eingedrungener Quarzgang exploriert, der geringe Erzvorräte von 10.000 t mit Gehalten von 959 ppm Ag, 0,7 ppm Au, 8,26 % Pb, 0,12 % Zn und 0,02 % Cu enthält (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

NORDFINNLAND

Seifengold wird aus den Flüssen Lapplands schon seit vielen Jahrhunderten gewaschen, wobei die Gewinnung auf die wenigen warmen Sommermonate beschränkt ist. Um 1870 erlebte auch Lappland seinen Goldrausch. Bis heute wurden geschätzt 2.300 kg Gold gefördert. Die bekanntesten Waschplätze lagen und liegen bei Tankavaara (seit 1934) und an den Flüssen Ivalojoeki (seit 1868) und Lemmenjoki (seit 1945), wobei letzterer im gleichnamigen, 2.850 km² großen Nationalpark verläuft, in dem Goldwaschen dennoch erlaubt ist. Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der bis 395 g schweren Nuggets beträgt 94 % Au und 5 %

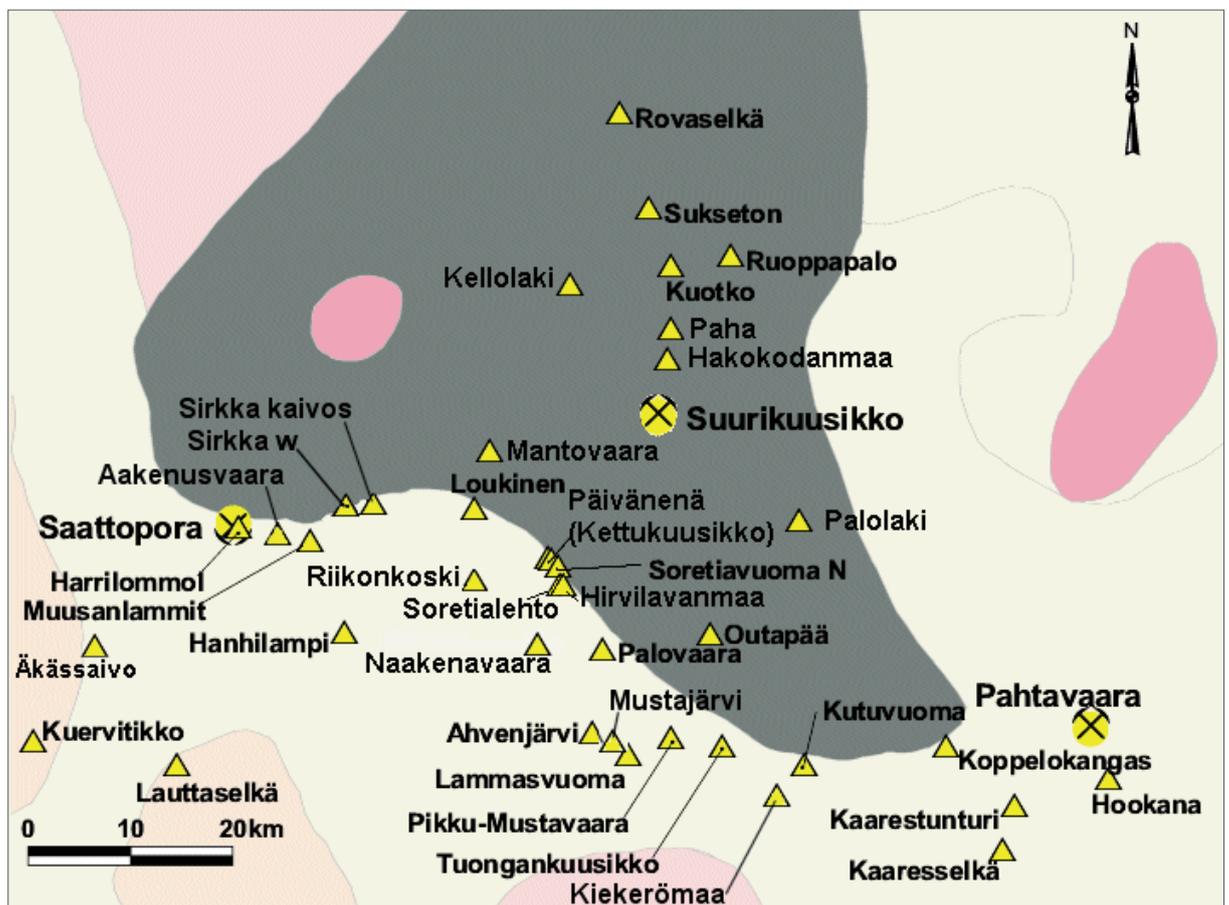


Abb. 5-32: Goldvorkommen in Zentrallappland, Quelle: GEOLOGISCHER DIENST VON FINNLAND.

Ag, die restlichen 1 % verteilen sich im Wesentlichen auf Bi, Hg, Fe, Te und Cu. Auch Platinnuggets wurden beim Goldwaschen entdeckt. Das Schwermineralkonzentrat in den Waschpfannen enthält in der Reihenfolge der Häufigkeit Limonit, Hämatit, Magnetit, Granat, Zirkon, Monazit, Rutil, Platin, Sperryolith, Porpezit, Laitakarit, gediegen Wismut, Bi-Sb-Minerales sowie im Lemmenjoki-Revier auch Rubin und Saphir. Das Seifengold wurde wenig transportiert und stammt vermutlich aus Gold führenden Quarz-Siderit-Hämatit-Magnetit-Eisensulfid-Gängen, die den unterlagernden Granit durchschlagen (ISOKANGAS 1978, SALTIKOFF et al. 2006).

Auf der Suche nach den Primärgoldvorkommen des Seifengoldes in Lappland fand ein Goldwäscher 1899 bei Hangasojä unweit Laanila auch einen den anstehenden Granulit durchsetzenden Quarzkarbonatgang, der neben gediegen Gold Pyrit, Hämatit und Limonit enthält. Durch diesen Fund wurde besonders zwischen 1902 und 1904 eine umfassende Prospektionskampagne ausgelöst, während derer mehr als 40 weitere Gänge gefunden und Gehalte von maximal 5 ppm Au, durchschnittlich 2 – 3 ppm Au, ermittelt wurden. Dies war damals jedoch noch zu gering, um einen Primärgoldabbau zu beginnen (LAIKKARI 1942).

Die wichtigste Goldregion in Lappland stellt heute der Kittilä-Erzdistrikt dar. Hier finden sich neben Fe-, Ni-, Cu- und Buntmetall- auch zahlreiche, teils bedeutende Au-Anreicherungen (vgl. Eisen, Kupfer, Blei und Zink). Zu nennen sind hiervon nach EILU (2007) und KORKALO (2006):

- Hanhimaa- bzw. die Hanhimaa-Scherzone, in der verschiedene Erzkörper, wie Kiimalaki und Kellolaki, im Rahmen der laufenden Exploration bereits deutlich erhöhte Gehalte an Au, Ag, aber auch Cu, Pb, Zn, As und Sb zeigten (DRAGON MINING LTD.);
- Hirvilavanmaa: 320 kg Au-Inhalt, gediegen Gold, Pyrit und Telluride;
- Kuotko in der sog. Kuotko-Scherzone: 2.400 kg Au-Inhalt; Vererzung aus Pyrrhotin, Pyrit, Arsenopyrit und rund 80 % Freigold in Quarz-Karbonat-Gängen und verwittertem Nebengestein; mehrere Einzelkörper mit

Tonnagen von jeweils > 100.000 t und Gehalten zwischen 1,4 und 4,3 ppm Au;

- Kutuvuoma: kleiner Tagebau, Produktion von 68 kg Au im Jahr 1999, Restvorräte von 68.000 t Erz mit 7,3 ppm Au, lokal Anreicherungen von Cu und Ni, gediegen Gold mit Pyrrhotin und Pyrit;
- Loukinen (Levijärvi-Loukinen): 114.000 t Erz mit 57 kg Au- und 513 t Ni-Inhalt, auch Anreicherungen von Cu und Ag, v. a. Freigold als Kluffüllung und in Einschlüssen sowie Chalkopyrit und Pyrrhotin in Sulfoarseniden;
- Riikonkoski: 9,56 Mio. t Erz mit 0,4 – 0,6 % Cu und 0,1 – ppm Au, fünf Erzkörper in 1,4 km langer und 0,6 km breiter Mulde, alles Gold im Arsenopyrit;
- Saattopora, s. u.;
- Sirkka kaivos: Produktion von 3 kg Au im Jahr 1956, in situ-Vorräte von ca. 200 kg Au-, 250 t Co-, 950 t Cu- und 800 t Ni-Inhalt, sechs Zonen mit Quarz-Karbonat-Gängen, v. a. Freigold als Einschlüsse in Gersdorffit und Arsenopyrit;
- Soretialehto: 40 kg Au-Inhalt, Freigold als Einschlüsse und Kluffüllungen in Pyrit und als Körner im Gangquarz sowie
- Suurikuusikko, s. u.

Hierbei sind die Goldvererzungen im Kittilä-Distrikt durchweg durch Pyrit, Chalkopyrit, Arsenopyrit und Freigold geprägt. Die wichtigsten Au-führenden Vererzungen sind an die Sirkka-Scherzone gebunden, die durch den ganzen Lappland-Grünsteingürtel von Pahtavuoma im Westen über Saattopora und Sirkka bis nach Tepsa im Osten verläuft. Diese Scherzone besitzt zudem Verlängerungen im Süden bis nach Pahtavaara und im Südosten bis nach Sodankylä.

Die 1985 entdeckte Saattopora-Au-Cu-Lagerstätte liegt in einem ähnlichen Umfeld wie die Cu-Lagerstätte Pahtavuoma im westlichen Abschnitt der Sirkka-Scherzone. Das Erz tritt in albitisierten intermediären Tuffiten und Phylliten auf, die in zwei E-W-streichenden Zonen vorkommen. Die höchsten Goldgehalte finden sich in vertikalen N-S streichenden Quarz-Karbonat-Gängen (s. Abb. 5-33). Das Vorkommen stand zwischen 1989 und 1995 im Abbau und lieferte 2,15 Mio. t Erz mit Durchschnitts-

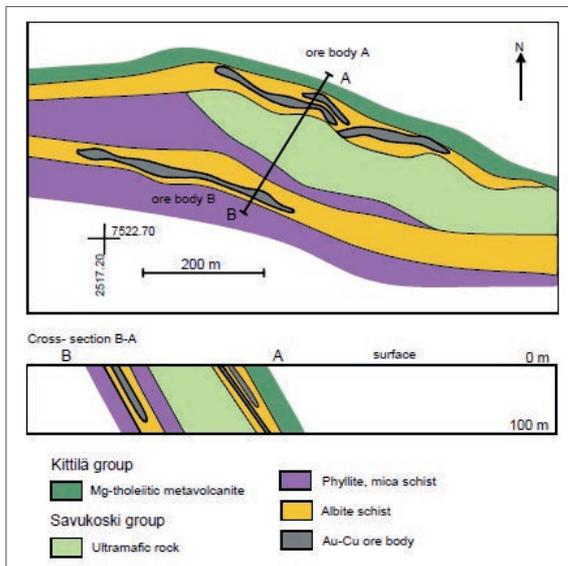


Abb. 5-33: Geologische Übersichtskarte und Profilschnitt durch die Saattopora-Au-Cu-Lagerstätte, aus KORKALO (2006).



Abb. 5-34: Blick in den Suurikuusikko-Tagebau des Kittilä-Bergwerks mit Aufbereitungsanlagen. Die Kreisstraße im Hintergrund markiert die letztendliche Größe des bereits eröffneten Tagebaus Suuri (AGNICO EAGLE MINES LTD.).



Abb. 5-35: Blick in den Pahtavaara-Goldtagebau, Foto: GEOLOGISCHER DIENST VON FINNLAND.

gehalten von 3,25 ppm Au und 0,26 % Cu bzw. 6.278 kg Au und 5.177 t Cu (SALTIKOFF et al. 2006).

500 m östlich der Saattopora-Au-Cu-Lagerstätte existiert auch noch das Saattopora-Cu-Au-Vorkommen mit Vorräten von 11,6 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,25 ppm Au, 0,62 % Cu (cut-off 0,3 % Cu) und 0,09 % Ni (KORKALO 2006).

In unmittelbarer Nachbarschaft der Saattopora-Au-Cu-Lagerstätte liegen weiterhin die nicht bauwürdigen Goldvorkommen von Harrilompolo (2,70 ppm Au, 0,07 % Cu), Aakenusvaara (1,12 ppm Au, 0,36 % Cu) und Muusanlammet (2,41 ppm Au, 0,48 % Cu) (KORKALO 2006).

Im zentralen Abschnitt der Sirkka-Scherzone wurden zahlreiche Au-Vorkommen, wie Sirkka, Sirkka West, Levijärvi (Jänkkjärvi), Lälleänvuoma (Kettukusikko, Päiväneva), Loukinen, Soretialehto, Soretivuoma, Hirvilavanmaa und Jerusalemjänkkä (Palovaara) gefunden. Sie entstanden alle epigenetisch und sind an Brekzien oder Quarzgangnetzwerke gebunden.

Die größte Au-Lagerstätte im Kittilä-Distrikt und die zurzeit größte Goldlagerstätte in Skandinavien ist jedoch Suurikuusikko nördlich der Sirkka-Scherzone, genauer entlang der sog. Kiistala-Scherzone (s. Abb. 5-34). Diese, im Jahr 1986 vom Geologischen Dienst von Finnland entdeckte Lagerstätte liegt innerhalb einer tektonischen Brekzie an einer Kontaktzone zwischen mafischen Vulkaniten und Graphit reichen Schiefen. Die Brekzie ist stark verkieselt mit Bruchstücken von Albitgesteinen und Schiefen. Das Gold ist zu 75 % an Arsenopyrit und zu 23 % an Pyrit gebunden, so dass spezielle Aufbereitungsverfahren zu dessen Abtrennung entwickelt werden mussten. Die Bauarbeiten für das Kittilä-Bergwerk begannen 2007, im September 2008 erfolgte die Eröffnung des ersten Tagebaus (Suurikuusikko genannt Suuri) (später Untertageabbau) und im Januar 2009 wurde das erste Gold produziert. Die Eröffnung des zweiten Tagebaus Rouravaara (genannt Roura) soll zukünftig erfolgen. Die Suurikuusikko-Lagerstätte, die derzeit bis 1.000 m Teufe erkundet ist, besitzt nachgewiesene Reserven von 403.000 t Erz mit 4,23 ppm Au, dazu wahrscheinliche Reserven von 32,329 Mio. t

Erz mit 4,64 ppm Au, angezeigte Ressourcen von 15,348 Mio. t Erz mit 2,41 ppm Au sowie vermutete Ressourcen von 8,320 Mio. t Erz mit 2,50 ppm Au, d. h. insgesamt Reserven von rund 4,9 Moz bzw. 152 t Gold (AGNICO EAGLE MINES LTD.).

Das 1985 entdeckte Pahtavaara Au-Vorkommen in Sodankylä, im östlichen Teil des Kittilä Au-Cu-Erzdistrikts, liegt innerhalb des großen Sattasvaara-Komatiitkomplexes (Abb. 5-35). Die metamorphisierten Komatiite von Pahtavaara sind

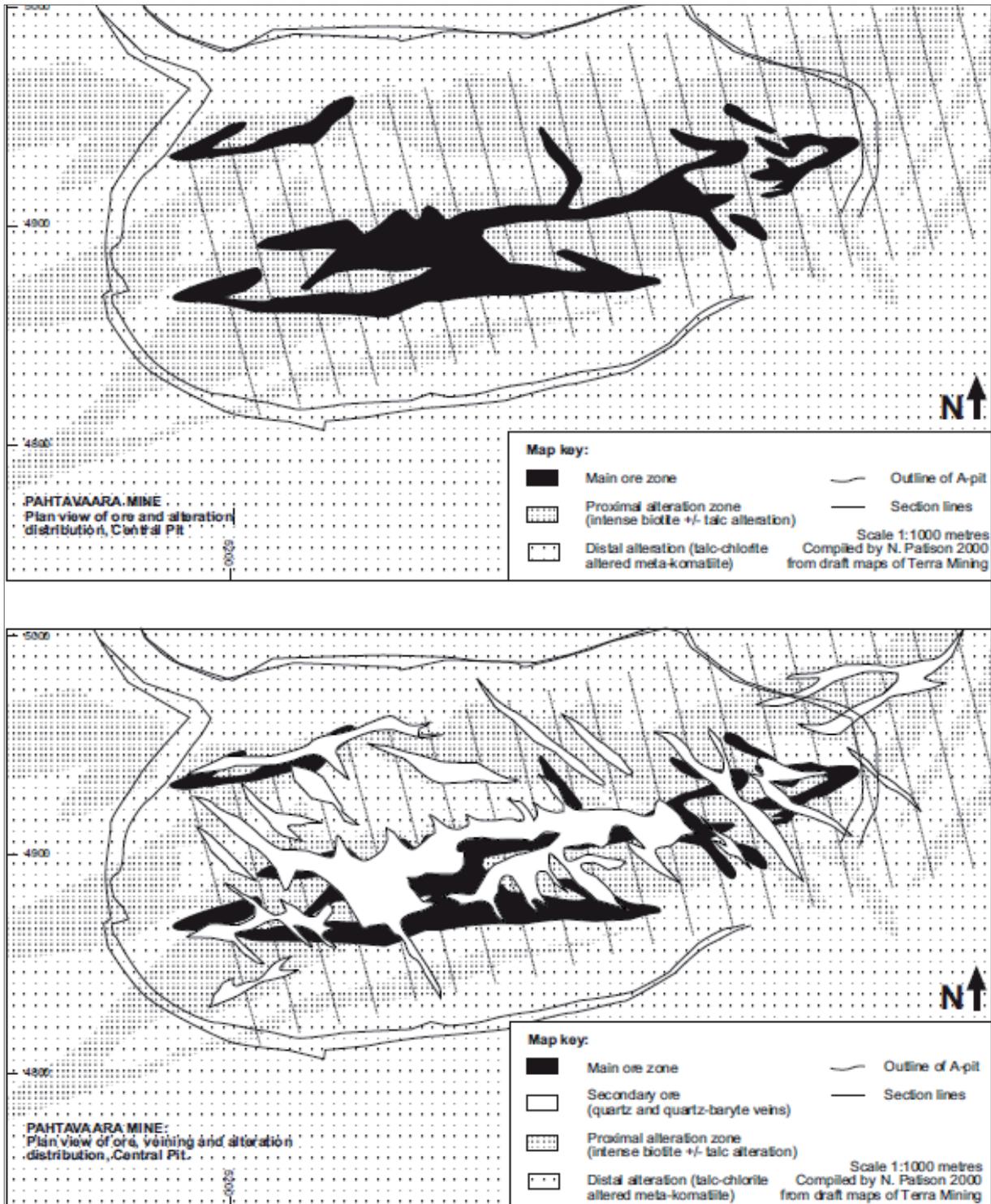


Abb. 5-36 a, b: Geologische Übersichtskarte des Pahtavaara-Tagebaus, aus OJALA et al. (2007).

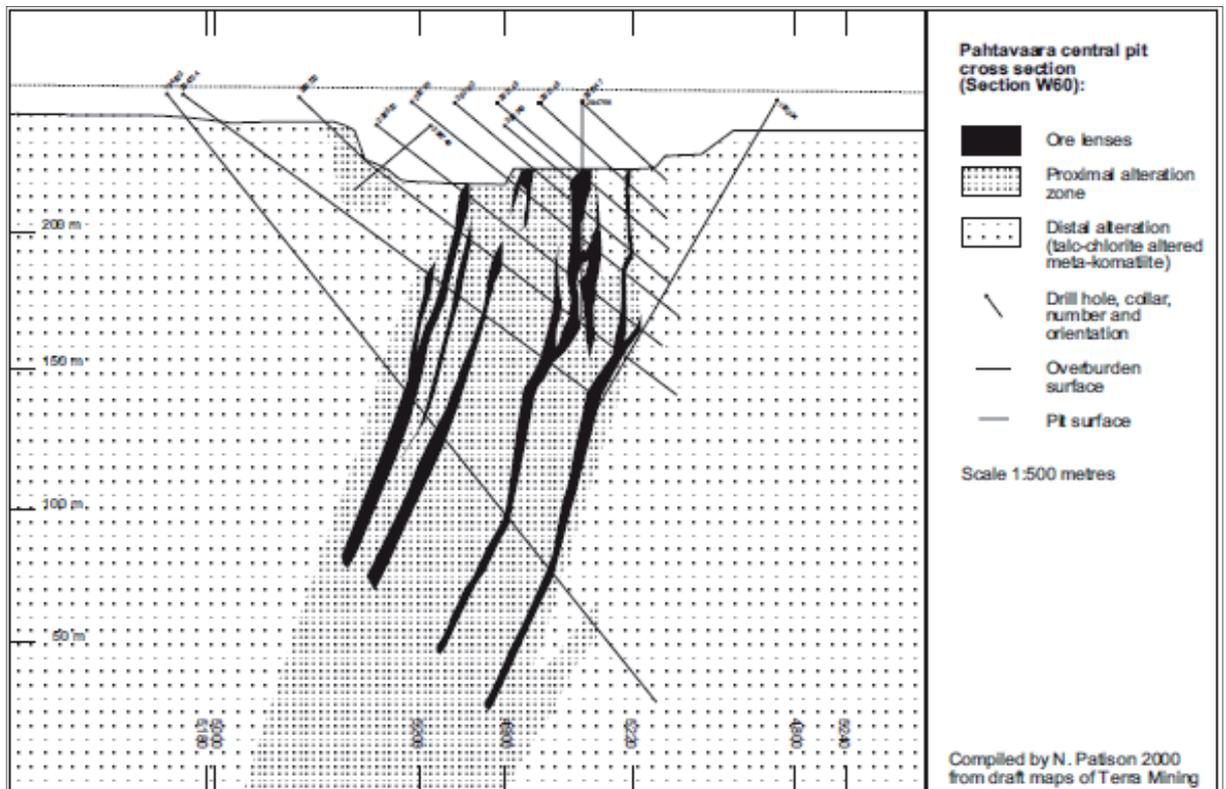


Abb. 5-37: Profilschnitt durch den zentralen Pahtavaara-Tagebau, aus OJALA et al. (2007).

in Amphibol-Chlorit-Gesteine, Biotitschiefer oder Amphibolite mit Quarz-Baryt-Gängen und -Einschlüssen umgewandelt worden. In den vererzten Zonen der Biotitschiefer ist Gold eng mit Magnetit und Talk-Karbonat-Gängen vergesellschaftet. In den Amphiboliten ist das Gold dagegen grobkörnig und an den Rändern zu den Quarz-Baryt-Gängen meist gediegen ausgebildet (s. Abb. 5-36). Die vererzten Bereiche sind zwischen 5 und 10 m breit, streichen E-W und fallen steil mit 70 – 80° nach N ein (s. Abb. 5-37). Das Pahtavaara-Au-Vorkommen wurde zwischen 1996 und 2000 abgebaut und lieferte 1,697 Mio. t Erz mit durchschnittlich 2,14 ppm Au bzw. 3.814 kg Au (KORKALO 2006, SALTIKOFF et al. 2006). Der Abbau wurde im Jahr 2003 erneut aufgenommen, zwischen 2007 und 2008 wegen Eigentümerwechsels unterbrochen und ist seit Dezember 2008 wieder aktiv. Die nachgewiesenen Reserven betragen zum 01.01.2011 382.000 t mit 2,64 ppm Au, die wahrscheinlichen Reserven 194.000 t mit 2,93 ppm Au, die nachgewiesenen Ressourcen 197.000 t mit 2,07 ppm Au und die angezeigten Ressourcen 132.000 t mit 1,59 ppm Au (LAPPLAND GOLMINERS AB). Die nachgewiesenen und angezeigten Ressourcen (inkl. Reserven) zum 01.01.2011 be-

trugen 574.000 t Erz und durchschnittlich 3,30 ppm Au, entsprechend einem Goldinhalt von 1.895 kg.

Ein weiteres Au-Vorkommen in der Region Sodankylä ist Mäkärärova (Siikalehto) mit in-situ-Vorräten von 170 kg Au-Inhalt. Das Vorkommen besteht aus mineralisierten Gängen in archaischen granitoiden Gneisen. Das meiste Gold findet sich in Pyrit führenden Hämatit-Karbonat-Quarzgängen oder direkt in Verbindung mit Pyrit (EILU 2007).

Arten niedriggradiger Paläoseifen wurden in den Konglomeraten der Kumpu-Formation bei Kaarestunturi in Sodankylä und bei Outapää bzw. Kumpuntunturi in Kittilä entdeckt. Die Kumpu-Quarzit-Formation überlagert diskordant die Grünsteine und stellt ihr jüngstes Verwitterungsprodukt dar (SALTIKOFF et al. 2006, KORKALO 2006).

5.1.1.5 Platingruppenmetalle

NORDFINNLAND

Im Norden Finnlands, jedoch südlich des Polarkreises, existieren große Vorkommen von Platingruppenmetallen (PGM), die sich derzeit noch

in verschiedenen Stadien zwischen Exploration und der Erstellung von Wirtschaftlichkeitsstudien befinden.

Auch in der finnischen Arktis wurden möglicherweise bauwürdige Anreicherungen von PGM in den geschichteten mafischen bzw. ultramafischen Intrusionen von Koitelainen (s. Chrom), Keivitsa (Keivitsa) (vgl. Nickel) und Akanvaara (s. Chrom) nachgewiesen. Hinzu kommen die aufgrund ihrer Größe oder geringen Gehalte nicht bauwürdigen PGM-Vorkommen von Lomalampi und Kaamajoki. Letztes Vorkommen führt jedoch bis 3,15 % Cu und bis 1,01 % Ni.

Der Keivitsa-Satovaara-Komplex liegt 34 km nördlich von Sodankylä, unmittelbar südlich der Koitelainen-Intrusion (s. Chrom). Untersuchungen der Satovaara-Intrusion im Jahr 1995 zeigten unbefriedigende PGM-Gehalte. Die vor 2.057 Ma eingedrungene, 16 km² große Keivitsa-Intrusion enthält

dagegen das Keivitsansarvi-Vorkommen mit fein verteilten Fe-Ni-Cu-Sulfiden in teilweise alterierten Peridotiten und Pyroxeniten (s. Abb. 5-38). Im nordöstlichen und zentralen Teil des 12 ha großen Vorkommens treten zudem mehrere röhrenförmige Mineralisationen mit Edelmetallen (PGM + Au > 1 ppm) und zu einem geringen Anteil auch Nickel (0,5 – 1,0 %) auf. Die röhrenförmigen Körper besitzen zwischen einigen Zehner bis 100 m Durchmesser und wurden zum Teil bis 325 m Tiefe exploriert. Sie sind innerhalb der Intrusion in N-S-Streichrichtung orientiert und bestehen aus Olivinwebsteriten und Olivinclinopyroxeniten. Innerhalb der PGM-Anreicherungen kommen als Erzminerale Pentlandit (bis 150 ppm Pd), Pyrit (bis 42 ppm Pd) und Chalkopyrit, untergeordnet auch Pyrrhotin, Millerit, Heazlewoodit, Mackinawit, Nickelin (bis 342 ppm Pd), Maucherit (bis 241 ppm Pd), Gersdorffit (bis 868 ppm Pd), Bornit, Troilit, Awaruit und ein nicht identifiziertes Ce-Fe-Sulfid vor. Diese Minerale finden sich in den Zwischenräumen der primären

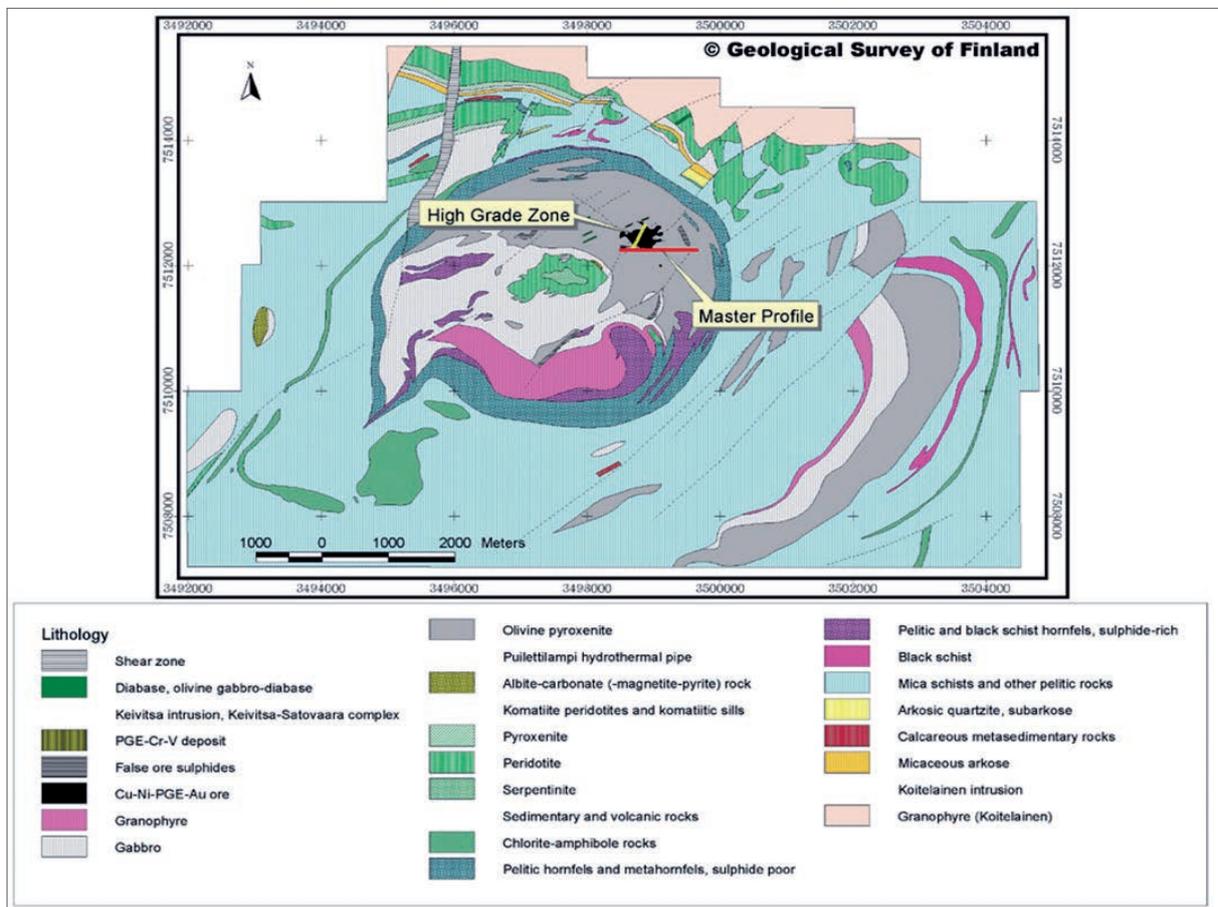


Abb. 5-38: Geologische Karte der Keivitsa-Intrusion, aus KOJONEN et al. (2004).

Silikate oder verwachsen mit sekundärem Aktinolith, Serpentinchlorit und Phlogopit. Der Pyrrhotin führt max. 0,77 % Ni und der Pyrit 0,17 – 1,97 % Ni sowie 0,18 – 2,37 % Co.

Die Platingruppenminerale sind größtenteils < 40 µm groß und meist (62 %) von Silikaten umgeben bzw. stehen mit Sulfiden (29 %) in Kontakt. PGM-Einschlüsse in den Sulfiden (8 %) oder in Sulfidklüften (1 %) sind dagegen selten. Die wichtigsten der > 30 identifizierten PGM sind Sperrylith (31 Vol.-%), Moncheit (27 Vol.-%), Geversit (13 Vol.-%) und Braggit (12 Vol.-%) (GERVILLA et al. 2005).

Insgesamt betragen die sicheren und wahrscheinlichen Reserven des Keivitsansarvi-Vorkommens unter Annahme eines cut-off grades von 0,18 % Ni zusammen 160,6 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,30 % Ni, 0,40 % Cu, 0,014 % Co, 0,12 ppm Au, 0,23 ppm Pt und 0,17 ppm Pd. Bei einem cut-off grade von 0,2 % Ni bis in eine Teufe von 1.000 m betragen die nachgewiesenen und angezeigten Ressourcen 274,8 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,30 % Ni, 0,41 % Cu, 0,015 % Co, 0,11 ppm Au, 0,2 ppm Pt und 0,15 ppm Pd bzw. die vermuteten Ressourcen 240,1 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,30 % Ni, 0,41 % Cu, 0,01 % Co, 0,11 ppm Au, 0,21 ppm Pt und 0,15 ppm Pd (FIRST QUANTUM MINERALS LTD.).

5.1.1.6 Blei und Zink

NORDNORWEGEN

Der westkaledonische „Bleigürtel“, der sich über 2.000 km vom Mjøsasee im Süden durch ganz Skandinavien erstreckt, reicht bis in die Region Porsanger in Nordnorwegen. Dort, bei Gurrogaisaa, südöstlich von Lakselv, sind Bleivorkommen schon seit längerem bekannt. Sie treten in zwei Variationen auf:

1. Auffiedernde Quarz-Calcit-Gänge mit Bleiglanz, Zinkblende und Baryt. Diese Gänge folgen Klüften in präkambrischen Granuliten und schneiden auch die kambrischen Sandsteine. Ihre Breite reicht von wenigen Dezimetern bis zu mehreren Metern. Einige Gänge, bis 50 cm breit, bestehen fast vollständig aus Bleiglanz. Der Ag-Anteil in diesem Bleiglanz ist meistens erhöht.

2. Fein verteilte Bleiglanzvererzung in den untersten Horizonten der unterkambrischen Dividal-Hyolithus-Gruppe. Diese Vererzung ist schichtgebunden und kann von Porsanger weit nach Westen verfolgt werden. In der Finnmark existiert eine ähnliche, niedrig gradige Pb-Mineralisation (BUGGE 1978).

Bei Sulitjelma, 80 km östlich von Bodø in der Provinz Nordland, standen zwischen 1886 bis 1991 mehrere Erzlinen mit Pyrit, Pyrrhotin, Chalkopyrit und Zinkblende im Untertageabbau (vgl. Abb. 5-22 und Kupfer). Die Region entwickelte sich in diesem Zeitraum zu einem wichtigen Cu-, aber auch Zn- und S-Lieferanten. Das Fördererz enthielt durchschnittlich 1,8 – 2,2 % Cu und 0,4 % Zn. Neben einem Zinkkonzentrat (44 % Zn, 36,1 % S, 1,6 % Cu) wurden auch ein Kupfer- sowie ein Pyritkonzentrat erzeugt.

Jakobsbakken, im Sulitjelma-Distrikt (s. Abb. 5-39), ist eine submarin-synsedimentär-exhalativ entstandene Pb-Zn-Lagerstätte in Amphiboliten, die zwischen 1896 und 1986 unter Tage abgebaut wurde. Insgesamt wurden 4,47 Mio. t Erz mit Gehalten von 2,42 % Zn und 1,55 % Cu gefördert (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Im Ofoten-Gebiet (s. Abb. 5-40) kommen in der Salangen-Gruppe sowohl stratiforme Pb-Zn-Vererzungen und sedimentäre, teils Mn-haltige Hämatit-Magnetit-Erze mit 0,3 % P, als auch in der Narvikgruppe schichtgebundene Cu-Zn-Sulfidvorkommen, sedimentäre Magnetitlagen mit 1 % P (Sjåfjell Mine) und niedriggradige Ni-Cu-Vorkommen (Råna) vor.



Abb. 5-39: Hochsommer bei Jakobsbakken in der Region Sulitjelma, Foto: SIRI/WIKIPEDIA.

Die Häfjell-Vorkommen bestehen aus typischen schichtgebundenen Pb-Zn-Vererzungen in der spätkambrischen bzw. frühordovizischen Salangen-Gruppe. Sie sind um den Djupviknes Quarzit konzentriert und liegen in den umgebenden Glimmerschiefern. Der Sulfid führende Horizont von 20 – 70 m Mächtigkeit kann über 7 km Länge verfolgt werden. Er enthält einzelne VMS-Erzkörper von gewöhnlich < 1 m Stärke mit 60 – 85 Vol.-%

Zinkblende, 15 – 30 Vol.-% Bleiglanz und geringen Anteilen von Chalkopyrit und Pyrit. Zwei Erztypen sind unterscheidbar:

- ein schichtgebundener, relativ massiver Typ, bestehend aus dünnen, parallelen Lagen ohne Remobilisierung und
- ein stark mobilisiertes Erz, in dem die Struktur völlig verändert wurde.

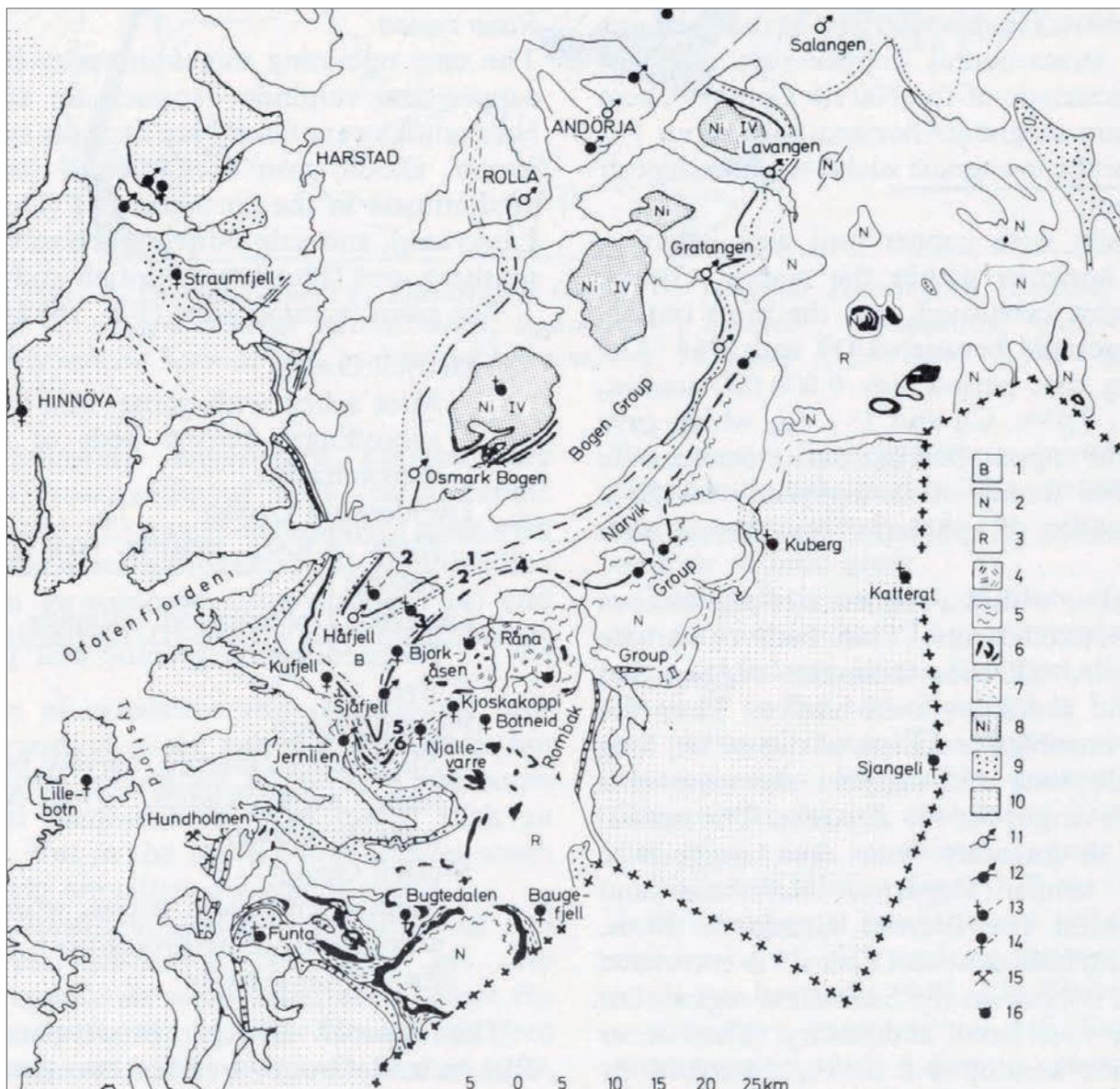


Abb. 5-40: Geologische Übersichtskarte der Ofoten:

1) Salangen-Gruppe 2) Narvik-Gruppe 3) Rombak-Gruppe 4) mafische Intrusiva 5) Gicce-Gneis 6) Metavulkanite (Grünsteine) 7) Rieppe-Schiefer 8) Niingen-Gruppe 9) Arkosite, granitische Gneise 10) Präkambrisches Grundgebirge 11) Eisenerz, Häfjell-Typ 12) Apatit-Eisenerz, Sjäfjell-Typ 13) Pb-Zn-Erz 14) Cu-Erz 15) Feldspatabbau 16) Ni-Erz Wichtige Erzvorkommen: 1: Häfjell (Fe) 2: Häfjell (Pb-Zn) 3: Bjorkåsen-Olaemmen (Cu-Zn) 4: Sjäfjell (Fe) 5: Melkedalen-Hammerfjell (Cu-Zn-Pb) 6: Njallavare (Cu), aus BUGGE (1978).

Bisher wurden nur Teile der Håfjell-Vorkommen in kleinem Umfang abgebaut.

Das bedeutendste VMS-Vorkommen in Gesteinen der Narvikgruppe war Bjorkåsen, das zwischen 1917 und 1964 vollständig ausgeerzt wurde. Die Gesamtproduktion belief sich auf 6 Mio. t Erz mit Gehalten von 28,5 – 30 % S, 0,4 – 0,45 % Cu, 0,4 – 1 % Zn und 15 ppm Ag bzw. 3 Mio. t Cu-führendes Pyritkonzentrat mit 47 – 48 % S, 23.000 t Chalkopyritkonzentrat mit 19 – 20 % Cu und 19.000 t Zinkblendekonzentrat mit 48 – 50 % Zn (ANONYM 1940).

Nicht weit von Bjorkåsen entfernt liegt das noch nicht abgebaute VMS-Vorkommen Hammarfjell Østre, dessen Erz 4,3 % Zn, 1,5 % Pb und 0,12 ppm Au führt. Vorratsdaten wurden bisher nicht publiziert (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Das VMS-Vorkommen von Rieppe enthält Ressourcen von 3 Mio. t Erz mit Gehalten von 2 % Zn und 0,5 % Cu. Obwohl es zwischen 1904 und 1907 probeweise abgebaut und dann bis 1972 immer wieder exploriert wurde, konnte seine Bauwürdigkeit nicht bewiesen werden.

Alle Vorkommen des Ofoten-Gebietes liegen innerhalb toniger oder calcitischer Metasedimente. Sie lassen sich mit ähnlichen Vorkommen in der Region Rana (Malmhaug und Båsmo) sowie Sulitjelma korrelieren (BUGGE 1978).

In der Region um Mo i Rana treten schichtgebundene Sulfidlagerstätten im unteren Teil der Plurdal-Gruppe und im oberen Abschnitt der Mofjell-Gruppe auf (s. Abb. 5-41). Man unterscheidet eine:

- Manganzone mit metamorphen Mn-Silikaten,
- Quarzkeratophyr-Zone mit Cu-Zn-Fe-Mineralisation,

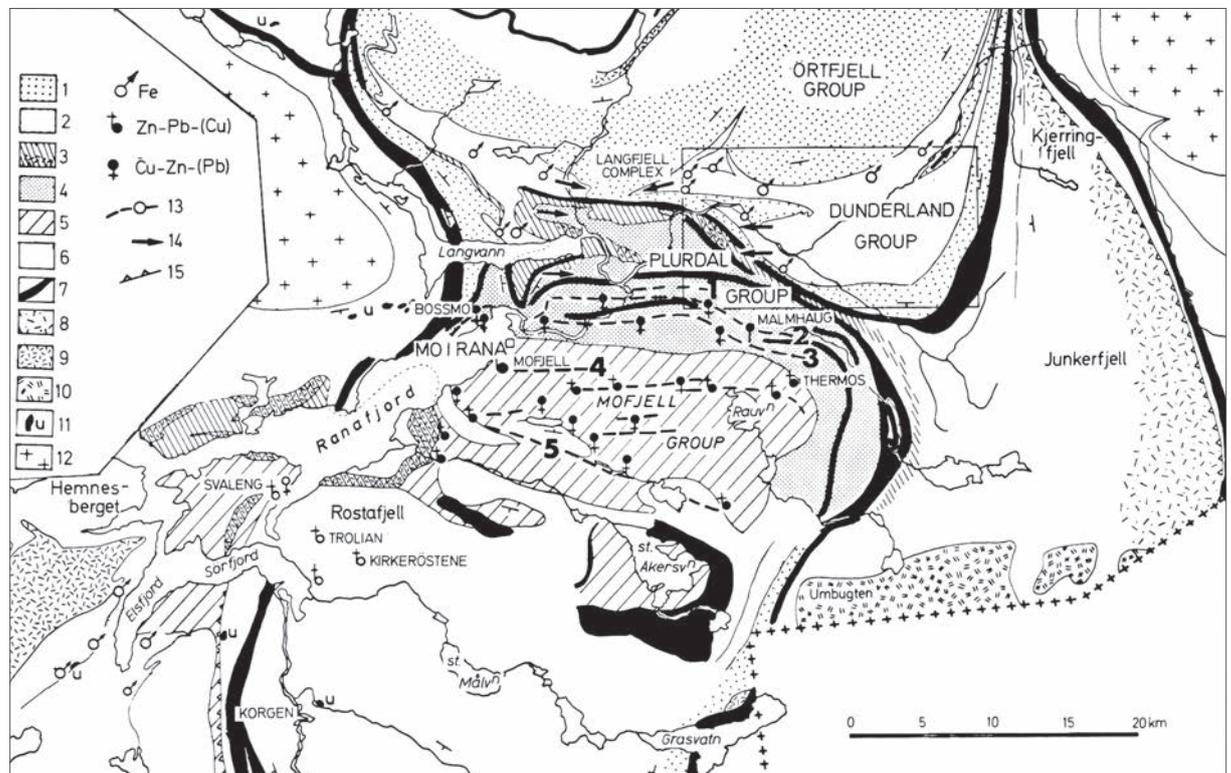


Abb. 5-41: Geologische Übersichtskarte der Rana-Region:

1) Ørtfjell-Gruppe 2) Dunderland-Gruppe 3) Langfjell-Deformationskomplex 4) Plurdal-Gruppe 5) Mofjell-Gruppe
6) undifferenzierte kambrosilurische Metasedimente 7) Kalkstein 8) Migmatit 9) Granit 10) Gabbro 11) Ultramafite
12) Präkambrisches Grundgebirge 13) vererzte Horizonte 1-5 14) Einfallen von Faltenachsen 15) Verwerfungenzonen,
aus BUGGE (1978).

- Amphibolit-Skarn-Zone mit Fe-Sulfid-Mineralisation sowie eine
- Mofjell-Hauknestinf Zn-Pb-Cu-Sulfid-Mineralisation.

Die beiden wichtigsten Pb-Zn-Lagerstätten in dieser Region sind (BUGGE 1978):

- Mofjell(et), das um 1687 entdeckt, dann bald auf Silber, aber erst von 1884 bis 1888 in großkommerziellen Abbau ging. Seit 1928 wurde der Abbau nicht mehr unterbrochen und umfasste bis zur Schließung im Jahr 1987 die Produktion von Zn-Konzentrat (51,2 % Zn), Pb-Konzentrat (68,9 % Pb), Cu-Konzentrat (23,3 % Cu) und Pyrit-Konzentrat (49,8 % S). Die langjährigen Durchschnittsgehalte im Erz – insgesamt wurden 4,35 Mio. t gewonnen – betragen 3,61 % Zn, ca. 7 % S, 0,71 % Pb, 0,31 % Cu sowie 10 ppm Ag (Zitzmann 1976c). Seit einigen Jahren wird geprüft, ob der Abbau wieder aufgenommen werden kann. Bisher wurden Restvorräte von 3,22 Mio. t Erz festgestellt (GEXCO AB). Haupterzminerale sind Pyrit, Zinkblende, Bleiglanz und Chalkopyrit. Das Erz (heterogene Feldspat führende Gneise der Mofjell-Gruppe) enthält zudem bis 2,5 % Baryt, das bei der ehemaligen Aufbereitung abgetrennt wurde. Die Edelmetallgehalte in den Konzentraten betragen für Au: 6,4 – 6,9 ppm im Pb-Konzentrat, 3,3 – 6,3 ppm im Cu-Konzentrat sowie für Ag: 501 – 579 ppm im Pb-Konzentrat, 166 – 170 ppm im Cu-Konzentrat, 113 – 21 ppm im Zn-Konzentrat (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).
- Bleikvassli bei Bleikvannet, rund 70 km südlich von Mo i Rana und damit bereits südlich des Polarkreises gelegen. Dieses Vorkommen wurde 1917 entdeckt, ab 1947 exploriert und ging 1957 in Abbau. 1997 wurde die Gewinnung nach einem Wassereintrich eingestellt. Insgesamt waren bis dahin 4,9 Mio. t von ursprünglich rund 6 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 2,5 % Pb, 4,2 % Zn, 0,22 % Cu und 25 ppm Ag abgebaut worden. Der Erzkörper stellt ein schichtgebundenes, stark deformiertes und rekristallisiertes Vorkommen in der Kongsfjell-

	Pyrit	Pyrrhotinerz
Pyrit	55,6	2,5
Pyrrhotin	5,4	49,0
Zinkblende	17,4	19,3
Bleiglanz	6,1	6,5
Chalkopyrit	0,8	1,8
Gangminerale (Quarz, Glimmer, Plagioklas, Chlorit, Gahnit, Apatit, Turmalin)	14,7	20,8

Tab. 5-3: Mineralogische Zusammensetzung der Bleikvassli-Erze in Vol.-% (BUGGE 1978).

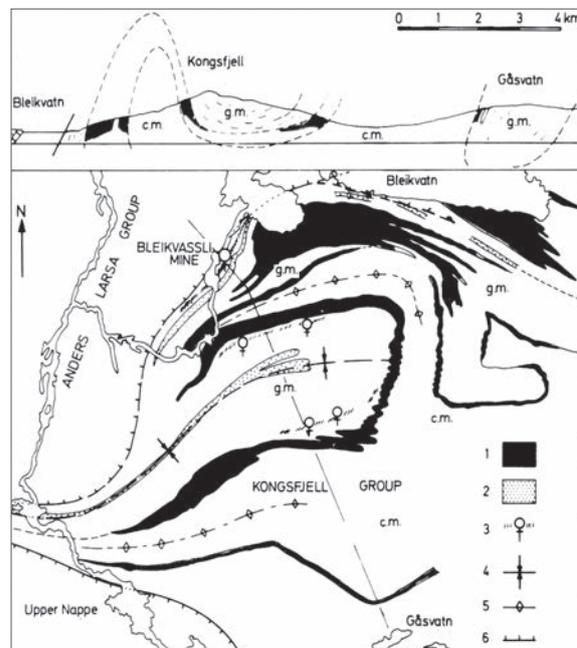


Abb. 5-42: Bleikvassli-Erzkörper: 1) Amphibolit mit Schiefer- und Marmorhorizonten 2) Quarzite 3) Sulfidlagen und Erzvorkommen 4) Mulde 5) Sattel 6) Störung, cm = calcitische Glimmerschiefer, gm = Granatglimmerschiefer, aus BUGGE (1978).

Gruppe dar, einer Abfolge verschiedenartigster Schiefer, Quarzite und Amphibolite.

Im Bereich der Vererzung handelt es sich um Staurolith-Disthen-Gneise und Mikroklingneise, wobei letztere vermutlich durch Metamorphose aus felsischen Tuffen entstanden. Die Länge des Erzkörpers beträgt 400 m bei einer durchschnittlichen Breite von 20 – 25 m. Er fällt mit 40 – 90° nach NW ein. Der Erzkörper setzt sich aus mehreren,

sehr unterschiedlich mächtigen Linsen aus Massivsulfiden zusammen (s. Abb. 5-42). Dabei werden zwei Erztypen unterschieden: das häufigere Pyrit Erz und das nur an der Grenze zum Liegenden ausgebildete Pyrrhotinerz. Die mineralogische Ausbildung dieser Erztypen zeigt Tab. 5-3.

Von den kleineren Pb-Zn-Lagerstätten um Mo i Rana (vgl. Abb. 5-41) standen in Produktion (ANONYM 1940, KRUSE 1979):

- Båsmo, bestehend aus vier länglichen Pyriterkörpern, die zwischen 1894 und 1921 sowie zwischen 1932 und 1937 zum Teil in Abbau standen. In den 1930er Jahren wurden 17.000 t Konzentrat gewonnen. Zuvor, um die Jahrhundertwende, waren unter Tage bereits insgesamt 1.521.000 t Roherz mit durchschnittlich 19,83 % S, 0,13 % Cu und 0,14 % Zn abgebaut worden, aus denen 525.790 t Pyritkonzentrat mit 49,13 % S, 42 – 44 % Fe, 0,39 % Cu, 0,4 % Zn und 20 – 50 ppm Ag separiert wurden. Der größte Erzkörper war > 1 km lang, ca. 150 m breit und 0,4 – 15 m, durchschnittlich 3,5 m, mächtig.
- Malmhaug, bestehend aus mindestens zwei 1921 entdeckten Erzkörpern, die nur zeitweilig, u. a. 1921 und 1936/37, in geringer Produktion (1937: 1.748 t Erz) standen. Das Vorkommen besteht aus Imprägnationserzen, es treten aber auch massive Pyritbänder mit bis zu 47 % S und 9 m Mächtigkeit auf. Abgesehen von einigen kleinen Bändern aus Pyrrhotin mit etwas Chalkopyrit enthält das Erz kein Cu. Einstmals exportiertes Pyritkonzentrat enthielt 46,46 % S, 41,62 % Fe, 0,35 % Zn und Spuren von Pb.
- Rodfjeld, ein kleines Pyritvorkommen aus zwei linsenförmigen Erzkörpern, wovon der größere westliche bis 230 m Länge und 2,9 m Mächtigkeit erreicht. Dieser westliche Erzkörper wurde durch einen Schrägschacht von 230 m Länge und 85 m vertikaler Tiefe erschlossen und förderte zwischen 1910 und 1919. Das insgesamt ausgebrachte Konzentrat, ca. 50.000 t, enthielt 50,5 % S, 45,25 % Fe, 0,51 % Cu sowie 1,08 % Zn.

NORDSCHWEDEN

Im Vergleich zur norwegischen Arktis existieren in Nordschweden nur sehr wenige Vorkommen von Pb und Zn. Am bekanntesten ist noch das Huornaisenvuoma-Vorkommen, rund 60 km östlich von Kiruna. Es handelt sich um eine synsedimentär-exhalative Silber-Buntmetallmineralisation in einer mächtigen Dolomitsteinbank am Top der dortigen Grünsteinabfolge. Die Erzminerale treten als dünne und stratiforme, massive Lagen, aber auch fein verteilt im Dolomitstein auf. Die Vorräte betragen rund 550.000 t Erz mit 4,5 % Zn, 2,6 % Pb, 0,2 % Cu und 12 ppm Ag.

Das noch kleinere Askeluotka-Vorkommen enthält rund 100.000 t Erz mit Durchschnittsgehalten von 4,15 % Pb und 3,33 % Zn.

Auch das Gabbromassiv von Puolalaki enthält Vorräte von 100.000 t Erz mit Gehalten von 2,8 % Zn, 0,15 % Cu und 6,2 ppm Au.

NORDFINNLAND

In Nordfinnland sind im Raum Kittilä mehrere Zinkvorkommen bekannt (s. Abb. 5-43), von denen bisher einzig Pahtavuoma als bauwürdige Anreicherung hervorsticht. Außer den in der Abb. 5-43 aufgeführten Zinkvorkommen wurden in der finnischen

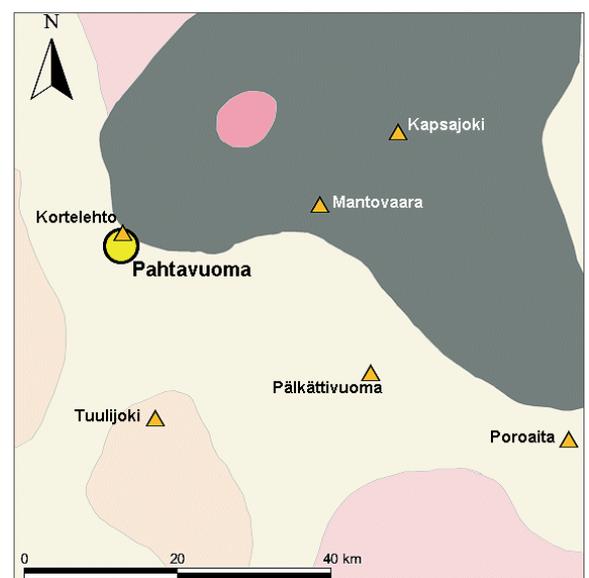


Abb. 5-43: Karte der Zinkvorkommen im Kittilä-Distrikt um Pahtavuoma, Quelle: GEOLOGISCHER DIENST VON FINNLAND.

Arktis auch noch kleine und/oder niedriggradige, meist jedoch noch nicht im Detail explorierte Zinkanreicherungen bei Kovddoskai (max. 1,53 % Zn, 1,03 % Pb und 0,7 % Cu), Kiimavaara (max. 0,74 % Zn und 0,6 % Pb), Jauratsilampi (max. 0,44 % Zn und 1,6 ppm Ag) und Kiimavuoma (max. 0,6 % Zn) entdeckt.

Pahtavuoma ist ein schichtgebundenes Sulfidvorkommen (vgl. auch Kupfer und Uran) mit mehreren Erzkörpern in einer paläoproterozoischen Abfolge aus Grauwacken, Phylliten, Schwarzschiefern, mafischen Tuffiten und Laven sowie Kieselgesteinen. Das Vorkommen wurde 1970 entdeckt, in den folgenden Jahren abgebohrt und zwischen 1974 und 1976 sowie 1989 bis 1993 wurden 295.000 t Erz mit 1,07 % Cu und 26 ppm Ag probeweise gewonnen. Hieraus wurden 3.157 t Cu und 5.310 kg Ag abgetrennt. Die verbliebenen Gesamtvorräte von Pahtavuoma belaufen sich auf 17 Mio. t Erz mit 0,81 % Zn, 0,11 % Cu, 0,09 % Pb, 0,02 % Ni, 0,01 % Co und 7 ppm Ag entsprechend einem Metallinhalt von 143.100 t Zn, 64.800 t Cu, 16.300 t Pb, 4.750 t Ni, 2.600 t Co und 224 t Ag. Die sechs Zn-reichen Erzkörper enthalten zusammen 4,1 Mio. t Erz mit 1,5 % Zn. Die Erzminerale, im Wesentlichen Pyrrhotin und Zinkblende, sind fein verteilt oder in Gangbrekzien angereichert. Während Cu in den mittigen und liegenden Teilen des Vorkommens angereichert ist, findet sich Zn im Hangenden, in seitlichen Ausläufern der Cu-Erze und in getrennten Erzkörpern. Die gangförmige Uranmineralisation ist meistens eng mit den Cu-Erzkörpern vergesellschaftet, die auch schwach an Co, As, Ag und Mo angereichert sind (MARTINSSON et al. 2007).

5.1.1.7 Molybdän und Wolfram

NORDNORWEGEN

Das bedeutendste Molybdän-Wolfram-Vorkommen Nordnorwegens, Laksådal(en), liegt in unmittelbarer Küstennähe, 42 km SW der Provinzhauptstadt Bodø. Es handelt sich um eine Molybdänit-Scheelitvererzung in Quarz- und Pegmatitgängen, die kaledonische Schiefer und Granite durchschlagen. Insgesamt wurden zwischen 1917 und 1920 sowie zwischen 1937 und 1945 aus zwei Stollen 36.000 t Erz mit durchschnittlich 0,25 % Mo (W-Gehalt unbekannt) gewonnen (ANONYM 1940).

Auch am Vatterfjord ging zwischen 1915 und 1918 in ca. 40 m tiefen Schächten im Syenit ein Probeabbau auf Erzlinen mit Molybdänit und Pyrrhotin um. Das gewonnene Erz enthielt zwischen 0,5 und 3,33 % MoS₂ (ANONYM 1940).

NORDSCHWEDEN

Molybdänvorkommen sind aus mehreren Gegenden rund um Gällivare bekannt; sie sind jedoch meist sehr klein. Das Nunisvare-Vorkommen liegt 5 km südöstlich von Gällivare und 400 m südlich des Flusses Vassara älv. Es ist in mehreren Gruben über 80–100 m Strecke aufgeschlossen und durchschnittlich 5 m mächtig. Der Durchschnittsgehalt beträgt 0,3 % Mo über eine Breite von 6 m. Das Vorkommen streicht E-W und fällt mit 65° nach Norden ein. Die Mineralisation besteht aus fein verteiltem Molybdänit in einem Schlierengneis mit Pegmatitgängen, umgeben von einem Gabbro-Diorit. Haupterzmineral ist Molybdänit, es treten aber auch kleine Absonderungen von Pyrit, Chalkopyrit, Magnetit und Apatit auf. Skapolith, Hornblende und Epidot sind nennenswerte Gangminerale (GRIP 1978).

Auch um Jokkmokk herum existieren zahlreiche kleine Molybdänvorkommen, die genetisch eng mit dem Lina Granit und seinen Pegmatiten verbunden sind. Molybdänit ist häufig das einzige Erzmineral in diesen Pegmatiten. Das Madaåive-Vorkommen liegt 15 km nordwestlich von Jokkmokk. Hier tritt Molybdänit als Absonderung und feine Imprägnation in einer Zone von Pegmatiten auf, die über mehrere Meter Breite und mehrere hundert Meter Länge in roten granitischen Gneisen verfolgt werden kann. Ein geringer Anteil dieser Pegmatite wurde zu Beginn der 1940er Jahre gewonnen und lieferte 20 t handsortierten Erzes mit 0,48 % Mo (GRIP 1978).

Die Mo-Mineralisation von Skarjaviken besteht aus Anreicherungen von fein verteiltem und Lagen von Molybdänit in stark serizitisierten Vulkaniten. Das Vorkommen liegt ganz im Norden einer großen Alterationszone, die sich über 20 km vom Labbas See bis nach Ardnasluokta erstreckt. Diese Zone ist durch fein verteilten Pyrit sowie Spuren von sehr feinkörnigem Molybdänit geprägt. Bei Skarjaviken ist die reichste Mineralisation an einen älteren Brekzienhorizont gebunden, der die Alterationszone

schräg anschnidet. Die Vorräte werden auf 80.000 t Erz mit max. 1,1 – 1,2 % Mo und zudem 1 % Cu geschätzt (WALSER & EINARSSON 1982).

Auf dem Polarkreis liegen die beiden kleinen Molybdänvorkommen von Björntjärn (angezeigte Ressourcen von 1,8 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,12 % Mo) und Allebuouda Lilla (Ressourcen von 250.000 t Erz mit 0,14 % Mo) (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

NORDFINNLAND

Die Rovaniemi-Ylitornio-Mo-Cu-W-Zone liegt im Norden des Peräpohja-Schiefergürtels, nur zum Teil nördlich des Polarkreises, und beinhaltet mehrere Vererzungstypen. An der Grenze der paläoproterozoischen Peräpohja-Gesteine, die dem archaischen Grundgebirge auflagern, zum jüngeren, aber ebenfalls paläoproterozoischen Zentrallapland-Granitkomplex, treten hier polymetallische Vererzungen auf. Im Westen der Zone, bei Ylitornio, wurden mehrere Molybdänitvorkommen entdeckt. Das größte davon, Kallijärvi bzw. Kivilompolo (0,4 Mio. t Erz mit 0,11 % Mo), liegt in einem migmatisierten granitischen Gneisgürtel, in dem der Molybdänit zusammen mit Chalkopyrit in Quarzgängen auftritt.

Auch das Raja-Kirakka-Scheelitvorkommen liegt bei Ylitornio und zwar in einer Skarnzone innerhalb von Amphiboliten. Der östliche Teil der Zone ist durch wenige, sehr kleine Cu-, U- und Mo-Vorkommen innerhalb von Glimmer- und Schwarzschiefern charakterisiert (SALTIKOFF et al. 2006).

Der Geologische Dienst von Finnland verzeichnet auch noch Prospektionstätigkeiten auf Molybdän bei Sarvisoaivi (Granodiorit, Mo-W), Autsasenkuru (porphyritischer Granit, Mo), Pulju (Diopsidskarn, Mo) und Tepasto (Aplit, Mo-Cu), ohne dass Ergebnisse publiziert wurden.

Prospektionstätigkeiten auf Wolfram sind von Sarvisoaivi (Granodiorit, Mo-W), Takkaselkä (Chloritschiefer, W) und Kuskoiva (Turmalinamphibolit, 300.000 t Erz mit 0,1 % W) bekannt, ohne dass auch zu diesen Vorkommen weitergehende Ergebnisse publiziert wurden.

5.1.1.8 Mangan

NORDSCHWEDEN

Das Manganvorkommen von Ultevis liegt 90 km westlich von Gällivare und wurde 1943 durch Rückverfolgung mineralisierter Geschiebe über eine Strecke von mehr als 135 km entdeckt. Die Mineralisation ist an pyroklastische und basische Vulkanite der Kiruna-Arvidsjaur-Gruppe gebunden, die auch Kieselgesteine, Jasper und Kalkstein enthält. Die Vererzung geht auf den ehemaligen Vulkanismus zurück, in dem Fe und Mn, aber auch etwas Ba und Pb aus heißen Lösungen ausgefällt und schichtgebunden oder auch fein verteilt abgelagert wurden. Es existieren jedoch auch Hämatitlagen ohne Mangan. Alle Primärminerale wurden bei der nachfolgenden Granitisierung mobilisiert und liegen nun weitgehend in Form von Erzbrekzien und Pegmatiten mit Manganmineralen vor. Bei diesen handelt es sich um Braunit, Bixbyit, Hollandit, Piemontit und Mn-Granat. Auch Mo-führender Scheelit tritt innerhalb der Grünsteinskarne auf und dürfte mit einer späteren Mineralisationsphase korrelierbar sein.

Das Mangan reiche Gebiet ist 25 km lang und N-S orientiert. Massives Erz mit 20 – 40 % Mn tritt nur an drei Stellen auf, wohingegen Erzbrekzien und fein verteilte Anreicherungen häufig sind. Alle Anreicherungen sind klein und nicht bauwürdig (GRIP 1978).

Das Manganvorkommen von Porjusvare liegt 40 km westlich von Gällivare. Hier ist das Erz an Granite und Gneise gebunden, die von den Kiruna-Vulkaniten abstammen. Das Mn ist an Mn-Granat und Rhodonit in Gneisen gebunden, tritt aber auch in Schlieren oder in Absonderungen aus feinkörnigen Feldspatgesteinen auf (GRIP 1978).

NORDFINNLAND

Die Porkonen-Pahtavaara Fe-Mn-Zone im Westen von Zentrallapland stellt eine proterozoische BIF-Formation (s. Eisen) dar. Sie gehört zum Zentrallapland-Grünsteingürtel und besteht aus Vulkaniten mit eng vergesellschafteten Pyroklastiten, chemischen Ausfällungen und Mn-haltigen Eisenformationen. Diese sind besonders in der N-S-streichenden Hügelkette von Porkonen, Pahtavaara, Silmänpaistama, Kuoreslaki und Haurespää

ausgebildet. Man unterscheidet je eine oxidische, karbonatische und sulfidische Fazies, wobei Erstere meist an der Basis, und Letztere am Top der Gesteinsabfolge ausgebildet ist. Die Eisenformationen unterliegen einer niedrig gradigen Metamorphose und sind durch typische Fe-Schichtsilikate zusammen mit Magnetit und Fe-Mn-Karbonaten charakterisiert. Die jaspilitischen Fe- und Mn-Vorkommen der Porkonen-Pahtavaara-Zone sind schon seit dem 19. Jh. bekannt. Bisher wurde allerdings nur der dort gefundene Jasper zu Dekorationszwecken genutzt (SALTIKOFF et al. 2006).

5.1.1.9 Nickel

NORDNORWEGEN

Im Zeitraum zwischen 1872 und 1886 stand auf der Insel Senja, Provinz Troms, ein kleines, 1869 entdecktes Nickelvorkommen im Untertageabbau. Insgesamt wurden aus den dort gewonnen 109.000 t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 0,87 % Ni, 0,46 % Cu, 0,066 % Co sowie 27 ppb Pd und 14 ppb Pt 950 t Nickel und 500 t Kupfer ausgebracht. Typisches Reicherz enthielt 2,5 % Ni, 0,33 % Cu, 0,13 % Co, 42,3 % Fe und 26,8 % S. Das Vorkommen ist Teil einer mehrphasigen, proterozoischen Intrusion

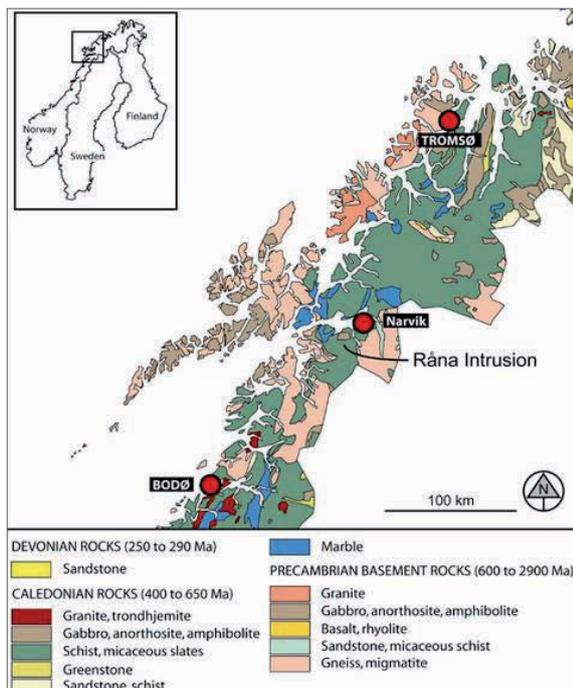


Abb. 5-44: Geologie zwischen Bodø und Tromsø mit Lage der Råna-Intrusion, Quelle: SCANDINAVIAN HIGHLANDS HOLDING A/S.

aus Leukogabbros und Anorthositen, die sehr komplex aufgebaut ist. Die Mineralisation aus Pyrrhotin, Pentlandit, Pyrit und Chalkopyrit ist in Brekzien oder fein verteilt in Gabbro- und Pyroxenitlagen am Rande der Intrusion ausgebildet. Der Haupterkörper bei Hamn ist an der Oberfläche rund 80 m lang und 15 m breit. Er keilt mit zunehmender Teufe aus (BOYD & NIXON 1985).

Auch innerhalb kleiner mafischer Linsen im präkambrischen Rombakfenster nahe Rombaksbotn, ca. 15 km östlich von Narvik, wurden Ni-Cu-Vorkommen gefunden. Diese Mineralisation besteht aus kleinen Einschlüssen massiven Ni-führenden Pyrrhotins in Amphibolitlagen in vergneistem Granit. Durchschnittsanalysen des Pyrrhotins ergaben Gehalte von 1,6 % Ni, 0,14 % Cu und 0,11 % Co (BOYD & NIXON 1985).

Am Lonkanfjord auf der Insel Hinnøy, der östlichsten der Lofoten, kommen Ni-Sulfide zusammen mit metasuprakrustalen Einschlüssen in Mangeriten vor. Die Sulfide, vorwiegend Pyrrhotin, untergeordnet auch Pyrit und Chalkopyrit, bilden feinkörnige, verteilte Anreicherungen in cm-dicken Lagen. Die Gehalte erreichen bis 0,7 % Ni, 0,25 % Cu und 0,01 % Co und 13 % S (BOYD & NIXON 1985).

Von den zahlreichen mafischen Intrusionen in den Kaledoniden hat sich herausgestellt, dass nur wenige Ni-Mineralisationen von wirtschaftlicher Bedeutung führen. So kamen Aufschlussarbeiten am kleinen Gabbrovorkommen Beiaren mit Pyrrhotin-Pentlandit-Chalkopyrit-Ilmenit-Paragenese z. B. nicht über Abraumarbeiten (1890) und eine Schachtabteufung (1893) hinaus (ANONYM 1940).

Das bisher interessanteste Vorkommen in dieser Richtung ist Råna in den Ofoten (s. Abb. 5-44). Das ca. 437 Ma alte Råna-Noritmassiv variiert in seiner Zusammensetzung von ultramafischen Kumulaten bis zu Quarz führenden Noriten. Es liegt innerhalb der stark gefalteten Glimmerschiefer der Narvikgruppe, ca. 20 km SW von Narvik. Die Oberfläche des Noritmassivs beträgt 67 km², von denen Olivin führende Gesteine 4 Vol.-%, Norite 33 Vol.-%, Quarznorite 30 Vol.-% und Granitaplite 7 Vol.-% ausmachen. Die Ultramafite bilden längliche Körper im Norit. Hierbei handelt es sich um

a) Olivinperidotite mit wechselnden Anteilen rhombischer Pyroxene, b) Enstatitgesteine mit untergeordneten Anteilen von Olivin sowie c) Troctolite mit Plagioklas.

Ni-führendes Pyrrhotinerz wurde erstmals 1912 von Bruvann aus dem Rånamassiv berichtet. Die dortigen Haupterzminerale sind Pyrrhotin (50 – 80 %), Pentlandit (10 – 35 %) und Chalkopyrit (5 – 15 %), untergeordnet auch Pyrit sowie lokal Arsenopyrit, Gersdorffit, Nickelin, Molybdänit, Cobaltit und Zinkblende. Annabergit wurde in verwittertem Erz nachgewiesen.

Zwei Erztypen werden unterschieden:

1. Bruvann-Typ mit fein verteilten, freien Sulfiden im Peridotit. Hierzu gehören die Vorkommen von Bruvann, Arneshesten und Saltvikvann. Die entsprechenden Ni-Gehalte liegen bei 0,4 – 0,6 % im Erz, davon 0,1 % in Silikaten, und 6 – 9 % im Sulfidkonzentrat. Das größte Vorkommen ist Bruvann mit einem durch eine Störungszone getrennten östlichen (Ostmalmen) und einem westlichen Erzkörper (Vestmalmen). Große Teile dieses Vorkommens besaßen ursprünglich Ni-Gehalte > 0,6 % bzw. Ni-Gehalte in Sulfidzonen von mehreren Prozent. Die bereits in den 1970er Jahren berechneten Vorräte des Bruvann-Vorkommens betragen ursprünglich 43,6 Mio. t Erz (cut-off 0,15 % Ni) mit durchschnittlich 0,33 % Ni, 0,08 % Cu und 0,015 % Co. 1985 wurden unter Annahme eines cut-off grades von 0,3 % Ni Vorräte von 26,4 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,42 % Ni, 0,1 % Cu und 0,02 % Co berechnet. Zwischen 1989 und 2002 wurden dann bei Ballangen 8,537 Mio. t Erz mit einem Gehalt von 0,52 % Ni (wechselnder cut-off 0,43 – 0,47 % Ni), 0,13 % Cu und 0,03 % Co im Tage-, wie auch im Tiefbau gewonnen (s. Abb. 5-45). Die hieraus produzierten Konzentrate enthielten 32.500 t Ni, 9.140 t Cu und 1.530 t Co. Die verbliebenen, noch gewinnbaren Vorräte wurden danach mit 9,15 Mio. t Erz



Abb. 5-45: Blick in den auf-gelassenen Bruvann-Tagebau bei Ballangen, Foto: SCANDINAVIAN HIGHLANDS HOLDING A/S.

- mit durchschnittlich 0,36 % Ni (cut-off 0,30 % Ni) bzw. 5,5 Mio. t Erz mit 0,39 % Ni (cut-off 0,35 % Ni) berechnet. Pläne, auch Olivin und Pyroxenitgesteinsschotter zu vermarkten, wurden damals nicht verwirklicht. Letzterer diente jedoch später im großen Umfang zur Renaturierung der alten Schlammteiche (Boyd & Nixon 1985, Scandinavian Highlands Holding A/S, Fennoscandian Ore Deposit Database).
2. Eiterdal-Typ mit kleinen Lagerstätten massiven Erzes im Norit. Das nicht bauwürdige Eiterdalen-Vorkommen liegt an der Basis des Norits und besteht aus einer Erzzone von wenigen hundert Metern Länge, 20 m Mächtigkeit und 1 % Ni im Erz. Das Sulfidkonzentrat enthält 1 – 4 % Ni (Bugge 1978).

Ebenfalls innerhalb der Kaledoniden liegt die niedrig gradige Nickelsulfidmineralisation von Reinfjord, Bezeichnung einer geschichteten Intrusion und Teil der 550 Ma bis 500 Ma alten Seiland-Intrusivprovinz von Nordnorwegen. Die Mineralisation mit Gehalten von 0,2 % Ni tritt an der äußeren, bis 100 m breiten Kontaktzone der Intrusion aus Pyroxeniten zu den umgebenden Granathornfelsen auf. Als Primärsulfide finden sich Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit und Pyrit, wobei ca. 50 % des Pentlandits als Lamellen im Chalkopyrit vorliegen. Da das Gelände sehr schroff und unwegsam ist, wurden

während der Prospektionskampagne in den frühen 1970er Jahren nicht ausreichend Daten für Vorratsberechnungen erhoben (BOYD & NIXON 1985).

Der mafische Komplex von Lyngen, rund 40 km östlich von Tromsø, führt kleine Serpentinikörper, die ebenfalls Nickelminerale enthalten. Vereinzelt wurden zwar Gehalte $> 1\%$ Ni analysiert, jedoch sind diese Anreicherungen sehr begrenzt (BOYD & NIXON 1985).

Der Ste-Gabbro liegt in Reisadalen, 80 km östlich von Tromsø. Er besteht größtenteils aus Feldspat führendem Hornblendegabbro mit lokal Pyroxen führenden Varietäten. Diese Gabbro-Varietät enthält auch unregelmäßige, bis 50 m breite und 600 m lange Zonen, in denen Sulfide niedriggradig und fein verteilt vorliegen. Maximal wurden Gehalte von $0,45\%$ Ni und $0,26\%$ Cu festgestellt (BOYD & NIXON 1985).

Das kleine Nickelvorkommen von Tverbrennfjell liegt in einem Gabbro von ca. 1×2 km Fläche rund 40 km SE von Bodø. Der Gabbro drang vermutlich während der kaledonischen Orogenese ein und führt mehrere bis 1 m breite, mit Sulfiden vererzte Lagen unbekannter Länge. Das Erz führt 1% Ni und $0,5\%$ Cu bzw. die Sulfide zwischen $2,75$ und $4,5\%$ Ni (BOYD & NIXON 1985).

Lilleåleiden ist ein sehr kleines Gabbrovorkommen von 40×15 m Fläche in Granatglimmergneisen rund 40 km SSE von Bodø. Die Mineralisation ist an eine bis 1 m breite und 30 m lange Zone am Südkontakt des Gabbros, dort dann fein verteilt, sowie lokal an bis 20 cm mächtige massive Sulfidlagen gebunden. Das fein verteilte Erz führt $0,9\%$ Ni, $0,3\%$ Cu und $4,25\%$ S, das massive Sulfiderz $5,5\%$ Ni, $0,8\%$ Cu und $30,25\%$ S (BOYD & NIXON 1985).

Måløy ist der Name einer kleinen Insel ca. 60 km NNE von Bodø. Auf der Südseite dieser Insel, nahe des Wasserspiegels, wurde im Jahr 1883 eine Nickelmineralisation entdeckt, die dann bis 1886 auch unter Tage abgebaut wurde, bis ein Meerwassereintrich nach wenigen Jahren die tiefsten Strecken überflutete. Insgesamt sollen rund 200 t handsortiertes Reicherz ausgebracht worden sein.

Die beiden Hauptgesteinstypen auf Måløy sind Glimmerschiefer und Marmor. Im Schiefer treten konkordant dunkelgraue, häufig Granat führende Amphibolitlagen von bis 0,5 m Mächtigkeit auf. Die Lagen sind stark verfaultet und fallen zwischen $30 - 60^\circ$ nach SW ein. Die Vererzung ist an Gang- und Kluffüllungen im Marmor sowie an reiche Imprägnationen in den Amphiboliten gebunden. Die kompakten Gänge im Marmor besitzen zwischen 1 und 3 m Breite. Eine Analyse aus einem typischen Gang lieferte Gehalte von $5,5\%$ Ni, $0,28\%$ Cu, $0,11\%$ Co und $36,6\%$ S. Die einst vornehmlich im Abbau stehenden Amphibolite konnten nur noch auf den Halden beprobt werden und erbrachten Gehalte von $3,0\%$ Ni, $0,4\%$ Cu, $0,08\%$ Co und $15,7\%$ S. Bohrungen im vermuteten Einfallen des Vorkommens im Jahr 1973 konnten diese Gehalte mit zunehmender Teufe nicht mehr auffinden (BOYD & NIXON 1985).

Weitere potenziell interessante Ni-Vorkommen in der Arktis Nordnorwegens, die alle noch näher exploriert werden müssen, sind nach der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE:

- Rømlingsås, wo ein Harzburgit des Krokfjell-Komplexes Ni und Cu führt,
- Gallujav'ri, Bezeichnung einer 5 km langen und maximal 500 m mächtigen ultramafischen Intrusion im Karasjok-Grünsteingürtel. Diese enthält als nennenswerte Minerale Pentlandit, Pyrrhotin, Chalkopyrit, Violarit, Mackinawit, Magnetit, Bravoit, Pyrit, Covellin, Rutil, Altait, Melonit, Elektrum, Gold, Hämatit, Chromit, Ilmenit, Baryt, Arsenopyrit, Nickelin, Cubanit, Markasit, Zinkblende und Hessit. Die Gehalte an Wertelementen betragen $0,2\%$ Cu, $0,13\%$ Ni, $0,01\%$ Co, $0,2$ ppm Pt und $0,2$ ppm Pd.

NORDSCHWEDEN

Nur drei der zahlreichen, im Vergleich zu Finnland und der Kola-Halbinsel jedoch meist kleinen Nickelvorkommen Schwedens, liegen nördlich des Polarkreises. Diese sind nach NILLSON (1985):

- Furuberget, ein differenzierter Lagergang mit Gehalten von $0,3\%$ Ni, $0,03\%$ Co, $0,16\%$

Cu und 5,8 % S. Der Inhalt an Nickel- bzw. Kupfermetall liegt bei 170 t bzw. 90 t.

- Kukasjärvi, ein in den 1970er Jahren entdeckter, metamorph überprägter, ultramafischer Lagergang in teils graphitischen und sulfidischen Metasedimenten mit Gehalten von 0,4 % Ni, 0,02 % Co, 0,4 % Cu und 8,0 % S. Die Metallinhalte betragen 10.400 t Ni und 9.800 t Cu.
- Fiskelträsk, in der gabbroiden Übergangszone eines Granodioritkörpers mit Gehalten von 0,2 % Ni, 0,02 % Co, 0,2 % Cu und 3,2 % S. Die Metallinhalte belaufen sich auf jeweils 11.000 t Ni und Cu.

NORDFINNLAND

Der Pulju-Nickelerzdistrikt besitzt eines der größten Ni-Potenziale in Lappland. Es stellt eine definierte, ca. 100 km lange und 1 – 2 km breite Zone im zentralen Nordlappland dar und wurde durch aeromagnetische Untersuchungen entdeckt. Die Zone streicht im Norden fast genau N-S, biegt dann aber nach SW um und gabelt sich ganz im Süden. Der Distrikt setzt sich aus zehn kleinen, niedriggradigen Ni-Vorkommen komatiitischen Typs zusammen. Die größten Einzelvorkommen sind Hotinvaara (1,267 Mio. t Erz mit 0,43 % Ni und < 0,1 % Cu) und Iso-Siettelöjoki (0,5 Mio. t Erz mit 0,29 % Ni und 0,01 % Cu), wobei noch weitere potenzielle Vorkommen um Kietsimä im Norden erwartet werden (SALTIKOFF et al. 2006).

Die Nirroselkä-Nickelzone streicht NW-SE und kann über mehr als 70 km an der Nordgrenze Zentrallapplands, am Rand des Lappland-Granulitgürtels verfolgt werden. Die Zone besteht aus einer Amphibolitabfolge mit ultramafischen komatiitischen Gesteinen, Glimmerschiefern, Quarziten und Eisensteinen. Alle der bisher entdeckten und näher untersuchten Nickelvorkommen in dieser Zone haben ungefähr die gleiche Größe und den gleichen Gehalt (10.000 t Erz mit 0,15 % Ni und 0,01 % Cu). Die Nirroselkä- und Pulju-Zonen sind sich in vielem ähnlich und vereinigen sich auch fast an ihren Nordenden (SALTIKOFF et al. 2006).

Das Ruossakero-Nickelerzgebiet liegt bei Enontekiö in NW Lappland inmitten eines archaischen Grünsteingürtels aus mafischen Vulkaniten und Vul-

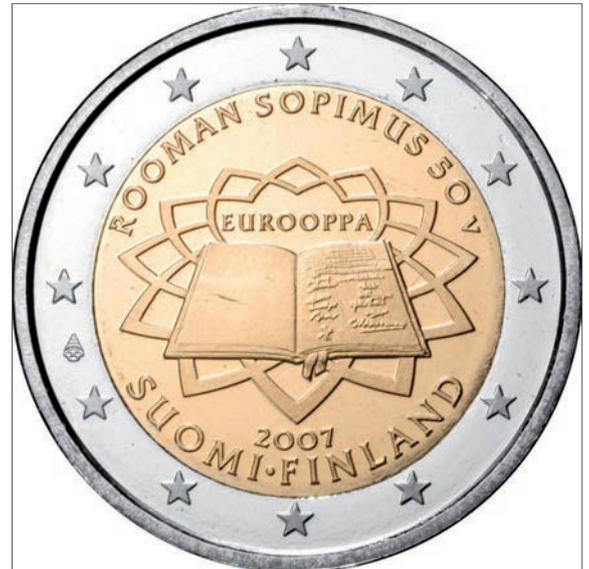


Abb. 5-46: 2-Euro Münze aus Finnland mit Ring aus Cu-Ni und Pille aus Ni mit Ni-Messing plattiert, Foto: WWW.MUENZBLOG.DE.

kanoklastiten. Die zwei größten Einzelvorkommen, Ruossakero (5,44 Mio. t Erz mit 0,53 % Ni [cut-off 0,4 % Ni], 0,028 % Co und 0,02 % Cu) und Sarvisoaivi (0,7 Mio. t Erz mit 0,40 % Ni und 0,05 % Cu), sind mit serpentinierten Peridotit- und Dunitkörpern komatiitischer Zusammensetzung vergesellschaftet. Das Vorkommen reicht im Süden bis nach Schweden, wo zwei ähnliche Vorkommen, Kurkovare und Keukiskero, entdeckt wurden. Das verzerte Gebiet erstreckt sich daher über rund 75 km. Auch der große Kaamajoki-Tshohkkoaiivi Gabbro-Peridotit-Körper nahe Ruossakero könnte mit dieser Ni-Vererzung in Zusammenhang stehen (SALTIKOFF et al. 2006).

Die geschichtete Intrusion von Keivitsa/Kevitsa liegt in Zentrallapland, 34 km nördlich von Sodankylä. Sie bildet den Westteil des großen Keivitsa-Satovaara-Komplexes und liegt rund 800 m südlich der 2,44 Ga alten Koitelainen-Intrusion.

Die Keivitsa-Intrusion wurde erst vom Geologischen Dienst von Finnland zwischen den Jahren 1984 und 1995 in drei Phasen exploriert und dann von einem Bergbauunternehmen übernommen. Sie drang vor ca. 2,057 Ga ein, umfasst ca. 5 x 4 km² Fläche, ist röhrenförmig und fällt nach S bis SW ein (vgl. Platingruppenmetalle).

Lithostratigrafisch werden vier Zonen unterschieden. Diese sind vom Liegenden zum Hangenden: die Randzone, die ultramafische Zone, die Gabbrozone und die Granophyrzone. Die > 1.000 m mächtige ultramafische Zone enthält in ihrem oberen Teil und im NE der Intrusion eine große, niedriggradige Sulfidvererzung (Keivitsansarvi-Vorkommen). An der Oberfläche besitzt diese Vererzung 13,4 ha Fläche und wurde bis in > 400 m Teufe nachgewiesen. Olivinpyroxenite und ihre metamorphen Äquivalente bilden die Muttergesteine.

Das Sulfidvorkommen wird in einen Haupterzkörper und einen hangenden oberen Erzkörper unterteilt. In Abhängigkeit vom Metall- und Schwefelgehalt werden vier, häufig ineinander übergehende Erztypen unterschieden:

- Reguläres Erz mit durchschnittlich 0,4 – 0,6 % Cu, 0,2 – 0,4 % Ni, 0,015 % Co, 0,5 – 3,0 % S und ca. 0,5 – 1,0 ppm Pt+Pd+Au. Der Ni-Gehalt der Sulfidfraktion liegt bei 4 – 7 %.
- Falsches Erz mit < 0,1 % Ni (> 4 % in der Sulfidfraktion) und > 5 % S sowie fließenden Übergängen in ein Netzwerk aus Sulfidadern.
- Ni-PGM-Erz mit 0,5 – 1 % S, > 0,5 % Ni (40 – 60 % Ni in der Sulfidfraktion), > 1 (bis 26,75) ppm PGM, < 0,1 % Cu und < 0,13 ppm Au.
- Übergangserz zwischen regulärem und Ni-PGM-Erz.

Die wichtigsten Sulfidminerale in Keivitsa sind Troilit, hexagonaler Pyrrhotin, Pentlandit und Chalkopyrit, mit untergeordneten Anteilen von Cubanit, Talnakhit und Magnetit sowie einer Vielzahl von anderen Mineralphasen. Das Ni-PGM-Erz besitzt eine etwas andere Paragenese mit Pentlandit, Pyrit und Chalkopyrit sowie untergeordnet, lokal aber reichlich Pyrrhotin, Millerit, Heazlewoodit, Nicellin, Maucherit und Gersdorffit (vgl. Platingruppenmetalle). Das Ni-PGM-Erz enthält auch Graphit, während Magnetit seltener ist.

Zu den Ressourcen und Reserven s. Kap. 5.1.1.5.

5.1.1.10 Chrom

NORDFINNLAND

Im Norden Finnlands wurden Anreicherungen von Chrom in den geschichteten mafischen bzw. ultramafischen Intrusionen von Koitelainen, Akanvaara und Keivitsa (s. Platingruppenmetalle bzw. Nickel) nachgewiesen (s. Abb. 5-47). Die in Abb. 5-47 ebenfalls dargestellte Tsohkkoaivi-Intrusion bezeichnet einen Hügel im äußersten NW Finnlands, der zwar selbst aus archaischen Schiefen aufgebaut, aber von gabbroiden Gesteinen und Pyroxeniten umgeben ist. Die dort festgestellten Gehalte an PGM, Ni und Cr sind jedoch sehr niedrig.

Der Koitelainen-PGM-Cr-V-Fe-Distrikt in Zentral-lappland umfasst eine rund 2.440 Ma alte, ovale, flach lagernde Intrusion von 26 x 29 km Fläche und rund 3 km Mächtigkeit. Die Koitelainen-Intrusion entspricht dabei dem Standardtyp einer geschichteten mafischen Intrusion und enthält unter 1 bis 6 m Abraum Anreicherungen von Cr, V, Ti, PGM und Au. Chromititlagen kommen zumeist am Top (Oberer Chromitit), aber auch an der Basis der Intrusion (Unterer Chromitit) vor (vgl. Abb. 5-48). Der Obere Chromitit besitzt wechselnde Mächtigkeiten von 0,75 – 2,18 m, durchschnittlich 1,2 m, und ist über eine streichende Länge von 60 km verfolgbar. Am Top der Intrusion ist auch ein V-haltiger Magnetitgabbro ausgebildet. Schätzungen aufgrund lagerstättengeologischer Analogien und der Auswertung der wenigen vorhandenen Bohrungen gehen von geologischen Vorräten im Oberen Chromitit von insgesamt 70 Mio. t Erz mit durchschnittlich 21 % Cr₂O₃, 0,4 % V und 1,1 ppm PGM aus. Der Untere Chromitit enthält dagegen nur rund 2 Mio. t Erz (SALTIKOFF et al. 2006). Die der Koitelainen-Intrusion nicht nur vom Alter her sehr ähnliche Akanvaara-Intrusion liegt rund 80 km SE von dieser und bedeckt rund 50 – 55 km² Fläche. Aufgrund der wenigen Aufschlüsse in dem moorigen Gelände wurde die Intrusion erst spät entdeckt und ist wenig exploriert. Sie drang vor rund 2,43 Ga in ältere suprakrustale Gesteine, meist saure Vulkanite, ein und besteht aus einer ca. 3.100 m mächtigen Abfolge verschiedener Gabbros, Anorthosite, Bronzite, Pyroxenite, aber auch Apatitdiorite und saurer Granophyre (s. Abb. 5-49). Bis heute wurden in der Akanvaara-Intrusion 23 Chromititlagen

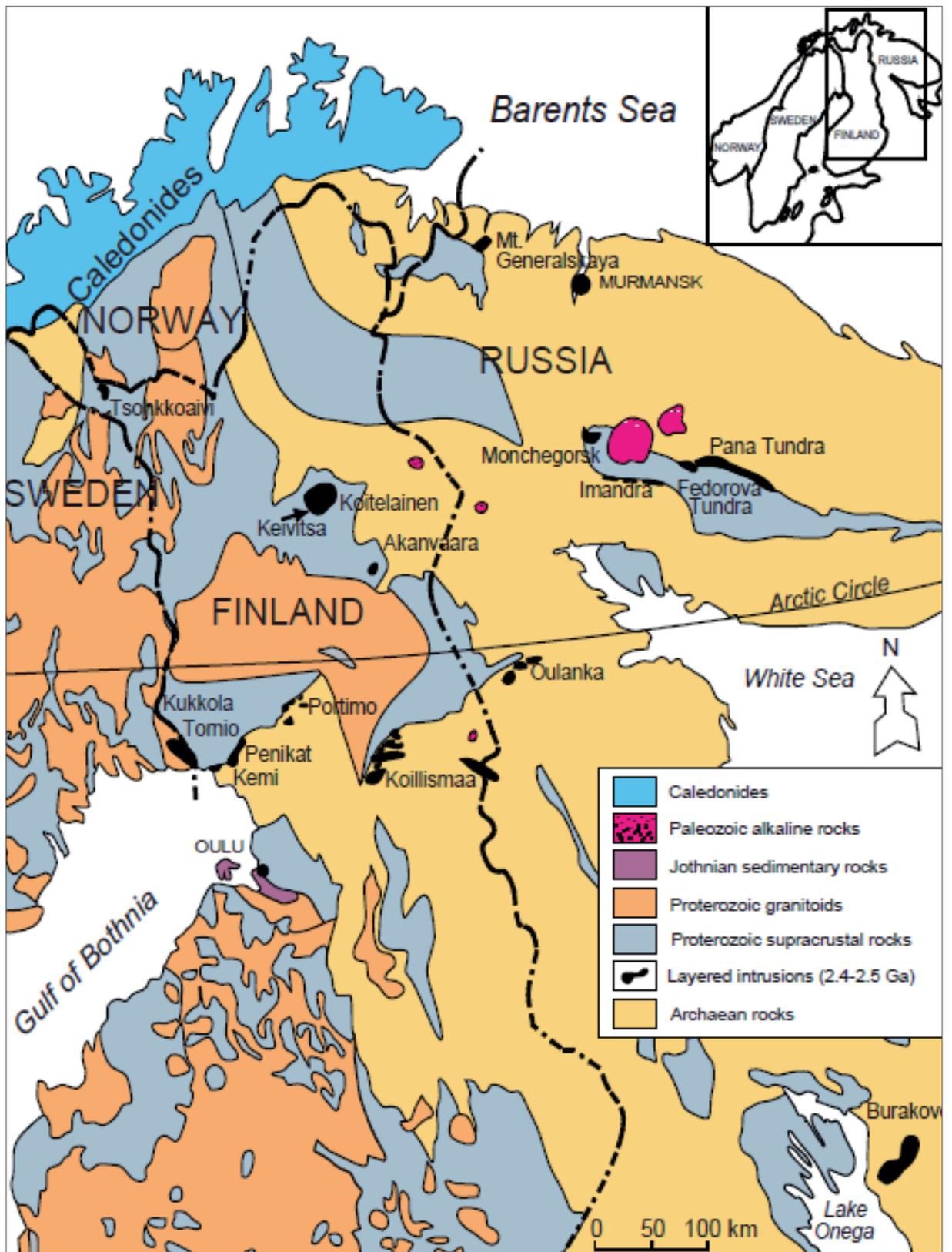


Abb. 5-47: Geologische Übersichtskarte des Nordostteils des Fennoskandischen Schildes mit Lage der wichtigsten paläoproterozoischen geschichteten Intrusionen, aus ALAPIETI (2005).

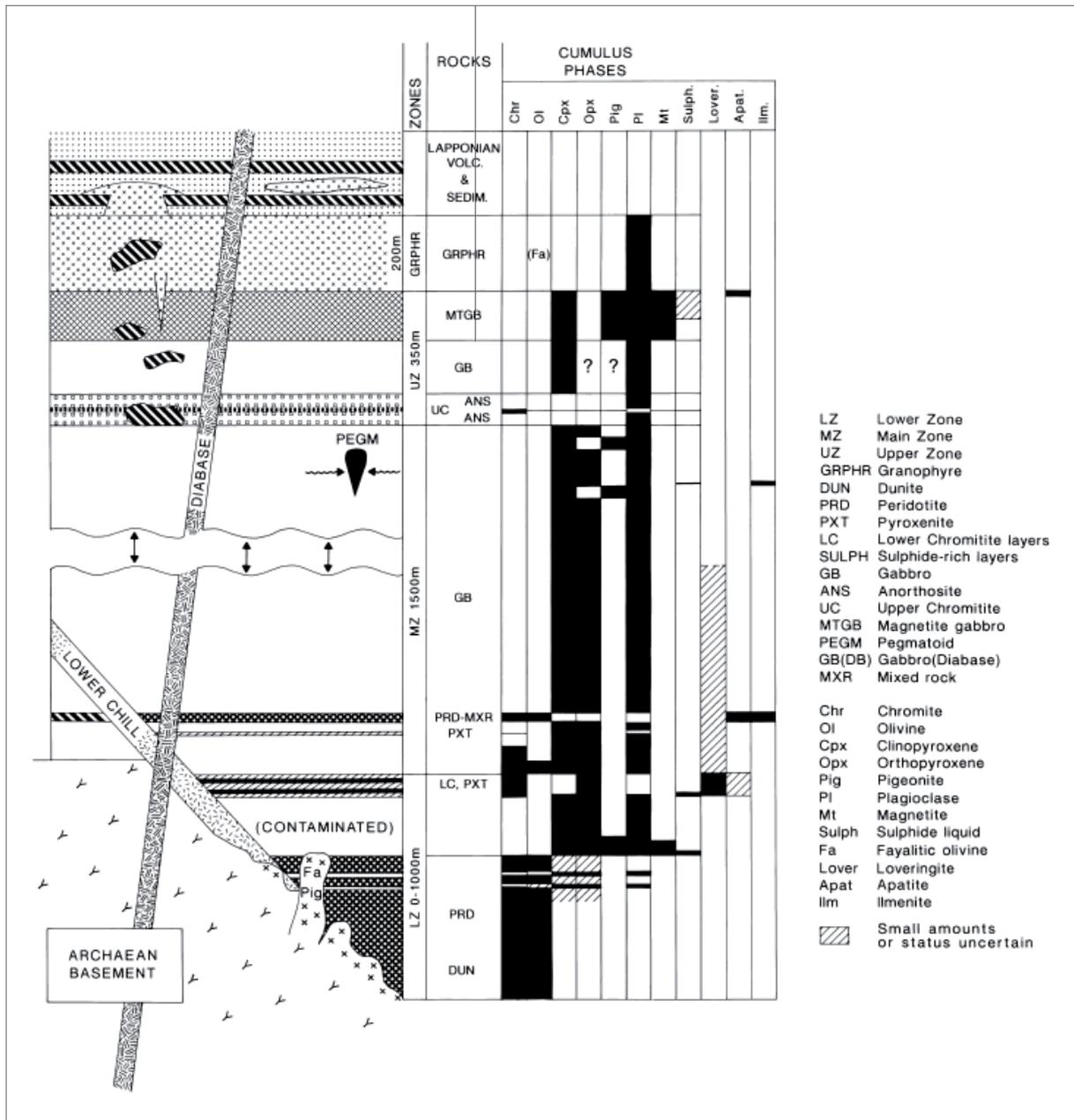


Abb. 5-48: Gesteinseinheiten und kumulierte Stratigraphie der Kvitelainen-Intrusion, aus MUTANEN (1997).

gezählt. Hiervon besitzt z. B. die Obere Chromititlage zwischen 0,64 bis 1,79 m durchschnittlich 1,14 m Mächtigkeit. Das massive Chromititzerz enthält durchschnittlich 22,8 % Cr_2O_3 , 2,4 % TiO_2 , 5 % MgO , 1,5 % K_2O , 0,4 % V, 320 ppm Ni und 0,91 ppm PGM. Die meisten PGM (Laurit, Os-reicher Laurit, Hollingworthit, Sperryolith) kommen als Einschlüsse im Chromit vor (Mutanen 1997). Die geschätzten Erzvorräte betragen für die Unteren Chromititlagen (LC) 27 Mio. t, für die höchste

Untere Chromititlage (ULC) 10 Mio. t und für die Obere Chromititlage 18,1 Mio. t (vgl. Abb. 5-50).

5.1.1.11 Niob

NORDFINNLAND

Der rund 360 Ma alte Sokli-Karbonatit-Komplex in Ostlappland, 15 km westlich der Grenze zu Russland, wurde erst 1967 durch Aerogeophysik entdeckt, da er bis auf wenige Randbereiche von 0,5 bis 60 m mächtigem Moränenmaterial bedeckt ist.

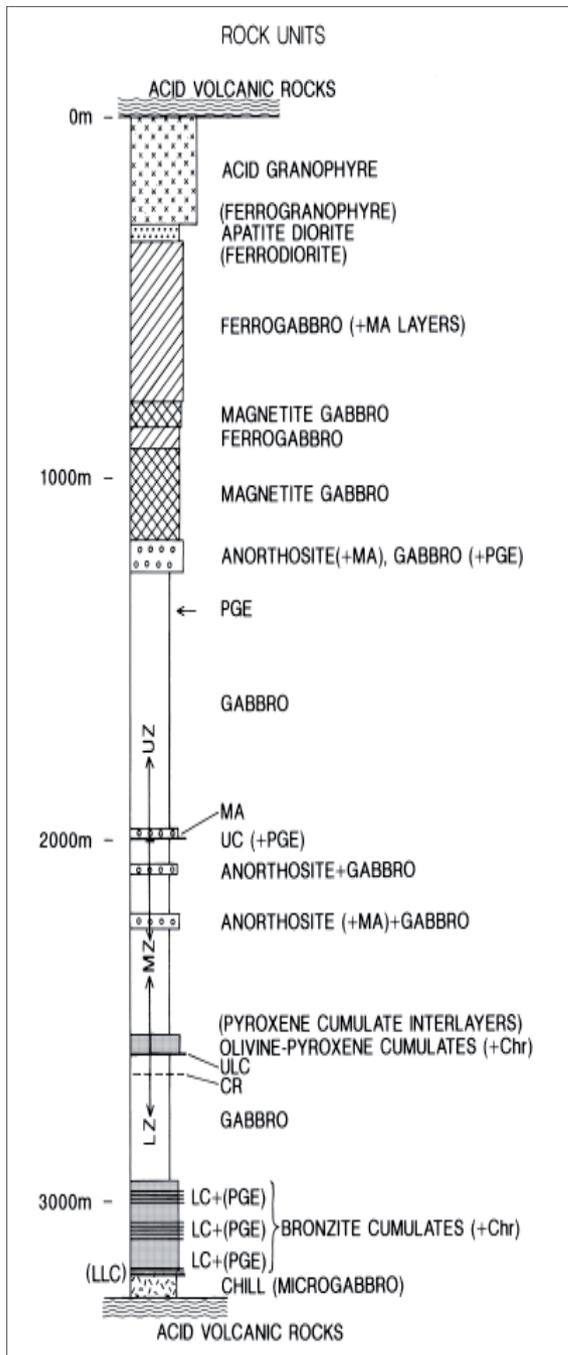


Abb. 5-49: Stratigrafie der Akanvaara-Intrusion, aus MUTANEN (1997).

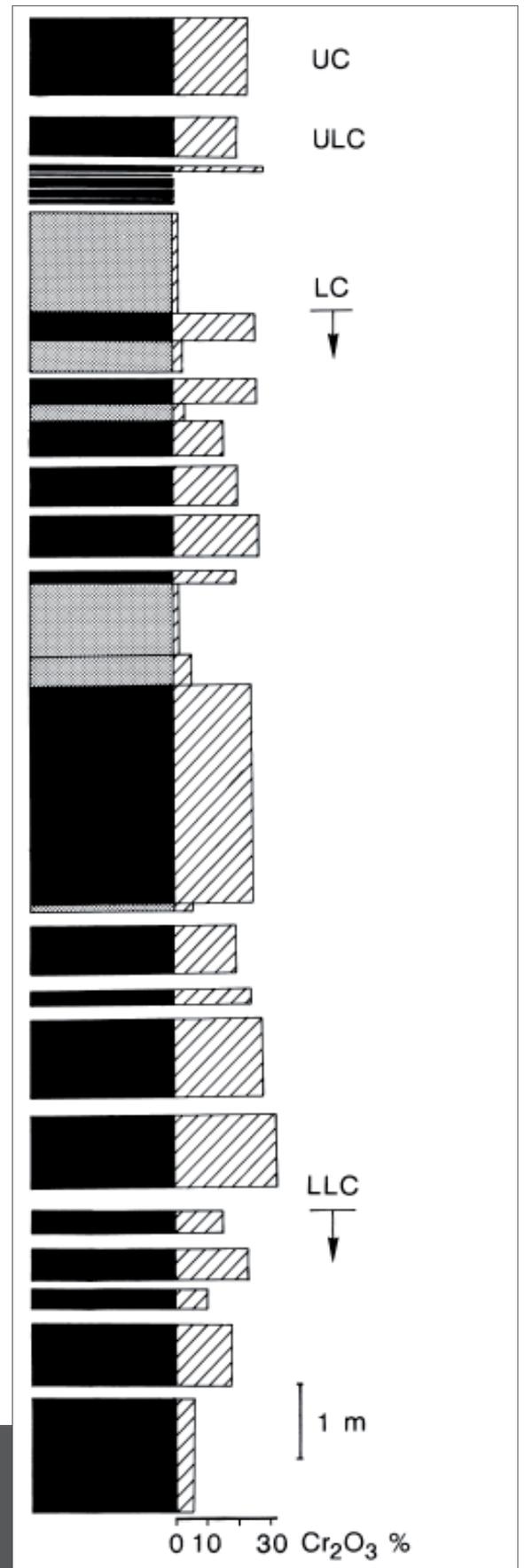


Abb. 5-50 (rechts): Mächtigkeit und Gehalt der Akanvaara-Chromititlagen. UC-Oberer Chromitit, ULC-Oberster Unter Chromitit, LC-Untere Chromititlagen, LLC-Unterste Untere Chromititlagen, aus MUTANEN (1997).

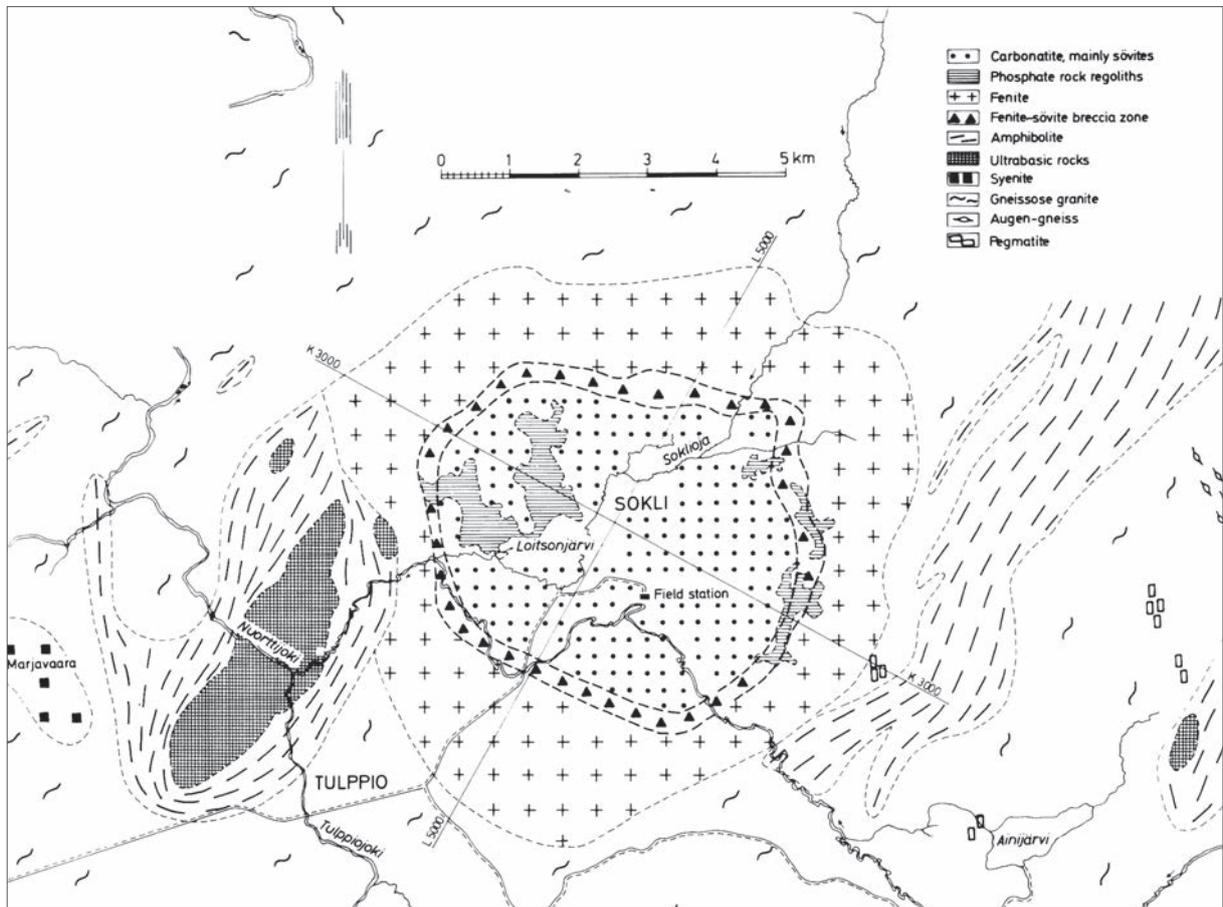


Abb. 5-51: Lage des Sokli-Karbonatit-Komplexes in der Alkaligesteinsprovinz der Kola-Halbinsel. Schwarze Punkte stellen bekannte Alkaligesteinskomplexe dar, aus VARTIAINEN (1989).

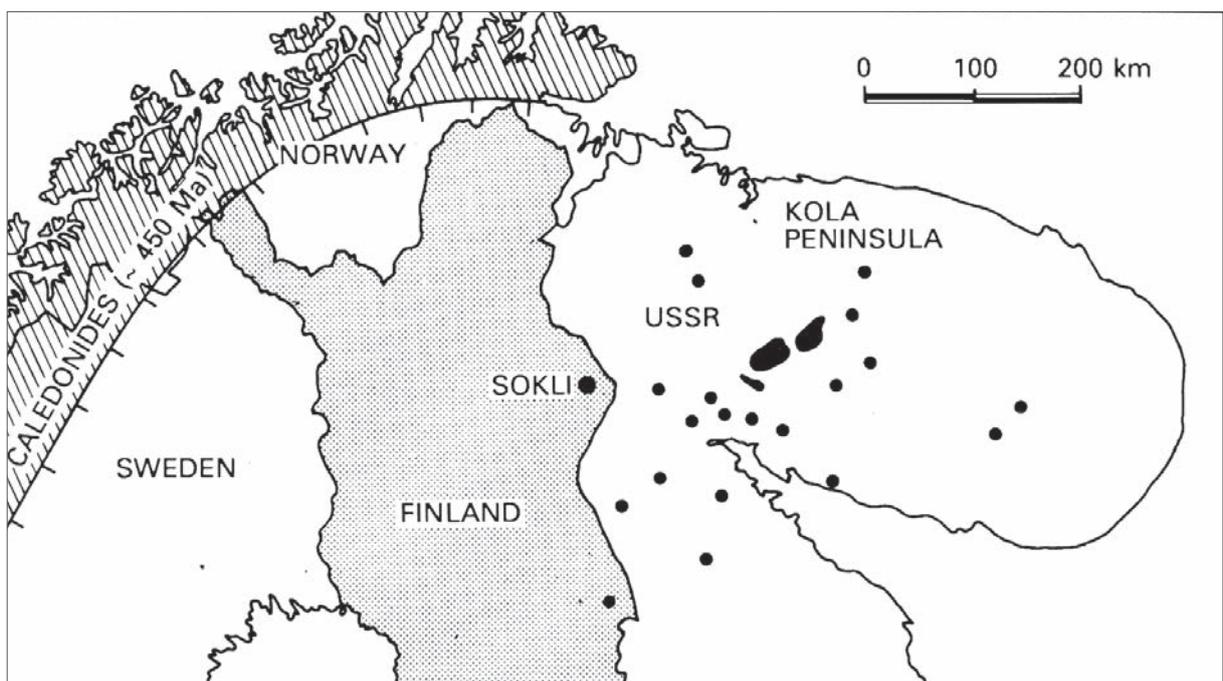


Abb. 5-52: Geologische Karte der Umgebung von Sokli, aus ISOKANGAS (1978).

	Meta- somatite	Meta- karbonatite	Magmatische Karbonatite
P_2O_5	5,0	4,0	3,5
SiO_2	29,0	10,5	2,0
TiO_2	1,0	1,0	0,1
Al_2O_3	6,0	2,0	0,4
Fe_2O_3	9,5	9,0	4,5
FeO	5,0	4,0	2,0
MnO	0,3	0,5	0,5
MgO	11,0	10,0	5,0
CaO	20,0	34,0	47,0
K_2O	3,5	1,5	0,5
CO_2	9,0	23,0	34,0
S	0,7	0,5	0,5
Nb	0,01	0,02	0,15

Tab. 5-4: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung (in M.-%) der Metasomatite, Metakarbonatite und magmatischen Karbonatite des Sokli-Karbonatit-Komplexes, aus VARTIAINEN (1989).



Abb. 5-53: Berg Høgtuva nahe Rana, Provinz Nordland, Foto: SANDIVAS/WIKIPEDIA.

Bis zum Jahr 1975 wurde er dann intensiv exploriert, wobei wirtschaftlich interessante Vererzungen von Apatit, Zirkon und Pyrochlor nachgewiesen werden konnten. Der Sokli-Karbonatit-Komplex, der zur Alkaligesteinsprovinz der Kola-Halbinsel zählt (s. Abb. 5-51) und rund 50 km nordwestlich des Kovdor-Komplexes liegt (s. Kola-Halbinsel, Eisen), enthält in seinem zentralen Teil eine Karbonatitintrusion mit einer kreisförmigen, 18 km² großen

Oberfläche. Mit einem Durchmesser von 5 km stellt sie die größte Karbonatitintrusion der Erde dar.

Der Sokli-Karbonatit besteht zum größten Teil aus Sövit und brekziiertem Phoscorit (Gestein aus Apatit, Magnetit, Phlogopit, Forsterit und Karbonat). Der 4,5 km² große Karbonatitkern wird, getrennt durch metakarbonatische und metasomatische Übergangsgesteine, ringförmig von einer 2 bis 3 km breiten Zone von Fenit umgeben, wobei der Kontaktbereich zum Karbonatit stark brekziiert ist (Abb. 5-52). Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Gesteine des Sokli-Karbonatits sind Tab. 5-4 zu entnehmen. Zahlreiche Gänge von Karbonatit und Kimberlit durchschlagen den Komplex. Die Karbonatitgänge führen die leichten Seltene-Erden-Mineralen Ancylyt und Rhabdophan. Das Nebengestein besteht aus Orthogneis, Amphibolit, Hornblendeschiefer, Ultrabasit und Syenit des Archaikums.

Der Phoscorit enthält die wirtschaftlich interessanten Minerale Apatit, Pyrochlor, Magnetit, Baddeleyit und Zirkon. Die Erze sind in der bis 60 m Tiefe reichenden Verwitterungszone angereichert. Die mittleren Gehalte im Phoscorit betragen 8 % P, 20 – 40 % Fe, 2 % Zr und 0,2 % Nb (Busch 1977). Nach Isonkangas (1978) betragen die Erzvorräte > 50 Mio. t mit einem Durchschnittsgehalt von 19 % P₂O₅. Weiterhin enthält der Phoscorit 20 – 25 % Magnetit bzw. 2 % Ti und 0,1 % Zn. Erhöhte Gehalte an SEO werden vermutet.

5.1.1.12 Seltene Erden

NORDSCHWEDEN

Zur Führung der Apatit-Eisenerze Nordschwedens an Seltenen Erden liegt eine ausführliche Dokumentation vor PARÁK (1973) vor. Hiernach sind die dort nachgewiesenen leichten Seltenen Erden fast ausschließlich an den Apatit gebunden, wo sie im Kristallgitter und in Einschlüssen aus Monazit auftreten. Ausgewählte Ergebnisse der chemischen Analysen von aufbereiteten Apatiten aus den nordschwedischen Eisenerzen sind in Tab. 5-5 zusammengestellt.

	Fe	P	F	Cl	Th	U	SEE
	M.-%				ppm		
Kirunavaara	4,89	13,70	2,46	0,06	27	2,5	6.550
Haukivaara	17,63	11,17	2,44	0,03	28	11	5.295
Rektorn	29,46	4,91	1,07	0,04	16	12	3.275
Henry	43,26	6,53	1,26	0,04	40	13	5.210
Lappmalmen	11,02	12,61	2,60	0,05	90	10	5.890
Nukutusvaara	1,50	15,07	3,05	0,03	51	8,5	6.730
Malmberget	1,7	16,5	2,73	0,67	-	-	5.760
Leveäniemi	3,49	7,97	1,07	0,85	49	4,8	1.545

Tab. 5-5: Chemische Zusammensetzung (Auswahl) von Apatitkonzentraten aus Apatit-Eisenerzlagerstätten in Nordschweden, nach PARÁK (1973).

5.1.1.13 Beryllium

NORDNORWEGEN

Am Berg Høgtuva, im Rødingsfjell-Deckenkomplex der Kaledoniden, wurde in granitischen Gneisen eine linsenförmige Mineralisation mit seltenen Metallen nachgewiesen. Die Vorräte betragen 350.000 t Erz mit Gehalten von 1,3 % Zr, 0,18 % Be, 321 ppm U und 606 ppm Nb bzw. 500.000 t Erz mit 500 ppm Th. Träger der Seltenen Metalle sind die Minerale Zirkon, Magnetit, Høgtuvaite, Phenakit, Thorit, Uraninit, Fergusonit, Euxenit, Arsenopyrit, Thalenit, Yttrialith, Tysonit, Cassiterit, Wolframit, Ilmenit, Zinkblende, Bleiglanz, Molybdänit, Chalkopyrit, Pyrit, Pyrochlor und Allanit (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

5.1.1.14 Uran

NORDNORWEGEN

Am Rande des Orrefjell-Grundgebirgsfensters, rund 60 km nördlich von Narvik, wurde Ende der 1950er Jahre in Alaskitpegmatiten, aber auch in grobkörnigen granitischen Gneisen, eine Mineralisation mit fein verteiltem Uraninit und Uranophan nachgewiesen (vgl. Abb. 5-54). Diese ist bis heute Ziel umfangreicher Explorationskampagnen (SCANDINAVIAN HIGHLANDS HOLDING A/S). Nach den bisherigen Ergebnissen lässt sich die Vererzung über 2 km streichende Länge und maximal 20 m Mächtigkeit nachweisen. Die Erzvorräte betragen rund 150.000 t mit einem Durchschnittsgehalt von 615 ppm U.

Bei Njallaavzi, in der Finnmarksvidda an der Grenze zu Schweden, wurde Mitte der 1950er Jahre in Al-

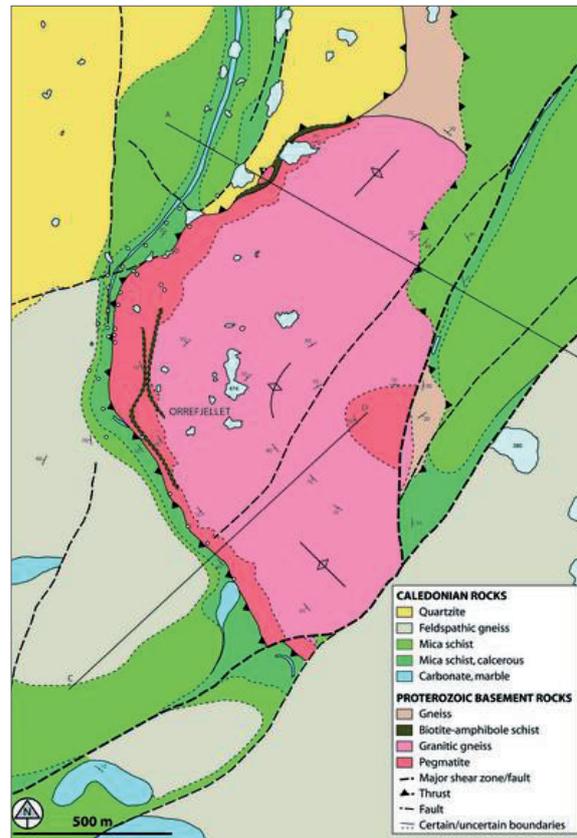


Abb. 5-54: Geologische Karte des Orrefjell-Grundgebirgsfensters inmitten allochthoner kaledonischer Decken, Quelle: SCANDINAVIAN HIGHLANDS HOLDING A/S.

bit-Karbonatbrekzien des Cier'te-Grünsteingürtels ein Calcitgang mit Anreicherungen von Uraninit, Hämatit, Chalkopyrit, Pyrit, Uranophan, Liebigit und Magnetit gefunden. Obwohl Handstücke bis 0,6 % U enthalten können, liegen die Durchschnittswerte eher bei 700 ppm U. Die Erzvorräte sind sehr klein (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Ein weiteres Vorkommen mit disseminiertem Uraninit und Zirkon in granitischen Gneisen befindet sich bei Harelifjell nordöstlich Fauske. Die Gehalte liegen bei 1.000 – 2.000 ppm U, jedoch sind die Vorräte ebenfalls gering (NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE MALMDATABASEN).

NORDSCHWEDEN

Ein kleines Uranvorkommen mit geschätzten Vorräten von 30.000 t Erz liegt bei Manak, 19 km nördlich des Dorfes Tjamotis bei Jokkmokk. Hier sind Pegmatitgänge mit Uraninit über 2 km streichende Länge anhand von Geschieben verfolgbare, jedoch nur in kleinen Bereichen auch direkt an der Erdoberfläche anstehend. Die Vorräte werden auf 30.000 t Erz mit 800 ppm U geschätzt.

Die Skåpie, früher auch als Skuppesavon Syd bezeichnete Uranvererzung liegt auf der Breite des Polarkreises. Weitergehende Informationen sind nicht bekannt, jedoch sollen die vermuteten Ressourcen bei 304.000 t mit durchschnittlich 760 ppm U und die angezeigten Ressourcen bei 674.000 t Erz mit durchschnittlich 690 ppm (cut-off grade 300 ppm) U liegen (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Das noch relativ unbekanntes Labbas-Vorkommen gehört zur Arvidsjaur-Arjeplog-Uranprovinz. Es wurde in den 1970er Jahren durch Lesesteinkartierungen, Bohrungen und Analyse von Torfproben näher untersucht. Danach wird das Gebiet um Labbas von Pegmatit reichen geschichteten Granitoiden dominiert, die von Amphibolitgängen durchschnitten werden. In diesen beiden Gesteinstypen findet sich auch die linsenförmige Mineralisation mit einer maximalen Ausdehnung von 100 m in der Länge, 2 m in der Breite und 2 – 5 m in der Teufe. Der Durchschnittsgehalt liegt bei 0,1 % U_3O_8 , die nachgewiesenen Vorräte bei 88 t Uran (STUPP 2007).

Ebenfalls nördlich des Polarkreises wurden 1958 bei der Uranprospektion in einem Torfgebiet nordwestlich von Masugnsbyn radioaktive Anomalien entdeckt. Noch im gleichen Sommer bis in das Jahr 1960 hinein wurden daraufhin das Torfvorkommen und v. a. auch die in diesem Raum entspringenden Quellen mittels insgesamt 70.000 Analysen (u. a. Th, U, Ra) untersucht. Die Quelle mit der stärksten Schüttung im ganzen Gebiet liefert 7,2 m³/h

und führt 110 µg U/l. Durchschnittlich schütten die Quellen im zentralen Torfgebiet Wässer mit 100 µg (= 0,01 ppm) U/l. Der Torf (getrocknet) mit der höchsten Radioaktivität enthält 3,1 % U. Der Durchschnitt von 445 untersuchten Torfproben lag bei 600 ppm U bei einem Aschegehalt von 33 %. Der Humus enthält also durchschnittlich 900 ppm U. Es wird vermutet, dass das Uran mittels Grundwasser aus den Klüften in den liegenden Gesteinen (Granite und Pegmatite) ausgetragen und seit Beginn des Holozäns im Humus des darüber lagernden Torfes durchschnittlich 9.000-fach angereichert wird (ARMANDS 1967).

Bereits seit dem Jahr 1897 sind bei Kopparåsen, im äußersten Nordwesten Nordschwedens, niedriggradige polymetallische Sulfidimprägationen, v. a. von Cu und Zn, in Metasedimenten inmitten basischer Vulkanite des dortigen Grünsteingürtels bekannt (s. Abb. 5-55). 1963 wurde entdeckt, dass mit diesen Imprägationen auch eine Mineralisation von Uran verbunden ist, die zwischen 1968 und 1970 detailliert erkundet wurde (ADAMEK 1975). Es handelt sich um 1 bis 10 mm dicke, stets schichtungskonkordante Vererzungen von Uraninit (mit Pyrit, Pyrrhotin, Bleiglanz und Arsenopyrit) in Meta-Tuffiten mit Gehalten zwischen 0,01 und 1,28 % U. Vorratsberechnungen wurden bisher nicht publiziert.

NORDFINNLAND

Die Kesänkitunturi-Uranzone im westlichen Teil des Kittilä-Distrikts umfasst zwei Typen von Uranmineralisationen – den eigentlichen Kesänkitunturi-Typ und die Uranmineralisationen, die in Zusammenhang mit den Cu-Au-Vorkommen der Kittilä-Zone stehen, besonders bei Pahtavuoma (s. Kupfer).

Der Kesänkitunturi-Sandstein-Typ ist Teil einer paläoproterozoischen Orthoquarzit-Serizitquarzit-Abfolge; die Kumpu-Quarzite überlagern diskordant die verstellten Kittilä-Grünsteine. Die geologischen in situ-Vorräte bei Kesänkitunturi beinhalten Erz mit Durchschnittsgehalten von 600 ppm U bzw. mit bis zu 950 t U-Inhalt. Einziges U-Mineral ist Uraninit. Da das Vorkommen innerhalb eines Naturschutzgebietes liegt, ist ein Abbau jedoch nicht möglich (SALTIKOFF et al. 2006).

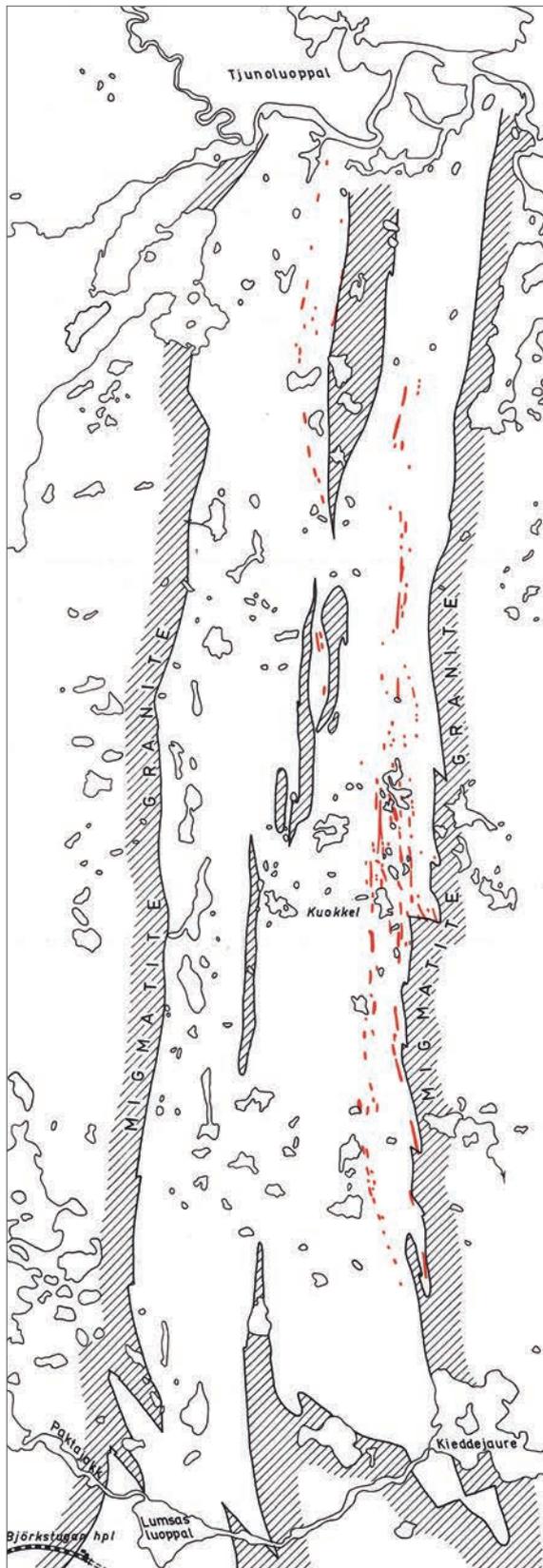


Abb. 5-55: Radioaktive Anomalien (in rot > 100 µ R/h) im Kopperåsen-Grünsteingürtel, aus ADAMEK (1975).

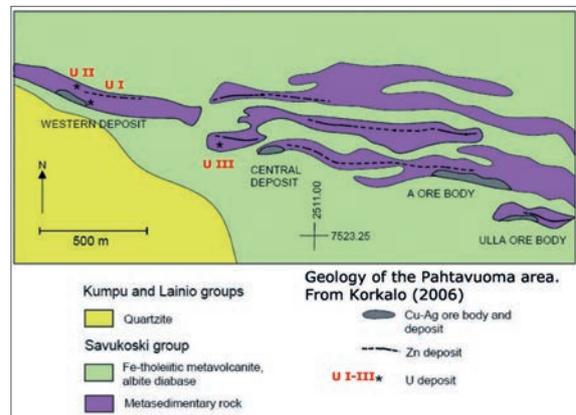


Abb. 5-56: Geologischer Überblick des Pahtavuoma-Erzfeldes mit Lage der Erzvorkommen, Quelle: GEOLOGISCHER DIENST VON FINNLAND.

Das Pahtavuoma-U-Gangvorkommen (Abb. 5-56, vgl. auch Kupfer und Zink) liegt rund 38 km NW von Kittilä und besteht aus drei einzelnen Erzkörpern im Südtel der mit den Grünsteinen assoziierten Graphitschiefer. Im Gegensatz zu den im Kontaktbereich zwischen Schiefer und Grünsteinen ausgebildeten Sulfidmineralisationen finden sich die U-Erzkörper innerhalb separater Schieferhorizonte. Die fast vertikal stehenden, Uraninit führenden, post-orogentischen Gänge variieren von wenigen cm bis mehreren m Mächtigkeit. Das Vorkommen wurde 1970 entdeckt, in den folgenden Jahren abgebohrt und zwischen 1974 und 1976 sowie von 1989 bis 1993 wurden auch 295.000 t Erz mit 1,07 % Cu und 26 ppm Ag probeweise gewonnen. Hieraus wurden 3.157 t Cu und 5.310 kg Ag abgetrennt. Die drei Uranerzkörper enthalten bei einem cut-off von 0,03 % Uran 140.000 t Erz mit 0,39 % U, 0,24 % Cu, 0,08 % Zn, 0,09 % Pb, 0,02 % Ni, 0,01 % Co, 24 ppm Ag und 240 ppm Mo, entsprechend 546 t U-Inhalt. Ähnliche Gänge bildet auch das Laavivuoma-Vorkommen westlich von Pahtavuoma (SALTIKOFF et al. 2006, MARTINSSON et al. 2007).

5.1.2 Industriemineralie

5.1.2.1 Calciumkarbonat

NORDNORWEGEN

Am Velfjord in der norwegischen Provinz Nordland steht ein grobkörniger, calcitischer, paläozoischer Marmor an, der teilweise durch Kontaktmetamorphose beeinflusst ist. Er steht seit langem in Groß-

steinbrüchen in Abbau, von wo er nach Gewinnung per Schiff nach Elnesvågen transportiert und dort zu hochwertigem, feinstkörnigem Calciumkarbonat für die nordeuropäische Papierindustrie aufbereitet wird. Jährlich werden über 2 Mio. t hochwertiger Kalkstein am Velfjord abgebaut. Gegenwärtiger Hauptsteinbruch ist Akselberg, der seit 1998 in Betrieb ist.

Weitere hochwertige und bedeutende Kalksteinvorkommen im Norden Norwegens finden sich nach der Industriemineraldatenbank des Geologischen Dienstes von Norwegen bei:

- Breivoll, im Süden der Provinz Troms, 2 km westlich von der Gemeinde Hamnvik, wo ein massiver, grobkörniger, ordovizischer Kalkstein von 40 – 50 m Mächtigkeit ansteht. Der CaO-Gehalt liegt zwischen 48,13 bis 54,10 %.
- Fjeldalsheia, am Tjeldsund, im Norden der Provinz Nordland. Dieses Vorkommen wurde 1998/99 vom Norwegischen Geologischen Dienst eingehend untersucht und besteht aus einem fein- bis mittelkörnigen Kalkstein mit einem Gehalt von 43,6 – 55,4 %, im Mittel 52,03 % CaO.
- Aldra, auf der gleichnamigen Insel und nahe dem Polarkreis gelegen, ist ein sehr bedeutendes Vorkommen, das im Jahr 2000 bereits testweise produzierte. Es besteht aus einem mittelkörnigen paläozoischen Kalkstein mit einem Gehalt von 37,40 – 55,73 % CaO.

5.1.2.2 Dolomit

NORDNORWEGEN

Nordnorwegen besitzt neben hochwertigen Kalksteinen für die Kalkproduktion auch ein bedeutendes Potenzial an Dolomit, der für verschiedene industrielle Zwecke, aber auch in der Landwirtschaft Verwendung findet. Im Abbau stehen derzeit Dolomitsteine

- bei Ballangen (Hekkelstrand: seit 1971 im Abbau; weißes, massives, mittelkörniges Gestein, Lokalbezeichnung „Superweißer Marmor“, s. Abb 5-57, S. 106),

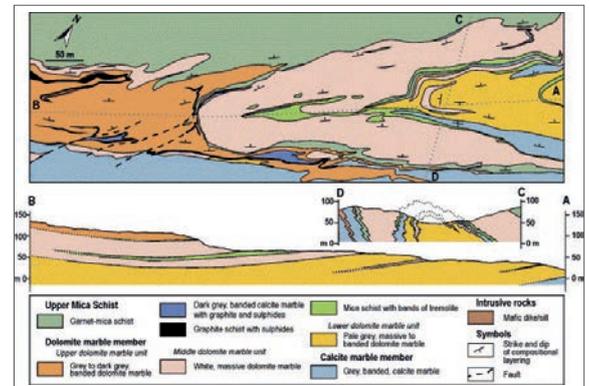


Abb. 5-57: Geologische Karte der Hekkelstrand Dolomit-Marmor-Lagerstätte, aus MELEZHIK et al. (2005).

- im Fauskegebiet, 50 km östlich von Bodø (Løvgavlén/Lauvgavlén: seit 1988 in Abbau und Hammarfall (zwei Abbaustellen: seit 1934 in Abbau), Kvitblikvatnet: seit 1998 periodisch in Abbau) sowie
- NE von Vefsn (Seljeli: massiver fein- bis mittelkörniger Dolomitstein mit > 90 % Dolomit).

Andere hochwertige und bedeutende Dolomitvorkommen im Norden Norwegens liegen nach der Industriemineraldatenbank des Geologischen Dienstes von Norwegen bei:

- Karlsøy, im Norden der Ofoten. Hier steht ein massiver, fein- bis mittelkörniger, silurischer Dolomitstein in 35 – 45 m Mächtigkeit an. Der Dolomitgehalt beträgt > 96,5 %.
- Nakken, südlich von Karlsøy gelegen und diesem Vorkommen sehr ähnlich. Der Dolomitgehalt ist jedoch geringer und schwankt zwischen 42,5 und 96,5 %.
- Potrasbuk, südlich von Nakken am Ballsfjord. Hier sind Dolomitsteine und Kalksteine in einem Feld auf 3 km streichender Länge weit verbreitet, jedoch auch eng verzahnt.
- Ertenvågdaalen, 20 km südlich von Bodø mit Dolomitgehalten > 90 %.
- Granåsen, nördlich von Vefsn, seit dem Jahr 2000 periodisch in Abbau sowie
- Ljøsenhammaren, 15 km südlich von Fauske und 1999 testweise abgebaut.

5.1.2.3 Nephelinsyenit

NORDNORWEGEN

Auf der Insel Stjernøy, bei Lillebukt, am Eingang zum Altafjord in der nordnorwegischen Provinz Finnmark, befindet sich eine der bedeutendsten Nephelinsyenitlagerstätten der Welt mit Vorräten von 300 Mio. t Erz bis 200 m ü. Meeresspiegel (s. Abb. 5-58). Die Lagerstätte wurde in den 1950er Jahren entdeckt und im Jahr 1958 intensiv exploriert. Die Gewinnung des Nephelinsyenits unterhalb des Nabberen begann dann drei Jahre später mit einer Jahresproduktion von 8.000 t. Diese wurde bis 1992 auf 330.000 t angehoben und erreichte 2008 346.000 t.

Der Nephelinsyenit von Stjernøy tritt in einer linsenförmigen Lagerstätte von 1.800 m Länge und 300 m Breite auf. Er streicht auf 270.000 m² Fläche aus. Es gibt zwei Varietäten, die beide aus einem grobkörnigen Gemenge von Mikroklin, Albit und Nephelin bestehen. Die eine Varietät führt als wichtigstes Nebengemengteil Biotit, die andere, die ausschließlich abgebaut wird, Hornblende und Pyroxen. Aus dem unter Tage abgebauten Gestein werden verschiedene Qualitäten produziert, die zu 75 % in der Hohl- und Flachglasindustrie, zu 19 % in der keramischen Industrie, zu 5 % in der Farbglasindustrie und zu 1 % als hochwertiger Füller eingesetzt werden. Die chemische Zusammensetzung der Hohlglasqualität ist Tab. 5-6 zu entnehmen. Die vor Ort aufbereiteten Produkte werden international vertrieben.

5.1.2.4 Feldspat

NORDNORWEGEN

Ein großes Kalifeldspatvorkommen ist aus dem Gebiet um den Tysfjord, einem der Seitenfjorde des Vestfjorden der Lofoten bekannt. Hier streichen weitflächig steil stehende, dicke und unregelmäßige Granitpegmatitlinsen im umgebenden Tysfjord-Granit aus. Die bekanntesten, zum Teil auch abgebauten Vorkommen liegen bei Drag (Jennyhaugen, Jennykylven, Eivolden-Brüche, Øvre und Nedre Lapplægret und Littlebaken) und Hundholmen. Insgesamt wurde zwischen 1907 und 1977 mit Unterbrechungen aus 20 unterschiedlichen Gruben gefördert. Die durchschnittlichen Gehalte liegen bei 8 – 9 % K₂O bzw. 60 – 70 % natronreichem Mikroklin. Einzelne

SiO ₂	57 %
Al ₂ O ₃	23,8 %
Fe ₂ O ₃	0,1 %
TiO ₂	0,1 %
CaO	1,3 %
Na ₂ O	7,9 %
K ₂ O	9,0 %
BaO	0,3 %
SrO	0,3 %
P ₂ O ₅	0,1 %
F	< 40 ppm
Cl _{gesamt}	< 100 ppm
Cl _{wasserlös.}	< 0,15 ppm
LOI	1,2 %

Tab. 5-6: Chem. Zusammensetzung von „glass grade“ Nephelinsyenit von Stjernøy (Olerud 1995).



Abb. 5-58: Blick auf den Nephelinsyenitsteinbruch von Lillebukt, Foto: H. GAUTNEB/GEOLOGISCHER DIENST VON NORWEGEN.

Vorkommen erreichen 10 – 11 % K₂O bzw. 85 % Mikroklin. Das Gestein ist schwach gefaltet und führt neben K-Feldspat auch Quarz, Plagioklas, Muskovit, Biotit und Epidot, teils in Riesenkristallen, sowie verschiedene Seltene Erden und Schwermetalloxide (OLERUD 1995).

NORDSCHWEDEN

Nahe dem Polarkreis, am Isaksberg, 13 km östlich von Överkalix und 90 km NNE von Luleå existiert ein rot zonierter Pegmatit, der bei seinem Abbau im Jahr 1969 rund 10.000 t Feldspat lieferte (GRIP 1978).

5.1.2.5 Kaolin

NORDFINNLAND

In der nordfinnischen Arktis existieren zwei Kaolinvorkommen, zum einen das 1976 entdeckte Vorkommen Siurunmaa im Sodankylä-Distrikt, zum anderen das erst 1998 entdeckte Suolakaarko-Vorkommen bei Vittanjänkä in der Salla-Region.

Das Vorkommen bei Vittanjänkä wurde zwischen 1999 und 2004 auf seine Eignung als Kaolinlagerstätte für die boomende finnische Papierindustrie hin untersucht. Das Vorkommen ist auf ca. 2,5 x 0,8 km Fläche verbreitet. Die Abraummächtigkeit beträgt 10 bis 25 m, durchschnittlich 15 m. Bei den Bohrungen und anschließenden Analysen konnten ein farbiger und ein weißer Kaolin unterschieden werden (s. Tab. 5-7), wobei auch letzterer höchstens als Füllstoff geeignet ist. Der weiße Kaolin entstand durch in-situ-Verwitterung serizitischer Quarzite und Serizitschiefer, der farbige Kaolin durch Verwitterung phyllitischer Metasedimente und mafischer Metavulkanite der liegenden Matovaara-

Formation. Die Vorräte werden auf 13 Mio. t weißen Rohkaolins geschätzt, aus denen rund 4 Mio. t gewaschener Kaolin produziert werden könnte (LINTINEN & AL-ANI 2005).

5.1.2.6 Graphit

NORDNORWEGEN

Graphit ist in den norwegischen Kaledoniden ein weit verbreitetes Mineral, doch nur selten in bauwürdigen Gehalten und Mengen angereichert. Die Industriemineraldatenbank des Norwegischen Geologischen Dienstes verzeichnet über 100 Graphitvorkommen nördlich des Polarkreises.

Im kommerziellen Maßstab wird Graphit seit dem Jahr 1917 aus dem Skaland-Bergwerk auf der Insel Senja/Provinz Troms gefördert. Während des 1. Weltkrieges waren die Preise damals ausreichend hoch, brachen danach aber abrupt ein, so dass der Betrieb schon 1920 bankrott ging. 1927 setzte die Gewinnung erneut ein, gefolgt von der Errichtung einer Flotationsanlage im Jahr 1932. In den folgen-

	Rohkaolin		<20 µm		<2 µm
	weiß	farbig	weiß	farbig	weiß
	n = 59	n = 37	n = 59	n = 37	n = 10
Leuchtkraft	-	-	72,2	50,1	79,5
Min.	-	-	60	21,7	74,0
Max.	-	-	84,6	59,9	84,1
Gelbfärbung	-	-	13,4	29,9	5,9
Kaolinit	30	30	66	56	92
Min.	7	0	15	5	85
Max.	70	80	90	95	95
Quarz	49	35	9	11	6
Feldspat	6	16	10	15	0
Muskovit	8	4	13	6	4
SiO₂	76,23	69,95	51,66	52,19	52,35
Al₂O₃	13,47	14,72	27,89	25,60	31,40
TiO₂	0,32	0,52	0,57	0,64	0,40
Fe₂O₃	2,00	4,43	2,95	4,15	1,51
MgO	1,18	3,59	1,86	3,72	0,84
CaO	0,03	0,23	0,01	0,10	0,03
Na₂O	0,07	1,84	0,18	1,41	-
K₂O	3,26	1,78	6,22	3,14	2,63

Tab. 5-7: Physikalische Eigenschaften sowie mineralogische und chemische Zusammensetzung für verschiedene Korngrößen des Kaolinvorkommens Vittanjänkä, aus LINTINEN & AL-ANI (2005).

den Jahrzehnten verlief die Produktion weitgehend ohne Schwierigkeiten bis im Jahr 1985 die Anlage niederbrannte und daraufhin auch die Gewinnung komplett eingestellt werden musste. Seit dieser Zeit wechselt das Bergwerk alle paar Jahre den Besitzer, darunter auch die deutsche Graphit Kropfmühl AG. Zwischenzeitlich wurde der Abbau weitgehend eingestellt und 2003 ins 10 km entfernte Trælen verlagert. Dort betragen die nachgewiesenen Reserven 1,7 Mio. t Graphiterz (GAUTNEB 2008).

Die Graphit führenden Horizonte bei Skaland finden sich in einer 600 m langen und 450 m breiten Zone metamorpher präkambrischer Glimmerschiefer. Das unverwitterte Erz tritt darin in Form von acht bis zehn, fast vertikal lagernden, tellerförmigen Linsen bzw. Erzgängen auf. Die einzelnen Linsen sind bis zu 200 m lang und fünf bis sieben Meter breit. Zu den Gangmineralen zählen Diopsid, Hornblende, Labradorit, Titanit, Granat, Quarz, Pyrrhotin, Skapolith und Wollastonit. Ein angrenzender Granit, der auch in das Graphiterz eingedrungen ist, mag zur Genese des Flockengraphits beigetragen haben. Das aus rund 500 m Teufe geförderte Roherz führt zwischen 16 – 36 % bzw. durchschnittlich 26 % C. Der in mehreren Korngrößen und Qualitäten produzierte Graphit findet Verwendung vor allem als Feuerfestmaterial in der metallurgischen Industrie sowie bei der Herstellung von Trockenbatterien.

Verbliebene Graphitvorräte in einer Menge von rund 200.000 t mit 20 % C sind auch aus der Nähe der alten Bergwerke bei Jennestad/Sortland (Abbau mit Unterbrechungen zwischen 1899 und 1914, Export von insgesamt ca. 5.000 t Graphit) in der Provinz Nordland bekannt (OLERUD 1995).

NORDSCHWEDEN

In der Norrbotten Provinz sind graphitische Phyllite und Gneise nicht selten. Um Vittangi und Masugnsbyn, rund 80 km NE von Gällivare, enthalten die Phyllite so viel Graphit, dass es bereits zahlreiche Versuche gab, diesen abzubauen. Es wird von Flächen von ca. 140.000 m² anstehender Phyllite mit Gehalten von 25 % C berichtet. Der Graphit in diesen Phylliten ist normalerweise extrem feinkörnig und daher schwierig abzutrennen. Er wird von Pyrit, Pyrrhotin und vereinzelt Chalkopyrit begleitet, was die Aufbereitung zusätzlich erschwert. 1956 wurden bei Meraslinka, SE von Masugnsbyn, 400 t graphitischer Phyllite mit einem Durchschnittsgehalt von 40 % C abgebaut (GRIP 1978).

5.1.2.7 Quarz und Quarzit

NORDNORWEGEN

Norwegen ist einer der weltgrößten Produzenten und Exporteure von Ferrosilizium, Ferrosiliziummangan, Ferrosiliziumchrom und Siliziummetall,



Abb. 5-59: Blick auf den Quarzitsteinbruch von Tana, Foto: J.E. WANVIK/GEOLOGISCHER DIENST VON NORWEGEN.



Abb. 5-60: Quarzgewinnung bei Svanvik, FOTO: J.E. WANVIK/GEOLOGISCHER DIENST VON NORWEGEN.

für deren Herstellung Quarz bzw. Quarzit benötigt wird. Zwei der größten Quarzitsteinbrüche der Welt liegen in Nordnorwegen und zwar in Tana, Provinz Finnmark (spätpräkambrischer Quarzit, in Abbau seit 1974, Abb. 5-59) und in Mårnes, rund 20 km südsüdwestlich von Bodø. Diese Lagerstätte aus kaledonischem Quarzit stand erstmals zwischen 1934 und 1950 in Produktion und ging nach Unterbrechung dann 1970 wieder in Betrieb.

Svanvik liegt im äußersten Nordosten Norwegens direkt an der russischen Grenze. Bei dem gleichnamigen Vorkommen handelt es sich um einen archaischen hydrothermalen Quarzgang, der seit 2006 abgebaut wird (Abb. 5-60).

Derzeit wird auch ein Vorkommen von hochreinem Quarz bei Saltfjellet, nördlich von Mo i Rana, auf seine Eignung als Rohmaterial zur Herstellung von Siliziummetall näher untersucht.

Aus dem Vorkommen Nedre Øyvollen bei Drag, Provinz Nordland, wurden zwischen 1987 und 1995 wenige hundert Tonnen hochreinen Quarzes erzeugt, der aus dem Quarzkern eines zonierten Pegmatits innerhalb präkambrischer granitischer Gneise gewonnen worden war (OLERUD 1995).

NORDSCHWEDEN

Im Gebiet von Jokkmokk existieren zahlreiche Pegmatite aus grafischem Granit. Die Hauptminerale sind Mikroklin, Plagioklas und Quarz. Nebenminerale sind Muskovit, Biotit, Magnetit, Pyrit, Pyr-

rhotin, Chalkopyrit, Orthit, Granat und Beryll. Die verschiedenen Vorkommen standen zwischen 1927 und 1945 wiederholt im Abbau und lieferten zusammen 46.000 t Quarz und 5.000 t Feldspat (GRIP 1978).

5.1.2.8 Talk

NORDNORWEGEN

Die Region um Altermark, ca. 20 km westlich von Mo i Rana in der Provinz Nordland, stellt eine der bedeutendsten Talkprovinzen in Nordskandinavien dar. Die dortigen Gesteine gehören zum Rödingsfjellet-Deckenkomplex der Kaledoniden. Teil dieses Deckenkomplexes bei Altermark ist die Straumbotn-Decke, die aus Disthen-Stauroolith führenden Granat-Glimmerschiefern, Marmoren und Amphiboliten aufgebaut ist und zahlreiche ultramafische Linsen führt (s. Abb. 5-61). Die Linsen setzen sich aus einem serpentinitischen Kern, einer Talk-Karbonatzone und monomineralischen Gesteinen am Rand zusammen. Die Talk-Karbonatzone besteht aus ca. 40 – 70 % Talk, 30 – 45 % Karbonaten sowie Spuren von Chlorit (0 – 4 %), Magnetit und Chromit (0 – 3 %) (KARLSEN et al. 2000; Lindahl & Nilsson, 2008).

Die Store-Esjeklumpen-Ultramafitlinse ist 800 m lang und bis zu 180 m mächtig. Sie reicht bis in eine Teufe von 140 m, d. h. bis auf 240 m ü. Meeresspiegel. Zwischen 1932 und 1934 wurde die Linse durch einen Schrägschacht aufgeschlossen, aber die Explorationsarbeiten wurden nach Eröffnung

der Altermark-Bergwerks noch im gleichen Jahr gestoppt. Erst 1990/91 folgte dann eine umfangreichere Explorationskampagne mit Hilfe von Bohrungen und einer Kartierung. Zusammen mit der Lile-Esjeklumpen-Ultramafitlinse, dessen Detailerkundung noch aussteht, betragen die geschätzten Gesamtvorräte in beiden Linsen > 4 Mio. t Talkerz.

Die > 130 m Tiefe lagernde Nakkan-Ultramafitlinse wurde mittels Geophysik entdeckt und dann 1992 auch mittels Bohrungen nachgewiesen. Sie liegt in der S-SE-Verlängerung der Store-Esjeklumpen-Ultramafitlinse mit einer Minimaldistanz von 150 m

zwischen beiden. Die Linse ist ungefähr 800 m breit und fällt ähnlich wie Store-Esjeklumpen mit 40–45° nach S-SE ein. Ihre maximale Mächtigkeit beträgt 200 m. Die Erstreckung der Linse in Richtung des Einfallens ist unbekannt, übersteigt jedoch vermutlich 500–600 m. Die Talkerzreserven liegen bei > 5 Mio. t.

Kleinere Erzlinen neben der bis heute kaum verritzten großen Annabergan-Ultramafitlinse wurden 1932 durch das Altermark-Talkbergwerk erschlossen, das mittlerweile auf fünf unterschiedlichen Sohlen jährlich rund 30–35.000 t Talkmagnesitzerz

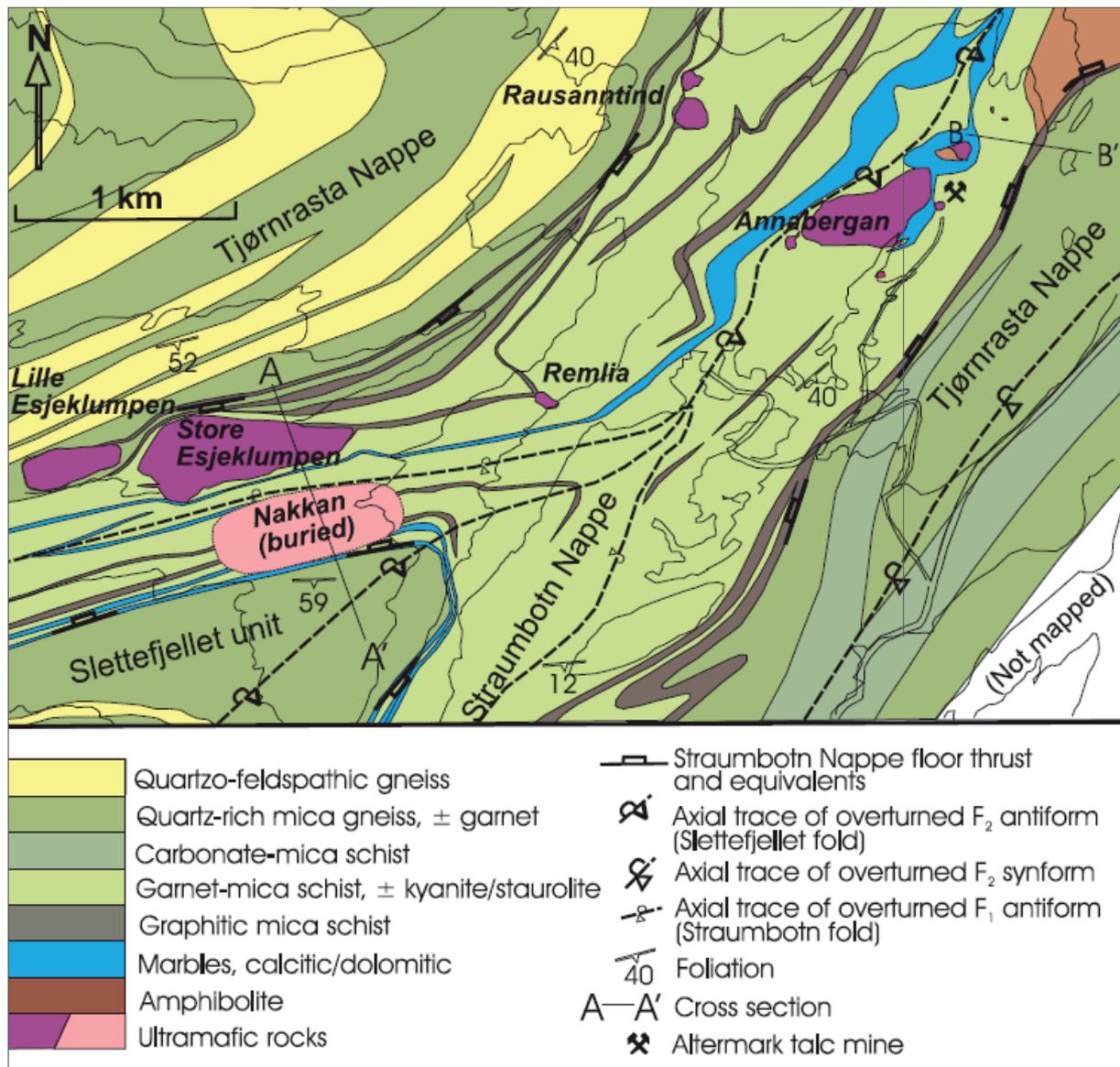


Abb. 5-61: Vereinfachte geologische Karte der Region Altermark mit Bezeichnungen der dortigen Decken und ultramafischen Linsen, aus KARLSEN et al. (2000).

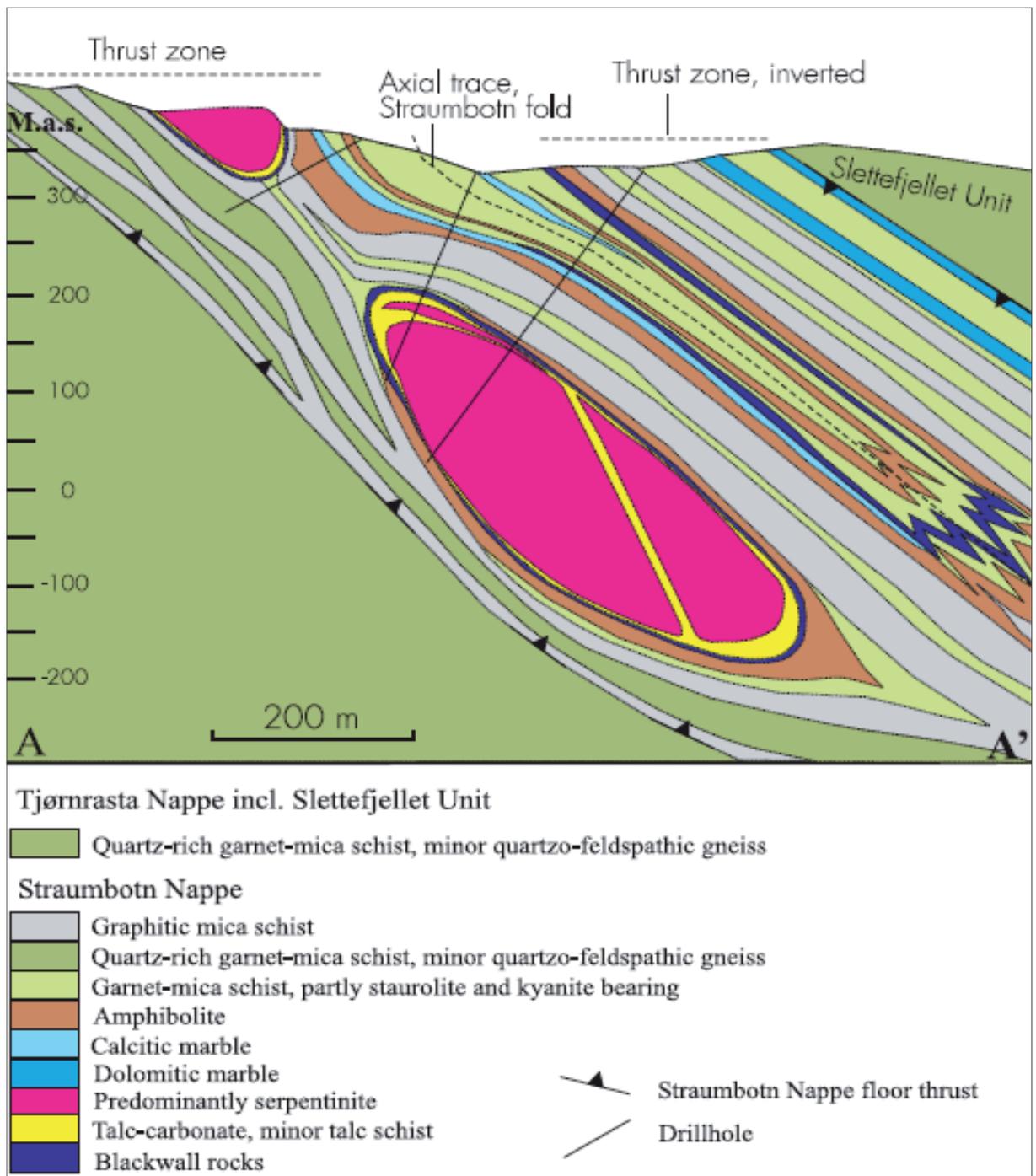


Abb. 5-62: Profilschnitt (A-A' in Abb. 5-60) durch die Store-Esjeklumpen- und Nakkan-Ultramafitlinsen, aus KARLSEN et al. (2000).

produziert (OLERUD 1995). Mit Ausnahme der Gehalte an Ni und Cr ist das Erz sehr rein und enthält keine schädlichen Beimengungen. Bei Ressourcen von 760.000 t, werden die kostengünstig gewinnbaren Reserven des Bergwerks nur noch auf rund 150.000 t geschätzt, so dass von einer baldigen Stilllegung ausgegangen wird.

Das Talkkarbonaterz der kleinen Remlia-Ultramafitlinse führt im Gegensatz zu den anderen Erzlinzen fibrösen Anthophyllit und ist deswegen nicht bauwürdig.

Im Jahr 2000 wurde bei Linnajavri, auf dem Gebiet der Gemeinde Hamarøy, Provinz Nordland,

ein weiteres, sehr großes Seifensteinvorkommen entdeckt und in den folgenden Jahren vom Norwegischen Geologischen Dienst eingehend erkundet. Es ist dennoch so groß und vielfältig, dass weitere Untersuchungen, speziell zur Aufbereitbarkeit der Erze, unabdingbar sind. Der Distrikt gliedert sich in zwei Felder, Süd und Nord, und besteht aus 23 Einzelvorkommen, von denen 19 jeweils mehr als 1 Mio. t Erzinhalt (bis in 50 m Teufe) besitzen. Der größte Erzkörper, Kleberflåget, enthält auf norwegischer Seite rund 50 Mio. t Erz und auf schwedischer Seite mindestens zusätzliche 20 Mio. t Erz. Zusammen betragen die geschätzten Erzressourcen des Linnajavri-Distrikts mehr als 115 Mio. t mit hoher Wahrscheinlichkeit, dass in der Nähe weitere, insgesamt noch größere Vorkommen gefunden werden können (KARLSEN et al. (2000).

Der Seifenstein von Linnajavri entstand durch Verwitterung von serpentinisierendem Dunit und Peridotit (Ophiolithe). Er enthält durchschnittlich 50 %, maximal 70 – 80 % Talk und ist wahlweise zur Flotation von Talk und auch als Naturwerkstein geeignet. Nach vorläufigen Untersuchungen und Einschätzungen des Norwegischen Geologischen Dienstes sind von den Einzelvorkommen

- vollständig oder nahezu vollständig zu Seifenstein umgewandelt: Boarta-Linse 2 (0,25 Mio. t Erz), Klebervann (1,7 Mio. t Erz), Kleberflåget (50 Mio. t Erz), Nåva (1,0 Mio. t Erz), Kleberbotn (0,2 Mio. t Erz), Ridoalggicohkka 1248 (10,0 Mio. t Erz) und Langkleberen (7,0 Mio. t Erz),
- geeignet zur Herstellung von Naturwerksteinen oder auch zum Kleinbergbau auf Talk: Boarta-Linse 2 (0,25 Mio. t Erz), Njaskasvarri 985 (0,5 Mio. t Erz), Helikoptergangen (0,38 Mio. t Erz) und Kleberbotn (0,2 Mio. t Erz),
- vornehmlich oder ausschließlich geeignet zum Untertageabbau auf bzw. zur Flotation von Talk: Čohkul (6,0 Mio. t Erz), Vakkerdalen (3,0 Mio. t Erz), Hatten (2,0 Mio. t Erz) und Nåva (1,0 Mio. t Erz).

NORDSCHWEDEN

Bei Luttakoski, rund 7 km SW von Junosuando bzw. 80 km ENE von Gällivare, existiert ein seit langem bekanntes Vorkommen von Seifenstein. Dieser

Seifenstein ist stark zerklüftet und führt eine derart große Anzahl von Karbonatgängen und -adern, dass eine Nutzung durch die örtliche Bevölkerung nicht möglich ist. Das Vorkommen wurde daher im Jahr 1969 durch den Geologischen Dienst von Schweden mittels zehn Bohrungen auf seine Genese und Zusammensetzung hin untersucht (SHAIKH 1972). Danach ist der meist graue bis hellgraue Seifenstein feinkörnig ausgebildet und besteht aus einer Matrix aus Talk (45 – 56 M.-%) und Chlorit (21 – 25 M.-%), in der andere Mineralkörner, v. a. Karbonate (Calcit, Dolomit und Magnesit) sowie Magnetit (12 – 15 %) schwimmen. Weiterhin wurden Ilmenit und weit untergeordnet auch Pyrit, Pyrrhotin, Amphibole und Serpentin nachgewiesen. Im Seifenstein liegen die Gehalte an Ni bei 1.600 – 2.000 ppm, von Co bei 80 – 300 ppm, von Cr bei 550 – 1.500 ppm und von V bei 100 – 140 ppm. Der Magnetit führt 0,10 – 0,45 % Ni und 1,15 – 2,05 % Cr. Der Seifenstein bei Luttakoski bildete sich demnach durch mehrphasige Alteration einer lagergangförmigen ultrabasischen Intrusion. Spätere Berechnungen nach Aufmahlung und Flotation ergaben ein potenzielles Ausbringen von 40 % Industrietalk. Die Vorräte an Seifenstein liegen bei 5 Mio. t (GRIP 1978).

5.1.2.9 Phosphat

NORDNORWEGEN

Die einzigen Vorkommen mit Apatit in Nordnorwegen liegen beide auf der Insel Sternøya in der Provinz Finnmark. Das eine Vorkommen ist der Karbonatit von Ytrepollen, der nicht bauwürdige Gehalte von durchschnittlich 10 %, maximal 12 % Apatit führt. Beim anderen Vorkommen handelt es sich um den größeren Lillebukt-Karbonatit mit durchschnittlich 10 – 15 %, maximal 36 % Apatit (Industriemineraldatenbank des Geologischen Dienstes von Norwegen).

NORDSCHWEDEN

Die nordschwedische Provinz Norrbotten ist mineralogisch gesegnet mit Apatit, das ein wichtiges Nebenmineral in den dort abgebauten Apatit-Eisenerzen ist. Im Kirunagebiet enthalten zahlreiche Eisenerzvorkommen bis zu 5 % Apatit bzw. in der Provinz Norrbotten bis zu 4,5 % P. Die geologischen Phosphorvorräte in der Provinz Norrbotten werden

auf insgesamt 27 Mio. t, davon 20 Mio. t in der Region Kiruna, geschätzt.

Der Apatit ist meistens in den Erzen gleichmäßig fein verteilt, tritt aber auch in Bändern von mehreren cm Mächtigkeit auf. Es gab bereits in der Vergangenheit zahlreiche Versuche, den Apatit bei der Eisenerzaufbereitung zu separieren und zu konzentrieren, aber, obwohl die technischen Probleme längst gelöst sind, blieb die Aufbereitung lange Jahre unwirtschaftlich. Bereits 1917 wurden 8.000 t Apatitkonzentrat mit einem Durchschnittsgehalt von 10 % P produziert. Bei MalMBERGET wurde eine Flotationsanlage zur Aufbereitung der grobkörnigeren Erze und Abgänge aus MalMBERGET und Rektorn errichtet, die nach Aufstockung im Jahr 1939 24.000 Jato Apatitkonzentrat und nach weiterer Aufstockung im Jahr 1945 sogar 160.000 Jato Apatitkonzentrat liefern sollte. Nachdem zwischen 1940 und 1946 und dann auch noch 1952 und 1953 Apatitkonzentrat produziert worden war, wurde das Projekt in den Folgejahren nicht weiter verfolgt. In den 1980er Jahren veränderte dann jedoch der Hauptproduzent, der Staatskonzern LKAB, seine Aufbereitung in Kiruna und verfügt seitdem an diesem Standort über eine Anlage zur Verarbeitung auch feinkörniger Apatit-Eisenerze mit einer Produktionskapazität von 150 – 200.000 t Apatitkonzentrat pro Jahr. Ggf. sollen auch die Halden aus der Erzaufbereitung, die sich auf 17 Mio. t mit > 2 % P belaufen, aufbereitet werden (GRIP 1978, 1989).

Apatit führende Gänge sind auch aus einem Gabbrokomplex bei Gällivare und von Porphyren bei Kiruna bekannt (GRIP 1978).

NORDFINNLAND

In Lappland stellt der Sokli-Karbonatit-Komplex (vgl. Niob) eine große Phosphatquelle dar. Es konnten drei Anreicherungs-zonen identifiziert werden, die alle der Verwitterungszone, dem Regolith, zuzuordnen sind (Abb. 5-63 und 5-64):

- Apatit-Frankolith-Regolith. Hierbei handelt es sich um die wichtigste Phosphatvererzung im Sokli-Komplex. Die größte Regolithmächtigkeit tritt im Westen des Karbonatitmassivs, bei Loitso, auf und beträgt dort, unter 5 m Bedeckung,

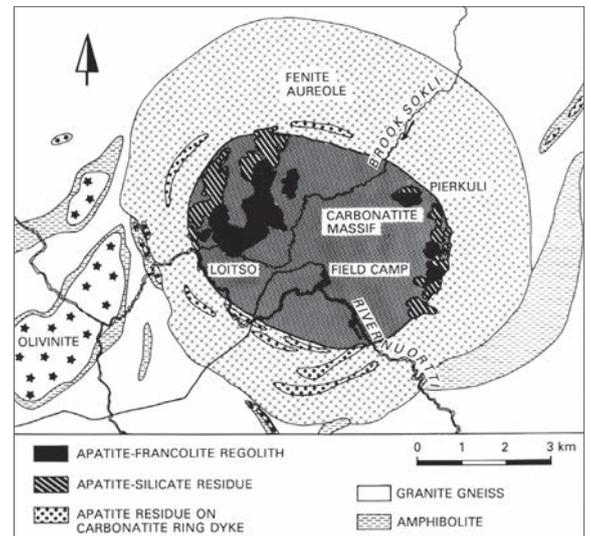


Abb. 5-63: Geologische Übersichtskarte des Sokli-Karbonatit-Komplexes mit Darstellung der Anreicherungs-zonen an Apatit, aus VARTIAINEN (1989).

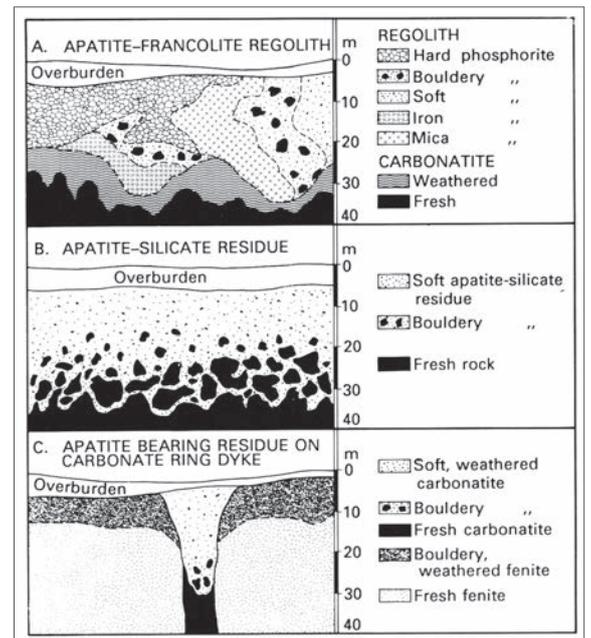


Abb. 5-64: Schematische Profilschnitte durch die Phosphaterztypen von Sokli, aus VARTIAINEN (1989).

durchschnittlich 25 m, maximal 72 m. Ein Großteil hiervon liegt unterhalb des GW-Spiegels. Der Regolith lässt sich als lockeres, nasses und Fe-haltiges, erdiges bis steiniges Material beschreiben und ähnelt damit einer Grundmoräne. Residuale Primärminerale sind Apatit, Magnetit, Amphibole, Glimmer, Clinohumit, Dolomit, Ilmenit, Pyrochlor,

Zirkon, Baddeleyit, Niobozirkonolith und Rutil. Als Sekundärminerale treten Frankolith, Goethit, Siderit, Mn-Oxide (metergroße Anreicherungstaschen mit > 20 % Mn), Hämatit und Rhabdophan auf.

- Apatit-Silikat-Rückstand. Dieser ist am häufigsten an den Rändern des Karbonatitmassivs bei Loitso und Pierkuli. Der Abraum beträgt hier 10 m (Loitso) bzw. 8 m (Pierkuli). Nur der stark verwitterte obere Teil der Verwitterungsschicht ist als Phosphaterz nutzbar. Dessen Mächtigkeit beträgt 20 m bzw. bei Pierkuli 13 m. Die Mineralogie dieses Typs wurde nicht im Detail studiert, ist jedoch durch Vorherrschaft von Apatit über Frankolith, geringe Anteile von Nb und eine Kombination verschiedener Silikate geprägt.
- Apatit-Rückstand auf den karbonatischen Ringdykes. Die Ringdykes liegen unter 1 – 5 m Abraum und sind durch Verwitterung und Auslaugung in ihren oberen Abschnitten stark an Apatit angereichert, von ursprünglichen 5 – 8 % auf 10 – 50 %.

Die geologischen Vorräte an Phosphaterz bei Sokli werden bei einer Durchschnittsmächtigkeit des Regoliths von 20 m auf rund 133 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 16,5 % P_2O_5 (Apatit-Frankolith-Regolith: 50 Mio. t mit 19,5 M.-% P_2O_5 ; Apatit-Silikat-Rückstand: 70 Mio. t mit 13,5 M.-% P_2O_5 ; Apatit-Rückstand: 13 Mio. t mit 13,0 % P_2O_5) geschätzt. Die zusätzlichen Vorräte in der verwitterten Kruste des Karbonatitmassivs betragen 200 Mio. t mit 4,5 % P_2O_5 . Im unverwitterten Karbonatit, dessen Volumen noch nicht abgeschätzt wurde, beträgt der P_2O_5 -Gehalt dagegen 3,5 % (VARTIAINEN 1989).

5.1.2.10 Baryt

NORDSCHWEDEN

Das Kupfererz von Aitik (s. o.) enthält > 1 % Baryt. Es wurde daher bereits versucht, diesen Baryt mittels Flotation zu gewinnen.

Auch das Manganerz von Ultevis ist in einigen Bereichen reich an Baryt (GRIP 1978).

5.1.2.11 Magnesit und Brucit

NORDNORWEGEN

Auf dem Gebiet der Gemeinde Lebesby in der Provinz Finnmark existiert bei Vadasbakti ein größeres Vorkommen von Serpentin, der bis zu 15 % Brucit bzw. 39 % MgO führt. Das im Detail noch wenig explorierte Vorkommen erstreckt sich über 4,5 km Länge und 2 km Breite (Industriemineraldatenbank des Geologischen Dienstes von Norwegen).

NORDSCHWEDEN

Magnesit kommt in den amphibolitischen Decken der nordöstlichen Kaledoniden vor. Das Mineral bildete sich aus Kalkstein, der durch Kontaktmetamorphose an basischen Laven oder Intrusiva überprägt wurde. Die zwei größten Vorkommen in der Provinz Norrbotten sind nach GRIP (1978):

- Äpartjåkko, 43 km nördlich von Kvikkjokk. Das Vorkommen ist zigarrenförmig ausgebildet, horizontal gelagert und ist von Gabbro der kaledonischen Decken umgeben. Es stand in geringem Umfang bereits während des 2. Weltkriegs im Abbau. Die verbliebenen Vorräte an hochwertigem Magnesit werden auf 100.000 t geschätzt.
- Tarrakaisse, rund 20 km WNW von Kvikkjokk. Die Qualität dieses Vorkommens ist sehr ungleichmäßig und der Magnesit mit Dolomit und Magnetit verunreinigt. Magnesit und Dolomit bilden längliche Einschlüsse in Amphiboliten, generell umgeben von einem Salband aus Chlorit, Talk oder Asbest. Die Vorräte an dieser weit jeglicher Infrastruktur gelegenen Lokation betragen ebenfalls rund 100.000 t.

5.1.2.12 Glimmer

NORDNORWEGEN

Glimmer ist in den hochmetamorphen Gesteinen des norwegischen Gebirges ein häufiges Mineral und wurde bereits an einigen Stellen abgebaut:

- Der bedeutendste Abbau war das Rendalsvik-Bergwerk bei Bodø in der Provinz Nordland. Dort wurde Glimmer zwischen 1969 und

1982 aus einer bis 30 m breiten Zone aus Glimmerschiefern nahe der Südküste des Fjordes gewonnen. Die ursprünglichen Vorräte betragen mehrere hunderttausend Tonnen Gestein mit 30 – 50 Vol.-% Muskovit. In mikronisierter Form – die Aufbereitung erfolgte in Knarrevik bei Bergen – enthielt der Muskovit 44,7 % SiO₂, 37,2 % Al₂O₃, 10,8 % K₂O, 0,6 % MgO, 1,3 % FeO, 0,4 % Fe₂O₃ und 5 % H₂O^{ges} (BUGGE 1978).

Weitere Abbaustellen von Muskovit in der Provinz Nordland lagen nach der Industriemineraldatabank des Geologischen Dienstes von Norwegen bei:

- Rønvikfjellet, wo 1911 600 kg Glimmer gewonnen wurden,
- Brennsund, Abbau um 1940,
- Åksgardet, zwischen 1940 und 1946 Abbau einer granoblastischen Linse aus Turmalinpegmatit mit u. a. Muskovit als Wertmineral und
- Rånbogelva und Rånkeipen, mit Abbau von Muskovit in Gruben bis zum Ende des 2. Weltkrieges.
- Ein verbliebenes hohes Potenzial an bauwürdigem Muskovit wird der Region Ballangen zugeschrieben.

Historische Abbaustellen von Glimmer in der Provinz Finnmark lagen bei:

- Bekkarfjordnes, um 1916 Untertageabbau von Muskovit aus einem Syenitpegmatitgang,
- Ørnetind, zwischen 1912 und 1940 Untertageabbau auf Muskovit aus einem Pegmatit,
- Hønsbyfjorden (Storvann), zwischen 1920 und 1940 Untertageabbau von maximal 20 – 30 cm großer Muskovittafeln,
- Bognelvdalen, 1936 und 1951 Untertageabbau auf Muskovit in einem Pegmatitgangswarm.

5.1.2.13 Disthen

NORDNORWEGEN

Das größte Disthenvorkommen Norwegens, das aber nie in Produktion ging, heißt Stødi und liegt

infrastrukturell günstig im Saltfjellet nordöstlich von Mo i Rana. Hier führen Disthenschiefer in den leicht pelitischen Metaarkosen im Hangenden des präkambrischen Grundgebirges durchschnittlich 15 – 35 Vol.-%, maximal bis zu 40 Vol.-% Disthen. Nebenminerale sind v. a. Quarz und Serizit, letzteres als weiteres potenzielles Wertmineral. Die Schichten mit Disthen sind mehrere Meter mächtig (BUGGE 1978).

5.1.2.14 Asbest

NORDSCHWEDEN

Bei Keukiskero, 75 km NE von Kiruna, liegt ein 2 x 1,2 km großes Massiv aus verwittertem Enstatitpyroxenit, das von granitischem Gneis umgeben ist. Die Mehrheit des Enstatits ist zu Anthophyllit verwittert, der an den Rändern in Faserasbest übergeht. Obwohl der Asbest Industriequalität besitzen soll, wurde er bisher nicht abgebaut (GRIP 1978).

5.1.2.15 Olivin

NORDNORWEGEN

Aus dem nördlichen Norwegen sind zahlreiche ultramafische Komplexe unterschiedlicher Größe mit Anreicherungen von Olivin bekannt, die sich in den Regionen

- Stjernøya-Seiland (Storre Kjerringfjord mit > 90 % Olivin, Olderfjorden, Hoppofjellet, Tverrfjellet, Forsbukta, Kvalfjord) und Bukkebuktjellet),
- Tromsø (Kittfjordeidet, Laukvika, Storefjellet und Stabben, letzteres ein kleineres Vorkommen mit 75 % Olivin),
- Sebmulvårre-Ballangen (Råntindvatnet, Råntindaksla, Slåttbakkelva, Tverrfjellet, Skjelvelva, Sepmolvarre) und
- Svartisen-Melfjorden (Osafjellet, Fonndalen, Vågsbotn, Hestøya, Steintuva, Lemmstein, Esjehompan, Nord-Værnes, Hestmonkallen) konzentrieren.

Das größte und wirtschaftlich interessanteste Olivinvorkommen ist jedoch Reinfjorden auf dem Gebiet der Gemeinde Kvænangen, Provinz Troms. Der dortige Nordre-Bumandsfjord-Komplex ist 3 x 7 km groß und besteht aus Dunit, Wehrlit und

Lherzolit. Das diesbezügliche Magma drang während der späten Finnmark-Phase der kaledonischen Orogenese ein und enthielt ursprünglich rund 40 % MgO.

5.1.3 Naturwerksteine

NORDNORWEGEN

Wie die gesamte Landfläche ist auch der arktische Anteil Norwegens reich an Naturwerksteinvorkommen, von denen auch mehrere in Abbau stehen. Es sind dies von Süden nach Norden:

- Granit von Evjen auf dem Gebiet der Gemeinde Beiarn. Dabei handelt es sich um einen massiven, grauen, porphyritischen Granit mit dem Handelsnamen Evjen Granitt (Abb. 5-65).
- Marmor in mehreren benachbarten Steinbrüchen bei Løvgavlen, wenige Kilometer nördlich von Fauske, in denen bereits seit 1885 folgende, teils sehr gesuchte Marmorvarietäten abgebaut werden (Holtedahl et al. 1960):
 - Roter, rosa und weißer Marmor, bestehend aus Fragmenten von relativ feinkörnigem Dolomit, in einer Matrix aus grobkristallinem rötlichen Calcit. Überwiegt der Dolomit lautet die Handelsbezeichnung Norwegian Rose (Abb. 5-66), überwiegt der Calcitanteil ist die Handelsbezeichnung Norwegian Rose mørk.
 - Grüner und weißer Marmor, bestehend aus konglomeratischen Einschlüssen von weißem, grobkristallinen Calcit in einer Matrix aus grünlichem, fein- bis mittelkörnigen Calcit/Dolomit mit Chlorit und Fuchsit, Handelsbezeichnung Arctic Green,
 - Grauer Marmor, bestehend aus intensiv gefaltetem dunklen und weißem Calcit mit Einschlüssen von Graphit und bituminöser Substanz, Handelsbezeichnungen: Hermelin bzw. Antique Foncé (Abb. 5-68).
 - Weißer, strukturloser Dolomitmarmor, Handelsbezeichnung Furuli Dolomitt.

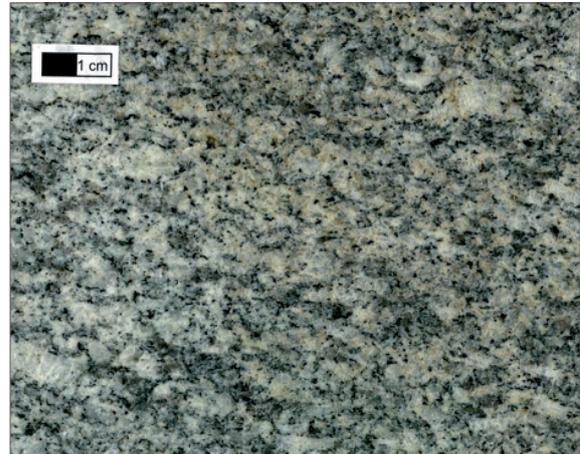


Abb. 5-65: Polierte Platte aus Evjen Granit von Beiarn, Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.



Abb. 5-66: Marmor Norwegian Rose von Fauske, Foto: LYSIPPOS/WIKIPEDIA.



Abb. 5-67: Polierte Platte aus Arctic Green Marmor, Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.



Abb. 5-68: Polierte Platte aus Hermelin Marmor,
Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.

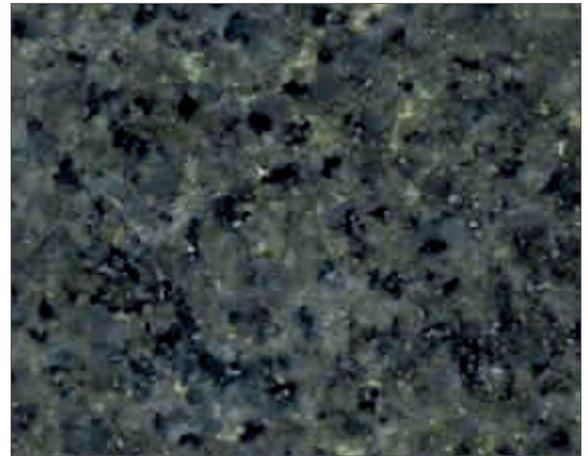


Abb. 5-71: Polierte Platte aus Arctic Black Syenit,
Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.

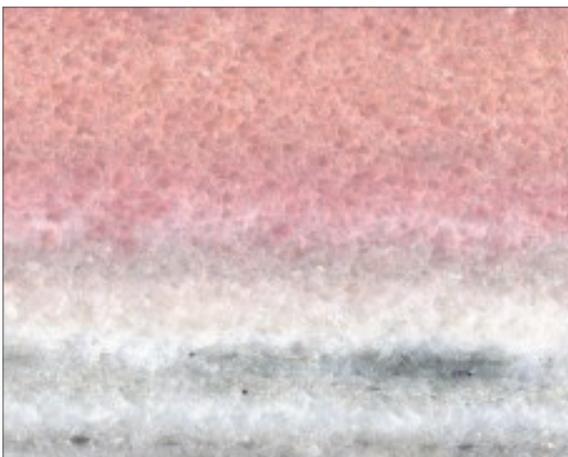


Abb. 5-69: Polierte Platte aus Koloritt Marmor,
Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.

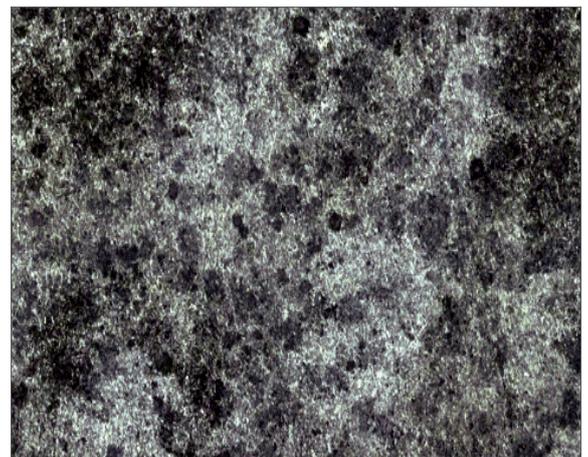


Abb. 5-72: Gesägte Platte aus Grunnes Seifenstein,
Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.



Abb. 5-70: Polierte Platte aus Nordland Rose Gneis,
Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.



Abb. 5-73: Polierte Platte aus Masikvartsitt von
Riebanvarri, Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.

Besonders der rot-weiße Marmor findet als Naturwerkstein auch außerhalb Norwegens Verwendung.

- Marmor von Leivset bei Fauske. Ähnlich dem bekannteren Marmor von Løvgavlen handelt es sich um einen rosafarbenen, weiß gebänderten, mittelkörnigen Calcit mit der Handelsbezeichnung Koloritt Marmor (Abb. 5-69). Er wurde schon früh zwischen 1896 bis 1902 gewonnen und ging dann erst wieder 1969 in dauerhaften Abbau.
- Gneis bei Steigen. Bei Steigen, Provinz Nordland, steht seit 1989 ein mittel- bis grobkörniger, fein gebänderter, rosa Orthogneis in Abbau, der im Handel unter den Namen Nordland Rose oder auch Arctic Pink bekannt ist (Abb. 5-70).
- Syenit von Anfinnsletta bei Lødingen. Ein schwarzer, strukturloser, mittel- bis grobkörniger, massiver Syenit, der schon einmal zwischen 1910 und 1940 und nun wieder seit 1985 regelmäßig abgebaut wurde bzw. wird und unter der Bezeichnung Arctic Black vertrieben wird (Abb. 5-71).
- Seifenstein von Grunnes bei Målselv, der als grau-grüner, feinkörniger und strukturloser Seifenstein ausgebildet ist. Er ist seit Abbaubeginn im Jahr 1997 im Handel unter seiner Lokalität bekannt (Abb. 5-72).
- Quarzit aus Steinbrüchen in Naranes (regelmäßiger Abbau seit 1998) und Riebanvarri (regelmäßiger Abbau seit 2000), beide Gemeinde Kautokeino, genauer ein grünlich (Fuchsit)-weiß (Quarz)-schwarz (Biotit) schlieriger bzw. fein gebänderter, fein- bis mittelkörniger Quarzit, der unter der Handelsbezeichnung Masikvartsitt auf dem Markt ist.
- Quarzschiefer aus einem Steinbruch gegenüber von Straumfjordnes, Gemeinde Nordreisa, der schon seit 1895 von wechselnden Besitzern abgebaut wird und derzeit unter der Bezeichnung Reisa Kvartsitt erhältlich ist.
- Quarzitschiefer aus zahlreichen Steinbrüchen bei Skomakerdalen (seit 1860), Peska (seit 1905), Raftesvarre-Østerhaugne (seit 1905), Detsika (seit 1906), Langvatnet (seit 1920) und Stilla (seit 1928), alle bei Alta. Die in diesem Raum inmitten der Kaledoniden

gewonnenen grauen, feinkörnigen und schiefrig brechenden Quarzitschiefer werden seit langem unter der Bezeichnung Altaskifer vermarktet. Die entsprechenden Steinbrüche bei Polfjellet (Talvikskifer), Talvik, Borrås, Nalganas, Romsdal, Detsika Øst und Skaidi wurden bereits stillgelegt, das Vorkommen Østerelvdalen vest wurde für eine zukünftige Gewinnung exploriert (HELDAL & LUND 2000) (Abb. 5-74).

- Gneis bei Nyelv (seit 1994) nahe Grasbakken auf der Südseite des Varangerfjords in der Gemeinde Nesseby. Dieser rote, fein- bis mittelkörnige, migmatitische, 2,8 Ga alte Gneis wird unter der Bezeichnung Barents Red auf dem Weltmarkt vertrieben (Abb. 5-76).

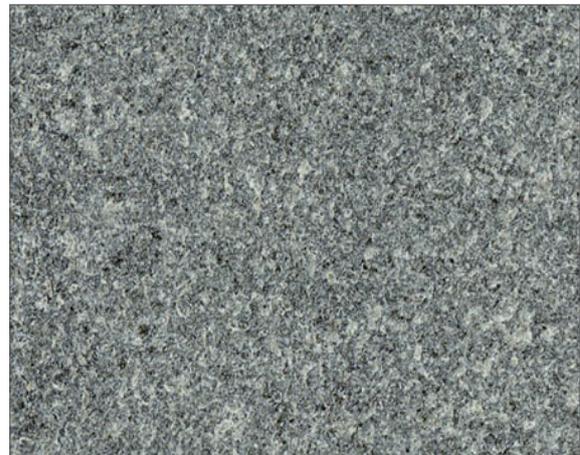


Abb. 5-74: Polierte Platte aus typischem ALTASKIFER, Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.



Abb. 5-75: Polierte Platte aus Barents Blue Gneis, Foto: NGU-THE NATURAL STONE DATABASE.

Zudem sind aus dem Projekt Pnastina (Promotion of Natural Stone Industry in the Northern Areas) aus Nordnorwegen zahlreiche weitere, derzeit nicht regelmäßig in Abbau stehende bzw. bedeutende ehemalige Vorkommen folgender Naturwerksteine bekannt:

Granit

- Løkta/Dønna (rot), Hamnes/Lødingen (schwarz, periodischer Abbau), Nordskotvika/Steigen (rosa), Hundholmen/Tysfjord (grau), Bognes/Tysfjord (rosa),

Amphibolit

- Baltsfjord/Lenvik (schwarz, gebändert, mittelkörnig),

Marmor

- Kjeldebotn/Ballangen (rosa, mittelkörnig, gebändert, vorgesehener Handelsname Kjeldebotn Marble), Hekkelstrand/Ballangen (weiß, fein gebändert, fein- bis mittelkörnig, stillgelegt, Handelsname Hekkelstrand Marble), Moldforbukta/Beiarn (weiß, massiv), Nordland/Beiarn (hellgelblich-weiß), Vetten/Fauske (weiß, strukturlos), Brenne/Saltdal (gelb, fein- bis mittelkörnig, gebändert, periodischer Abbau, Handelsnamen Saga Rose Marmor, Krystallitt), Saksenvika nord/Saltdal (schwarz), Kvanndalen vest/Skjerstad (rosa, fein- bis mittelkörnig, konglomeratisch), Ljøsenhammeren nord/Skjerstad (rosa, fein- bis mittelkörnig, konglomeratisch), Ljøsenhammeren syd/Skjerstad (rosa, mittelkörnig, gebändert, periodischer Abbau, Handelsname Skjerstad Sun), Ljøsenhammeren/Skjerstad (rosa, mittelkörnig, gebändert, stillgelegt, Handelsname Midnight Sun Marmor), Nordre Kalkinn/Skerstad (grau, gebändert), Storvika/Skjerstad (rosa, fein- bis mittelkörnig, konglomeratisch, periodischer Abbau, Handelsname Nordland Rose Marmor, früher auch Arctic Rose Marmor), Kvanndalen øst/Skerstad (grau, gebändert), Djupvik/Sørfold (grau, gebändert, fein- bis mittelkörnig), Megården/Sørfold (rosa, gebändert, mittelkörnig, vorgesehener Handelsname Megården Marmor), Buvika/Sørfold (weiß),

Phyllit

- Hammarnes/Lebesby (schiefrig, feinkörnig, stillgelegt, Handelsname Friarfjordskifer),

Quarzitschiefer

- Loppa/Loppa (grau, schiefrig, stillgelegt, Handelsname Loppaskifer), Svartnes/Balsfjord (grau), Lilandfjellet/Nordreisa (grau),

Schiefer

- Grasaksla/Alta (grau), Skaiti/Saltdal (dunkelgrau, feinkörnig, stillgelegt, Handelsname Skaitiskife), Kalvenes/Tana (grau),

Seifenstein

- Kvitfjell/Hamarøy (grau, massiv), Ridoalggicohkka 1248/Hamarøy (grau, massiv), Ridoalggicohkka 1196/Hamarøy (grau, massiv), Nåva/Hamarøy (grau), Gaskavarri/Hamarøy (grau, massiv), Njaskasvarri 833/Hamarøy (grau, massiv) [zu allen Seifensteinvorkommen auf dem Gebiet der Gemeinde Hamarøy vgl. Talk], Ørjedalen/Hattfjelldal (grau, massiv), Kleberberget/Målselv (grau, massiv), Hesjetuva/Tysfjord (grau, massiv),

Serpentinit

- Altermark/Rana (grün, massiv),

Syenit

- Skutvik/Hamarøy (schwarz, massiv, strukturlos, mittel- bis grobkörnig).

NORDFINNLAND

Finnland besitzt bekanntermaßen ebenfalls ein großes Naturwerksteinpotenzial, wobei 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 einige Abbaustellen, wobei sich nicht alle gebräuchlichen Handelsnamen auch exakt einer Abbaulokalität zuordnen lassen. Aus dem arktischen Teil Lapplands stammen jedoch:

- Lappia Green, ein durch Cr-Anteile grün gefärbter, feinkörniger Dolomitmarmor mit

weißen Schlieren (vgl. Abb. 5-77). Die polierte Oberfläche ist häufig dicht mit gelben Pyrit- und schwarzen Magnetitkristallen besetzt, so dass dieser Naturwerkstein nur im Inneren eingesetzt werden kann. Die zwei aktiven Steinbrüche liegen bei Sinermänpalo nahe Kittilä und stehen seit 1976 in Abbau.

- Lappia Ruska („Herbstliches Lappland“), ein braun gefärbter Dolomitmarmor aus der rund 2,06 Ga alten Rantamaa-Formation. Er stammt aus einem seit vielen Jahrzehnten in Abbau stehenden kleinen Steinbruch bei Louepalo.
- Lappia Saga, ein mehrfarbiger Marmor aus einem Steinbruch zwischen Tornion und Kukkolankoski.

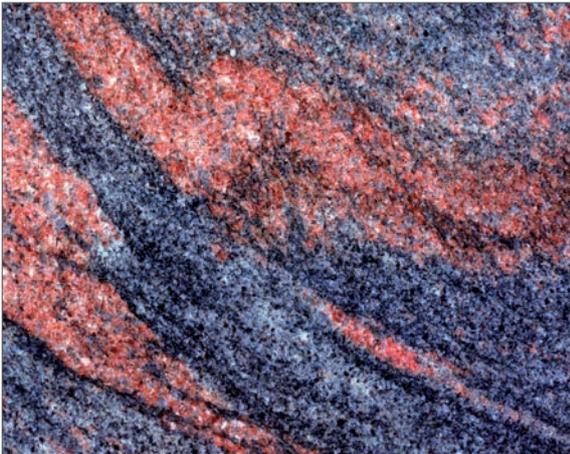


Abb. 5-76: Polierte Platte aus Barents Red Gneis von Nyelv, aus RAMBERG et al. (2008).

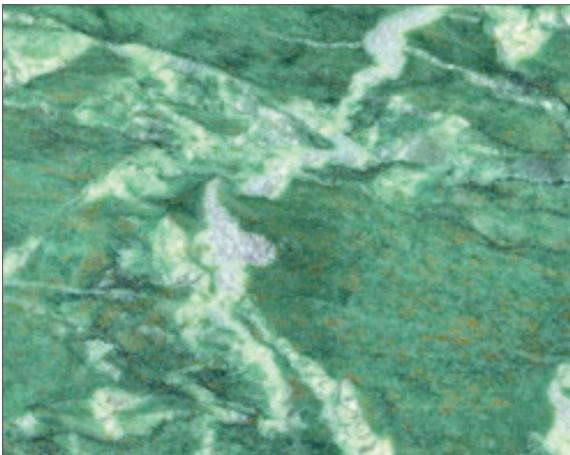


Abb. 5-77: Polierte Platte aus Lappia Green Marmor, Foto: FINNISH NATURAL STONE ASSOCIATION.

- Lappia Black, ein tiefschwarzer und deshalb sehr geschätzter Gabbro aus der Gemeinde Keminmaa, unweit südlich des Polarkreises gelegen.
- Lapponia Brown, ein ehemals in einem kleinen Steinbruch bei Sakiatieva, nahe Ruosselkä, abgebauter grobkörniger, bräunlicher Granit.
- Inari White, ein geschätzter, für den Innen- und Außenbereich verwendbarer Anorthosit (s. Abb. 5-78), dessen Abbau wegen zu hoher Transportkosten jedoch wieder eingestellt wurde. Er stammt aus der Umgebung des kleinen Dorfes Angeli („Angeli-Anorthosit“), das direkt an der Grenze zu Norwegen liegt.
- Arcticum Red, oder auch Meltaus Red, ein rostfarbener Granit aus dem Umgebung des Städtchens Meltaus.
- Lokkia White Willow, ein leicht getönter glitzernder Quarzit, der v. a. im Gartenbau eingesetzt wird. Der entsprechende Steinbruch steht seit 1982 in Abbau und liegt bei Lokka in der Flächengemeinde Sodankylä.

Weitere Gewinnungsstellen von Quarzit in der Gemeinde Sodankylä befinden sich bei Kaarestunturi (Gesteine der 1,85 Ga alten Kumpu-Gruppe) und bei Orakoski (Arkosequarzit).

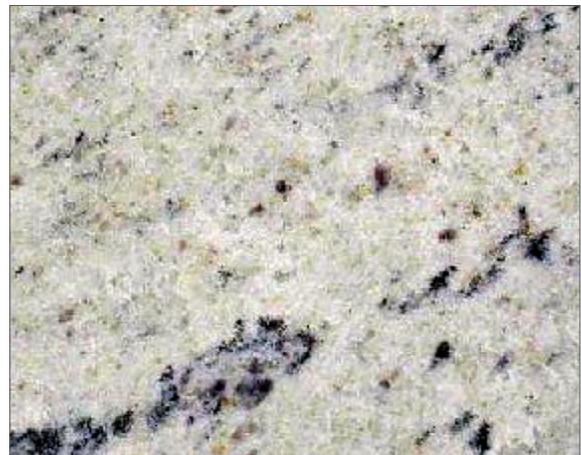


Abb. 5-78: Polierte Platte aus Inari White Anorthosit, Foto: FINNISH NATURAL STONE ASSOCIATION.

5.1.4 Zusammenfassung und Bewertung

Der arktische Gebietsanteil Skandinaviens ist überaus reich an Rohstoffvorkommen, wobei bisher in Finnland nur ein kleiner Teil dieser zahlreichen Vorkommen exploriert ist. Im Gegensatz hierzu kann der lagerstättengeologische Kenntnisstand in Norwegen und Schweden als gut bis sehr gut eingestuft werden. In diesen beiden Ländern sind daher auch wesentlich weniger Neuentdeckungen zu erwarten und die Exploration konzentriert sich

auf die genauere Untersuchung und Wirtschaftlichkeitsberechnung schon seit längerer Zeit bekannter Lagerstätten. Die Entdeckung weiterer bauwürdiger Mineralvorkommen in Nordskandinavien hängt nicht von einer möglichen zukünftigen Klimaerwärmung, sondern dem Einsatz moderner geophysikalischer Explorationsmethoden ab. Einen Überblick über das spezifische Rohstoffpotenzial, wie es sich derzeit abzeichnet, gibt Tab. 5-8.

	kleinere Vorkommen	bauwürdige Vorkommen	bedeutende Vorkommen	Vorkommen von Weltrang
Eisen			N, F	S
Titan und Vanadium	S	N, F		
Kupfer		N, F		S
Gold	N		S*	F
Silber	N, S			
Platingruppenmetalle			F	
Blei/Zink	S	F	N	
Molybdän	N, S, F			
Wolfram		F		
Mangan	S, F			
Nickel	S	N	F	
Chrom, Niob		F		
Seltene Erden		S		
Beryllium		N		
Uran	S	N, F		
Calciumkarbonat				N
Dolomit, Nephelinsyenit			N	
Feldspat, Graphit	S	N		
Quarz und Quarzit				N
Kaolin	F			
Talk	S			N
Phosphat	N		S, F	
Baryt	S			
Magnesit und Brucit	S	N		
Glimmer, Disthen		N		
Asbest		S		
Olivin	N			
Naturwerksteine		F	N	

Tab. 5-8: Zusammenfassende Bewertung des Rohstoffpotenzials der nordskandinavischen Arktis – soweit derzeit bekannt. N = Norwegen, S = Schweden, F = Finnland * = beibehrend

5.2 Kola-Halbinsel

5.2.1 Metallische Rohstoffe

5.2.1.1 Eisen

Die russische Kola-Halbinsel beinhaltet Vorräte (A – C2) von ca. 1.342 Mio. t magmatischen Eisenerzes mit 311 Mio. t Fe-Inhalt sowie von 689 Mio. t Eisenquarziterzes mit 230 Mio. t Fe-Inhalt.

Von großer Bedeutung sind dabei drei NW-SE streichende Gürtel aus Eisenquarziten (BIF-Eisenerze), die mit basischen Gesteinen vergesellschaftet sind (Olenegorsk-Grünsteingürtel).

Der nördliche Gürtel erstreckt sich zwischen dem Großen Litsafluss im NW und der Kolabucht, ca. 10 km nördlich von Murmansk. Der Magnetit-Quarzitkörper liegt konkordant in den umgebenden archaischen Gneisen und bildet Linsen und Schlieren von einigen zehner Metern Dicke und

150 – 300 m Länge. Die Fe-Vorräte in diesem Gürtel sind gering; es werden nur zwei Vorkommen, bei Pinkel'javr und am Berg Polovinnaya, ausgehalten. Das Eisenerzvorkommen von Pinkel'javr besitzt Erzreserven von 70,3 Mio. t und zusätzlich Erzressourcen von 123 Mio. t mit einem Gehalt von durchschnittlich 22,6 % Fe. Das genetisch sehr ähnliche Vorkommen am Berg Polovinnaya beinhaltet Reserven von 32,5 Mio. t und zusätzlich Ressourcen von 115 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 23,09 % Fe (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Der zweite Gürtel mit Eisenquarziten verläuft inmitten archaischer Granite in der Voronya Tundra (Anm.: mit Tundra werden auf der Kola-Halbinsel Gebirgsmassive bezeichnet), rund 100 km SE von Murmansk. Die Magnetit-Quarzitkörper lagern in Biotitschiefern und Amphiboliten und erreichen 500 – 800 m Länge und 20 – 30 m Breite. Bei Sholt'javr lagern Reserven von 62,6 Mio. t und zu-

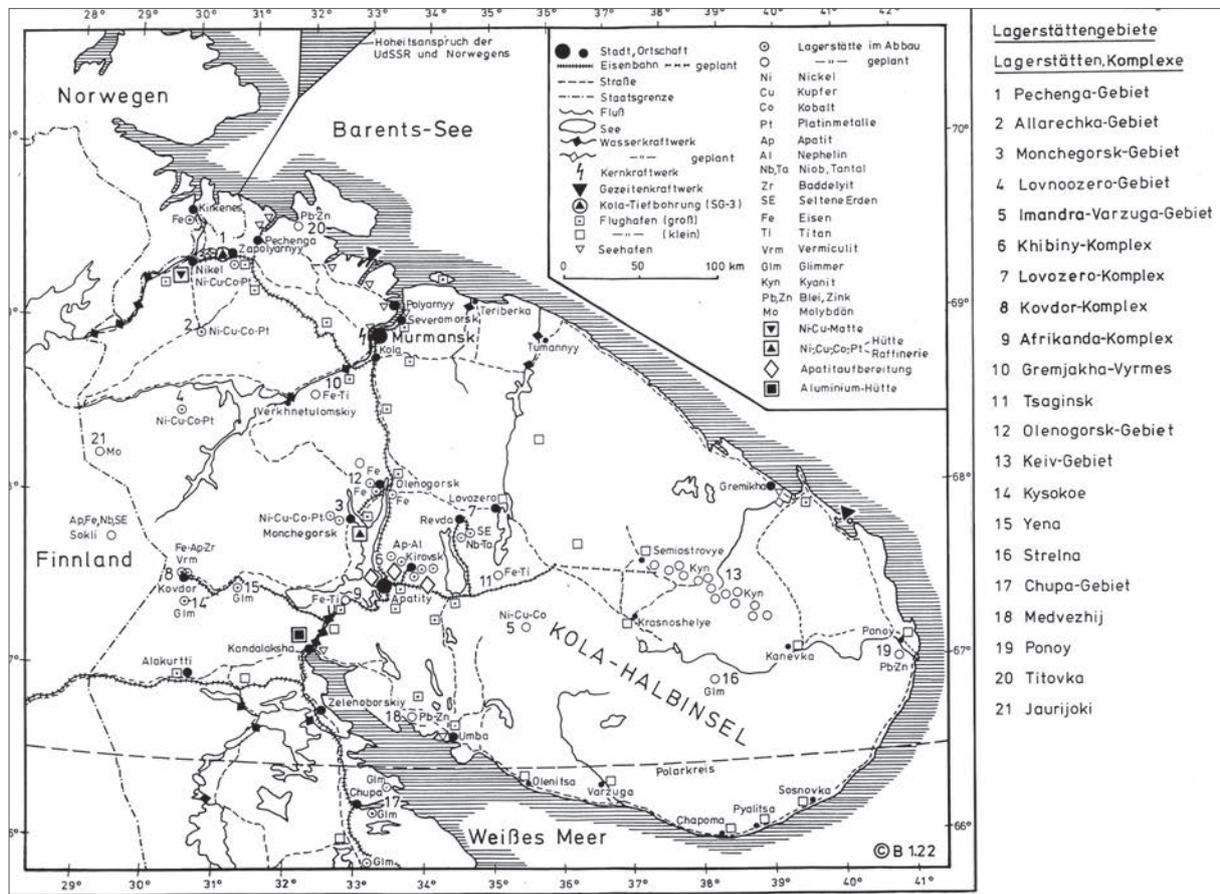


Abb. 5-79: Wichtige Lagerstätten und Reviere auf der Kola-Halbinsel, aus DALHEIMER et al. (1988).

sätzlich Ressourcen von 63,8 Mio. t Erz mit durchschnittlich 21 % Fe (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Am bedeutendsten ist der dritte, der Zaimandra-Gürtel, der sich über 1.600 km² Fläche von Kirovsk im NW bis südlich Murmansk erstreckt. Dieses Erz ist an jungarchaische Biotit- und Amphibolitgneise gebunden. Die Haupterzminerale sind Magnetit, Pyrit, Pyrrhotin und deutlich untergeordnet Hämatit. Im Einzelnen werden drei NW-SE-streichende Erzzonen unterschieden (vgl. Abb. 5-80 und 5-81):

- Die östliche Zone mit den Erzkörpern:
 - Olenegorskoe (nahe dem gleichnamigen Städtchen): Details s. u.
 - Komsomol'skoe (10 km SE von Olenegorsk): Erzkörper von 2.700 m Länge und 50 – 70 m Breite, Streichrichtung NW-SE, Einfallen 60 – 80° SW,

metamorph überprägter Amphibolit-Magnetit- und Pyroxen-Amphibol-Magnetit-Quarzit mit durchschnittlich 29,2 % Fe, Abbau (Tagebau) seit 1989, Gesamtvorräte 166,12 Mio. t Erz. Die in der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE für den Zeitraum 1989 bis Ende 2004 genannte Abbaumenge von 5,6 Mio. t Erz ist unglaublich. Nach Informationen des Betreibers Severstal liegt die jährliche Produktionskapazität aus dieser Lagerstätte derzeit bei rund 1,2 Mio. t Erz.

- Ayvar bzw. Aivar (8 km NW Olenegorsk): Ausstrich auf 3,8 km² Fläche in Biotit- und Sillimanit-Biotit-Granat-Gneisen, Magnetit-Amphibol-Pyroxen- und Amphibol-Magnetit-Quarzite mit begleitenden Skarnoiden, Reserven von 75,9 Mio. t und zusätzlich Ressourcen von 591 Mio. t Erz mit

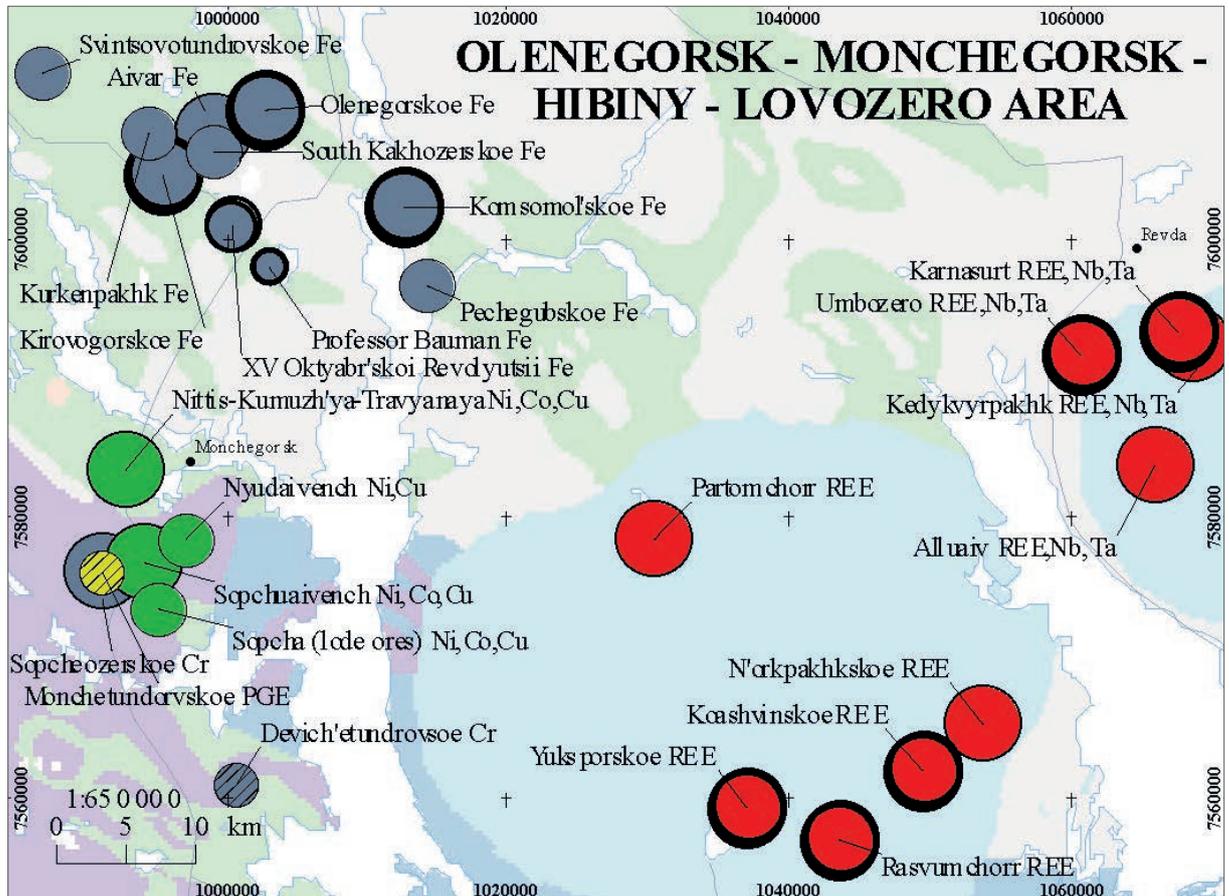


Abb. 5-80: Metall Erzmineralisationen im Olenegorsk-Gebiet (Fe), Monchegorsk-Gebiet (Ni-Cr-PGM), Hibiny-Gebiet (SE), Lovozero-Gebiet (SE). Legende s. Abb. 4-8. Ausschnitt aus Eilu et al. (2008).

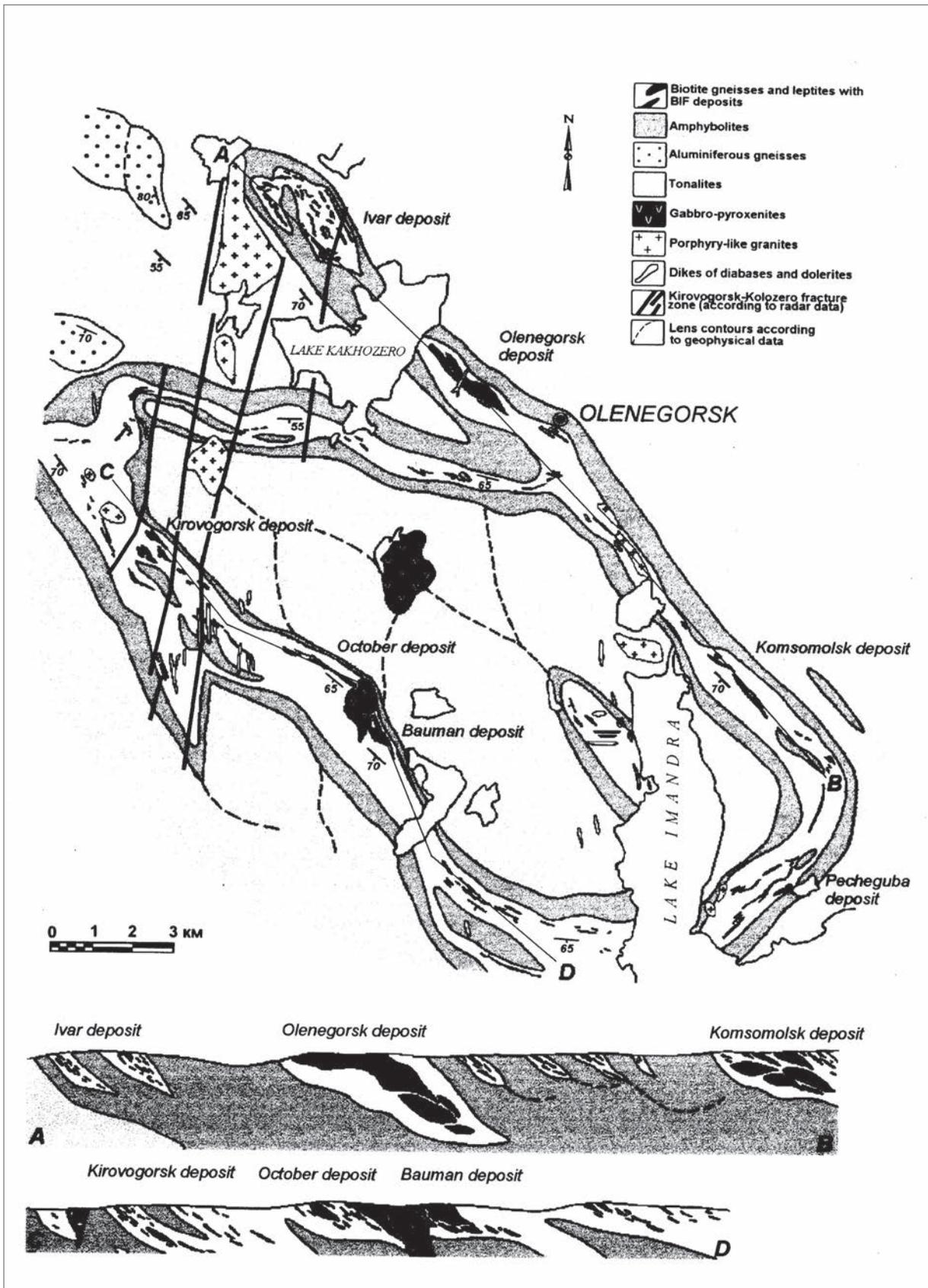


Abb. 5-81: Geologische Übersichtskarte und Profilschnitte durch die Eisenerzlagertstätten um Olenegorsk, aus GORYAINOV & IVANYUK (1998).

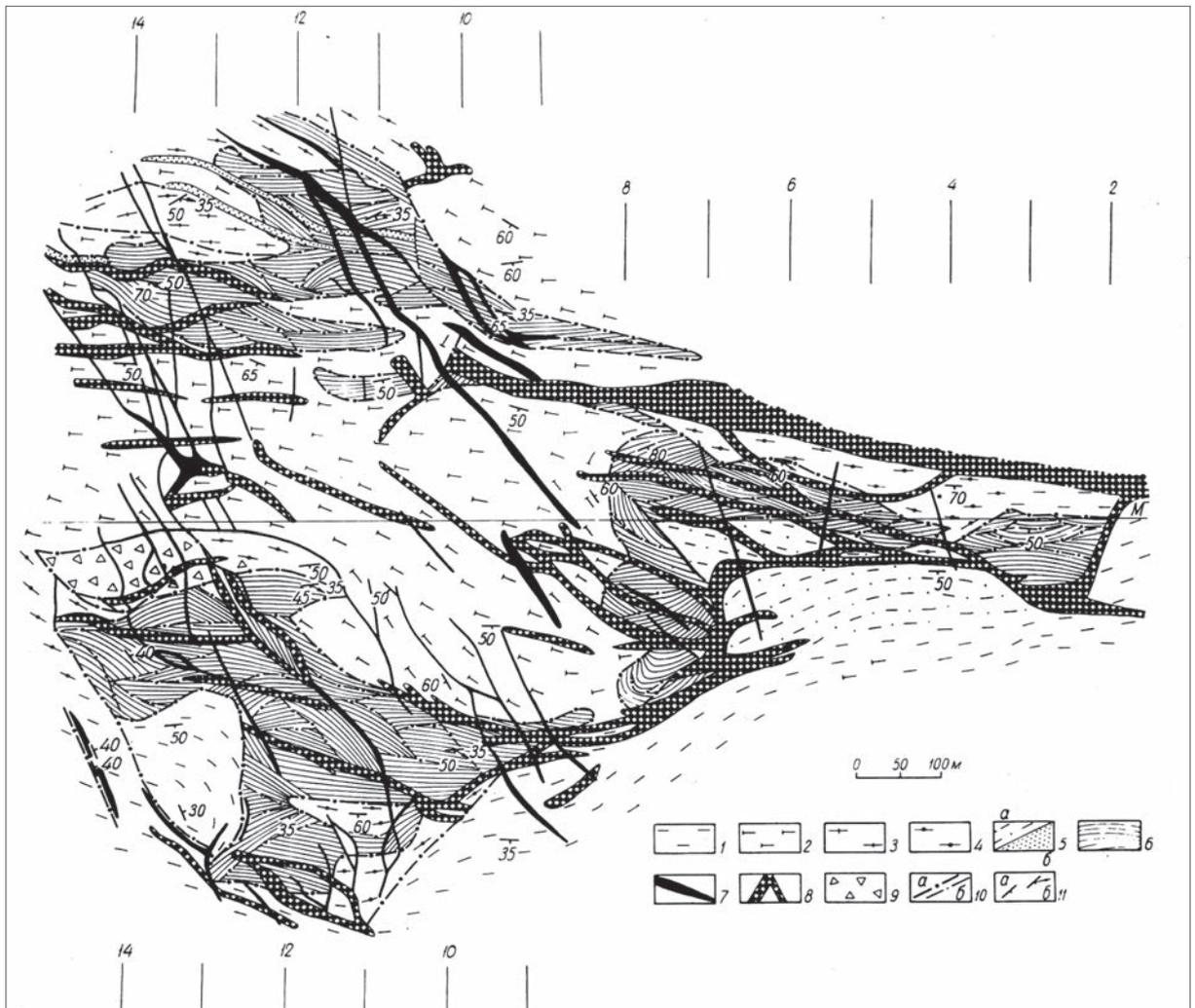


Abb. 5-82: Geologische Detailkarte der Kirova-Gora-Eisenerzlagerstätte, aus GORYAINOV & IVANYUK (1998).

1: saure Gneise 2: Al-haltige Gneise mit Knollentextur 3: Biotitgneise mit Brekzientextur 4: kieseliges Eisenerz 5: Diabase, Dolerite 6: Pegmatite 7: Grenzen von Intraerzblöcken mit gleichen Muttergesteinen 8: Schieferung und Vergneisung 9: Streichen und Einfallen

durchschnittlich 29,6 % Fe, nach ZITZMANN (1976b) durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Eisenquarzite: 30,56 % Fe, 51,66 % SiO₂, 0,43 % Al₂O₃, 3,05 % CaO, 2,46 % MgO, 0,12 % Ti, 0,12 % Mn und 0,28 % S.

- Pechegubskoe (15 km SE von Olenegorsk): Reserven von 23,56 Mio. t und zusätzlich Ressourcen von 188 Mio. t Erz mit durchschnittlich 33 % Fe. Nach GORYAINOV et al. (1997) betragen die Erzreserven dagegen rund 60 Mio. t.

Der 1932 entdeckte, seit 1954 im Tagebau und seit 2005 auch unter Tage abgebaute Olenegorsk-

Erzkörper besteht aus einem 2,8 km langen und bis 350 m breiten zentralen Erzgürtel und einem 40 – 50 m breiten südöstlichen Erzgürtel. Beide fallen nordwestwärts bis 300 – 400 m Teufe, südostwärts bis 760 m Teufe ein und sind auch sonst stark verfaltet (Abb. 5-83). Die Erzlagen bestehen aus Pyroxen-Amphibol-Magnetit-Quarzit mit einer inneren Zone aus Amphibolit-Hämatit-Quarzit, begleitet von Mikroklin und Pyroxen-Plagioklas-Skarnoid. Das Verhältnis von Magnetit zu Hämatit ist 3 zu 1. Zusätzlich treten Tremolith, Aktinolith, Cummingtonit, Pyroxene, Na-Amphibole, Calcit, Siderit und selten Sulfide auf. Zur chemischen Zusammensetzung s. Tab. 5-9. Die Erzvorräte betragen nach der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE ur-

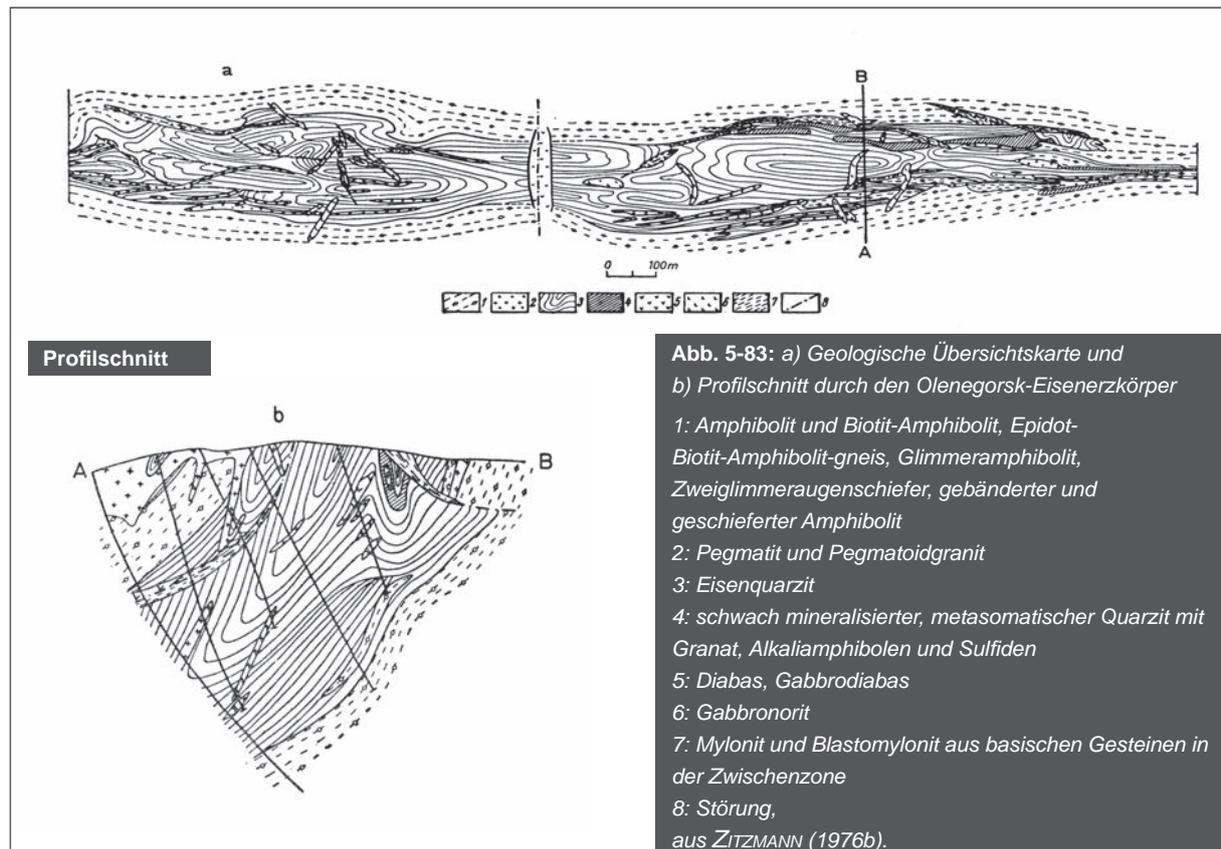
sprünglich 488 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 30,6 % Fe, von denen bis Ende des Jahres 2006 75,06 Mio. t abgebaut worden waren. Nach Informationen des Betreibers Severstal liegt die jährliche Produktionskapazität aus dem Tagebau derzeit bei rund 2,8 Mio. t Erz und aus dem Bergwerk bei 1,5 Mio. t Erz.

- Die zentrale Zone mit den Erzkörpern:
 - Kirova Gora bzw. Kirovogorskoe (10 km SW von Olenegorsk): Erzkörper in Form eines verbogenen Flözes von 1.250 m Länge und 40 – 50 m Breite, metamorph überprägtes Magnetit Erz mit wenig Hämatit: 33 % Fe, 40 – 44 % SiO₂, 1,3 – 1,5 % CaO, 0,8 – 2,8 % MgO, 0,5 – 0,8 % Al₂O₃, 0,11 % S und 0,035 % P, im Abbau (Tagebau) seit 1978, Gesamtvorräte 266,32 Mio. t Erz, davon Reserven 49,92 Mio. t Erz mit durchschnittlich 30,3 % Fe. Die in der Fennoscandian Ore Deposit Database für den Zeitraum 1978 bis Ende 2006 genannte Abbaumenge von 6,4 Mio. t

Erz ist unglaublich. GORYAINOV et al. (1997) geben dagegen zwischen 1978 und Ende 1996 abgebaute Erzmengen von 53,739 Mio. t (cut-off 14 % Fe) mit 1,0282 Mio. t Fe-Inhalt sowie verbliebene bauwürdige Reserven (B+C1-Kategorien) zum 1.1.1997 von 66,665 Mio. t Erz an. Nach Informationen

	Magnetit-Quarzitzerz	Magnetit-Hämatit-Quarzitzerz
Fe	33,8	51,1
SiO ₂	46,0	42,1
Al ₂ O ₃	1,4	0,7
CaO	2,6	1,2
MgO	2,1	2,0
Ti	0,06	0,05
Mn	0,03	0,39
P		0,035
S		0,046

Tab. 5-9: Chemische Zusammensetzung (in M.-%) der Eisenquarzitzerze von Olenegorsk, aus DALHEIMER et al. (1988).



Profilschnitt

Abb. 5-83: a) Geologische Übersichtskarte und b) Profilschnitt durch den Olenegorsk-Eisenerzkörper
 1: Amphibolit und Biotit-Amphibolit, Epidot-Biotit-Amphibolit-gneis, Glimmeramphibolit, Zweiglimmeraugenschiefer, gebänderter und geschieferter Amphibolit
 2: Pegmatit und Pegmatoidgranit
 3: Eisenquarzit
 4: schwach mineralisierter, metasomatischer Quarzit mit Granat, Alkali amphibolen und Sulfiden
 5: Diabas, Gabbrodiabas
 6: Gabbronorit
 7: Mylonit und Blastomylonit aus basischen Gesteinen in der Zwischenzone
 8: Störung, aus ZITZMANN (1976b).

- des Betreibers Severstal liegt die jährliche Produktionskapazität aus dieser Lagerstätte derzeit bei rund 3,9 Mio. t Erz.
- Professor Baumann (8 km SE von Kirova Gora): Bis Ende 2006 sollen nach FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE 44,83 Mio. t Erz gewonnen worden sein, die verbliebenen Reserven belaufen sich auf 16,17 Mio. t Erz. Nach Informationen des Betreibers Severstal liegt die jährliche Produktionskapazität aus dieser Lagerstätte derzeit bei rund 2,9 Mio. t Erz.
 - Zheleznaya Varaka (14 km SE von Kirova Gora).
 - Süd Kakhozerskoe bzw. Yuzhno-Kakhozerskoe: Reserven von 45,54 Mio. t Erz mit durchschnittlich 29,1 % Fe.
 - Kurkenpakhk: Reserven von 15,26 Mio. t Erz und zusätzlich Ressourcen von 27 Mio. t Erz mit durchschnittlich 30,1 % Fe.
 - XV. Oktyabr'skoi Revolyutsii: Die in der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE für den Zeitraum 1986 (Abbaubeginn) bis Ende 2006 genannte Abbaumenge von 7,5 Mio. t Erz aus dieser Lagerstätte ist unglaubwürdig. Die verbliebenen Reserven zu diesem Zeitpunkt sollen 27,94 Mio. t Erz, die Ressourcen weitere 29 Mio. t Erz mit durchschnittlich 29,7 % Fe betragen haben. Nach Informationen des Betreibers Severstal liegt die jährliche Produktionskapazität aus dem fördernden Tagebau derzeit bei rund 1,0 Mio. t Erz sowie
 - Svintsovotundrovskoe: diese Lagerstätte besitzt Reserven von 18,6 Mio. t und zusätzliche Ressourcen von 65,8 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 31,1 % Fe.
- Die westliche Zone mit den Erzkörpern:
 - Kutskol (35 km NW von Olenegorsk): Erzkörper von 1.300 m Länge und 50 – 70 m Breite, durchschnittliche chemische Zusammensetzung des Magnetitquarzits: 37,89 % Fe, 56,64 % SiO₂, 1,94 % CaO, 1,89 % MgO, 0,08 % Ti

und 0,13 % Mn,

- Volch'etundrovskoe: Gesamtvorräte von 108,1 Mio. t Erz, davon das meiste als Reserven klassifiziert mit durchschnittlich 22,09 % Fe,
- Yukspor (33 km NW von Olenegorsk),
- Krasnaya Lambina (28 km NW von Olenegorsk) und
- Priozero (23 km NW von Olenegorsk) (ZITZMANN 1976b).

Das produzierte „normale“ Eisenerzkonzentrat soll 65,5 % Fe, „Hochfokonzentrat“ 69 % Fe und ein „Superkonzentrat“ 72 % Fe enthalten. Zusätzlich werden in großen Mengen Quarzitschotter produziert (MEYER 1988).

Weitere Eisenquarzitvorkommen auf der Kola-Halbinsel finden sich im Kolmozero-Voronja-Grünsteingürtel und in den Annamsky, Zatulomsky, Zentralkola (Chudzjavr) sowie den nordwestlichen Terranes der Kola-Halbinsel. Die dortigen Erzkörper sind jedoch klein und erreichen nur 5 – 30 m Breite bei 100 – 800 m Länge. Der dortige durchschnittliche Fe-Gehalt übersteigt nicht 25 % (MITROFANOV et al. 1995).

Neben Eisenquarziten stellen auch Intrusivkomplexe wichtige Eisenmineralquellen auf der Kola-Halbinsel dar (vgl. auch Titan und Vanadium).

Der Kovdor-Intrusivkomplex liegt rund 130 km westlich von Kirovsk, unweit der finnischen Grenze. Er wurde 1933 entdeckt und nach dem 2. Weltkrieg exploriert. Seine Oberfläche umfasst ca. 37 km². Der Komplex intrudierte im Mitteldevon (380 – 360 Ma) in mehreren Phasen in archaische Biotit-Oligoklasgneise. Bildlich stellt er einen vertikalen, bis in mindestens 12 km Teufe reichenden Pfropfen dar, der von alt nach jung aus Ultrabasiten, Oliviniten, Pyroxeniten, Ijolit-Melteigit-Gesteinen, Meliliten, Apatit-Forsterit- und Magnetitserzen, Dykes, Gängen und Linsen aus Karbonatit sowie Nephelinsyenit besteht (vgl. Abb. 5-84). Er besitzt eine konzentrische Struktur und ähnelt in seinem ultrabasischen Kern aus Pyroxeniten, Pyroxen-Olivin reichen Gesteinen und Oliviniten sehr den Pyroxeniten und Phoscoriten des bekannten Palabora-Komplexes in Südafrika (ILYIN 1989).

Zusammen mit umgebenden Apatit-Forsterit-Gesteinen (s. Phosphat) bilden Magnetiterte im Südwesten des Kovdor-Komplexes einen ca. 1,3 km langen, 100 bis 800 m breiten sowie 100 – 200 m mächtigen und mit 70 – 90° einfallenden „Erzkörper“. Das Magnetiterte tritt in Ijolithen und Pyroxeniten auf und ist teils gebändert, fein verteilt, fleckig oder auch massiv ausgebildet (Bänder-, Imprägnations- und Derberze). Man unterscheidet Apatit-Forsterit-Magnetiterte (Phoscorit), Forsterit-Magnetiterte, Phlogopit-Apatit-Forsterit-Magnetiterte, Phlogopit-Magnetiterte und Calcit-Magnetiterte sowie diverse Unterarten. Die Mineralparagenese besteht im Wesentlichen aus Magnetit (38 %), Apatit (16 %), Forsterit (22 %), Calcit (14 %), Phlogopit (s. Glimmer), Pyrit und Baddeleyit (s. Baddeleyit). Untergeordnet kommen auch noch viele andere Minerale, darunter radioaktiver Pyrochlor (Nb, Ta) und Zirkonolith (Nb, SE, Ta), vor (WILLIAMS 1996).

Der Kovdor-Komplex steht seit 1961 auf Eisenerz im Abbau. Phlogopit wird seit 1963 und Vermikulit zusätzlich seit 1974 gewonnen. Seit 1975 werden Apatit und seit 1976 auch Baddeleyit und zeitweilig auch Cu-Sulfide ausgebracht (VERHULST et al. 2000). Von den ursprünglichen Erzreserven (cut-off 19 % Fe) von 1.255 Mio. t (nach PARCHMANN (1991b) und Erzressourcen von rund 1.500 Mio. t mit cut-off 15 % Fe) waren bis Ende 2002 768,42 Mio. t mit einem Durchschnittsgehalt von 24,4 % Fe, 6,8 % P_2O_5 und 0,16 % ZrO_2 gewonnen worden (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

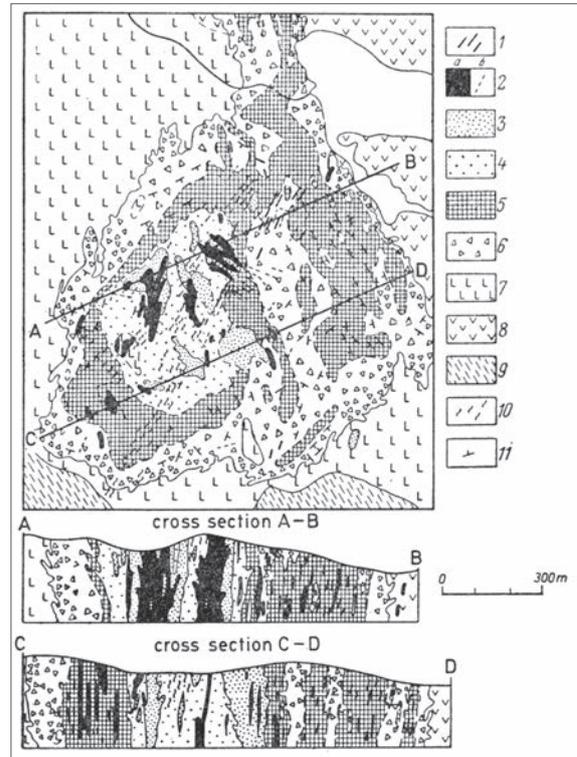


Abb. 5-84: a) Geologische Übersichtskarte und Profilschnitte durch die Kovdor- Magnetitlagerstätten, aus ZITZMANN (1976b).

- 1: Dolomitkarbonatit 2: Calcitkarbonatit
(a = unregelmäßige b = gangförmige Körper)
- 3: Calcit-Magnetiterte und Apatit-Calcit-Magnetiterte
- 4: Magnetiterte mit Calcit, Apatit-Forsterit-Magnetiterte und Phlogopit-Forsteriterte
- 5: Magnetiterte 6: Apatit-Forsteritgesteine mit Relikten von Alkaligesteinen und Pyroxeniten, z. T. in Glimmerschiefer umgewandelt
- 7: Ijolith-Urtit, Ijolith und Melteigit 8: Pyroxenit
- 9: Fenit 10: Verteilung von Frankolith
- 11: Orientierung der Magnetitgänge

	Apatit-Forsterit-Magnetiterte	Magnetiterte mit Calcit	Durchschnitt
Fe	38,80	35,63	31,5 (10 – 60)
P	2,63	2,71	2,87 (1 – 3)
S			0,19 (0,03 – 0,34)
MgO	14,50	11,38	15 – 17
CaO	10,27	14,10	11 – 12
SiO ₂	8,69	7,01	8 – 10
Al ₂ O ₃	3,38	2,61	2,5 – 3
Ti	0,36	0,41	
Mn	0,21	0,26	
V	0,04	0,03	

Tab. 5-10: Chemische Zusammensetzung (in M.-%) verschiedener Magnetiterte aus Kovdor, gekürzt nach ZITZMANN (1976b).



Abb. 5-85: Satellitenaufnahme, zentraler Tagebau Zhelezny von Kovdor, Foto: GOOGLE EARTH.

Das aus dem im Tagebau Zhelezny (s. Abb. 5-85) gewonnene Apatit-Magnetit-Baddeleyit-, „Komplexerz“ (keine selektive Erzförderung, jährlich 16 – 17 Mio. t) aufbereitete Magnetitkonzentrat (jährlich rund 6 Mio. t) enthält 63 – 69 %, durchschnittlich 65 % Fe (PARCHMANN 1991b).

5.2.1.2 Titan und Vanadium

Auch zwei der größeren Titanomagnetitvorkommen der Kola-Halbinsel sind an alkalische Intrusivgesteinskörper gebunden. Die bedeutendste hiervon ist die 1935 entdeckte Ti-Eisenerzlagstätte Afrikanda, die rund 30 km südwestlich von Apatity liegt. Sie stand Mitte der 1950er Jahre bereits für kurze Zeit in Abbau, jedoch wurde die Gewinnung wegen erheblicher Schwierigkeiten bei der Aufbereitung der Erze bald wieder eingestellt. Der während der kaledonischen Orogenese in archaische Gneise eingedrungene, rund 7 km² große Afrikanda-Pluton ist konzentrisch aufgebaut und gekennzeichnet durch eine frühe Phase von Oliviniten, Pyroxeniten, Nephelin-Pyroxeniten und einer späteren Phase von Ijoliten und verwandten Gesteinen (s. Abb. 5-86).

In den Ultrabasiten der frühen Phase befindet sich der dicke, röhrenförmige, ultrabasisch-alkalische Erzkörper mit einer Oberfläche von 0,75 km² und einer nachgewiesenen Mindesttiefe von 420 m. Das fein verteilte Erz und auch die aufgeschlossenen Pegmatite bestehen aus Perowskit, Titanomagnetit, Ilmenit, Magnetit, Olivin, Pyroxen und Phlogopit und enthalten durchschnittlich 18 % Fe,

11,1 % Ti und 0,67 % SE. Die Vorräte betragen rund 627,3 Mio. t Erz (B – C2), davon 191 Mio. t Erz (B – C1) bis 420 m Teufe (DALHEIMER et al. 1988, ZITZMANN 1976 b).

Weitere wichtige Titanomagnetitvorkommen auf der Kola-Halbinsel (vgl. Abb. 5-87) sind nach der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE:

- Lesnaya Varaka im Kovdor-Lovozero-Distrikt. Der dortige, ebenfalls im Devon eingedrungene Karbonatitkörper führt in Oliviniten halbmassive Anreicherungen von Perowskit und Titanomagnetit. Die Ressourcen betragen 311,69 Mio. t Erz mit Gehalten von 15 % Fe und 7,7 % Ti.
- Greymyacha-Vyrmes, rund 50 km südwestlich von Murmansk. Hier tritt in archaischen Peridotiten und Gabbros eine paläoproterozoische mafische Intrusion auf, die halbmassive, schlierenförmige

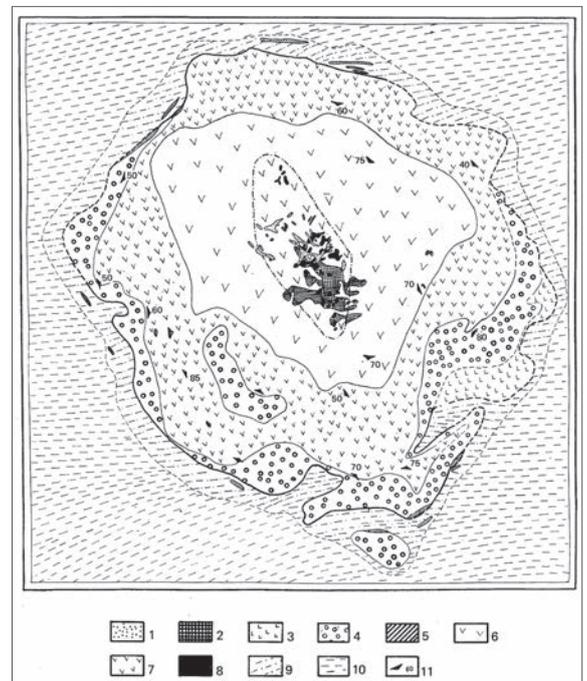


Abb. 5-86: Geologische Übersichtskarte des Afrikanda-Massivs, aus GERASIMOVSKY et al. (1974).

1: Alkalipegmatite 2: Calcit-Amphibol-Pyroxen-Gesteine
3: Melteigite 4: Nephelinpyroxenite 5: Feldspat führende Pyroxenite 6: grob- und mittelkörnige Pyroxenite
7: feinkörnige Pyroxenite 8: Olivinite 9: Fenite
10: Gneise 11: Streichen und Fallen trachytoider Strukturen.

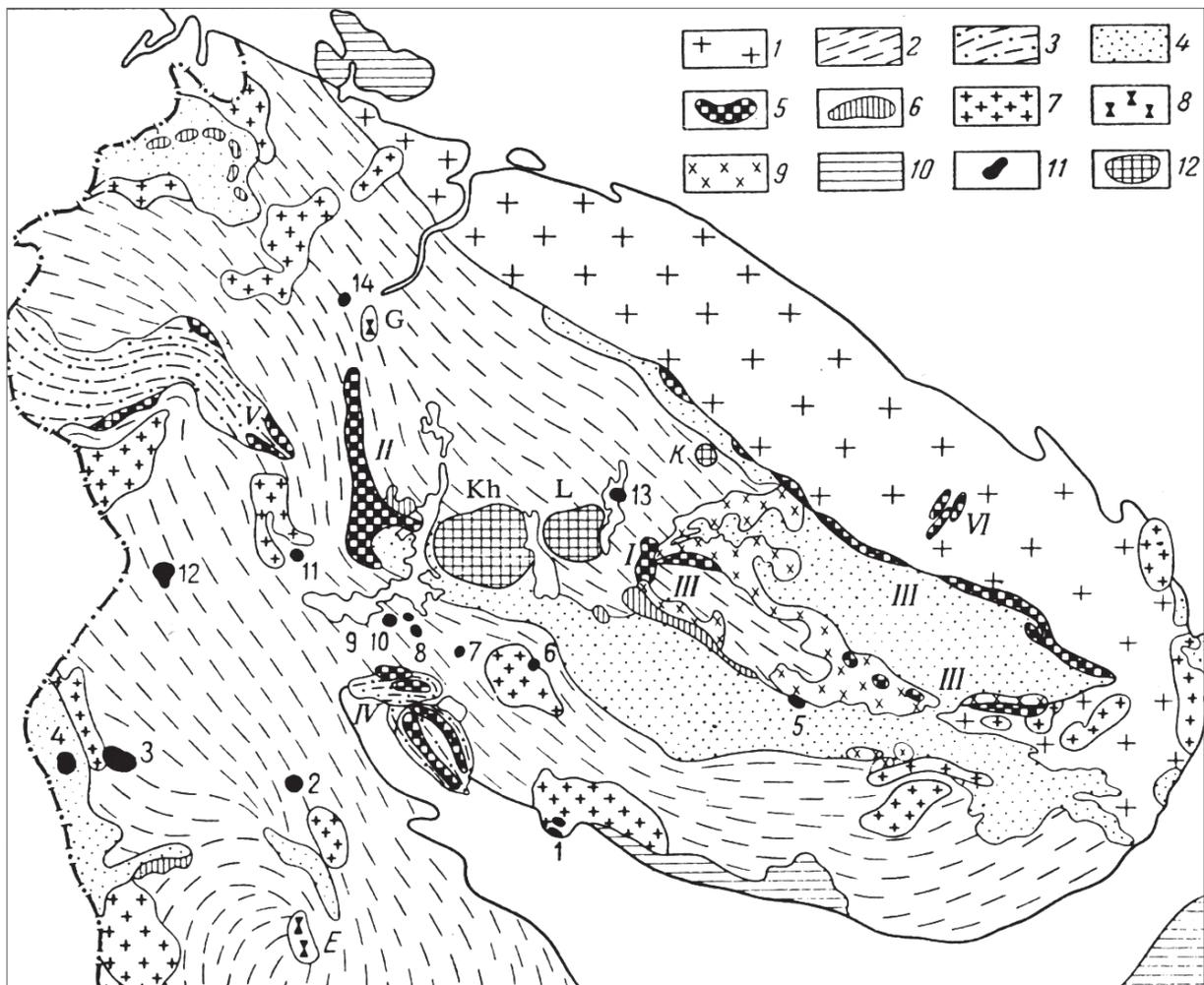


Abb. 5-87: Karte der wichtigsten Titan führenden Formationen der Kola-Halbinsel und Kareliens, aus YUDIN & ZAK (1971).

- 1: nicht weiter unterteilter Komplex aus Gneisen, granitischen Gneisen und Granitoiden archaischen Alters (Murmansk-Kristallinmassiv),
- 2: Archaischer Komplex aus Gneisen, Gneisgranuliten und Migmatiten,
- 3: Komplex aus oberarchaischen Granuliten,
- 4: Proterozoische suprakrustale und vulkanische Formationen,
- 5: Unterproterozoische Gabbro-Anorthosit-Formation mit den Massiven I-Tsaginsk, II-Haupthöhenzug, III-Keyv, IV-Kolvitskikh und Kandalaksha Tundren, V-Sal'nykh Tundra, VI-See Poger'yavr,
- 6: Proterozoische Basalt- und Hyperbasit-Intrusiva,
- 7: Proterozoische Granitoide,
- 8: Oberproterozoische Gabbro-Alkali-Formation mit den Massiven G-Gremyakha-Vyrmes, E-Yelet'ozero,
- 9: Oberproterozoische Alkaligranitintrusiva,
- 10: Jotnische und unterkambrische Subplattform- und Plattformablagerungen,
- 11: Kaledonische ultrabasische-alkalische Formation mit den Massiven 1-Mt. Turiy, 2-Kovdozero, 3-Vuorijärvi, 4-Sallanlatviysk, 5-Pesochnyy, 6-Ingozero, 7-Salmagorsk, 8-10-Intrusiva der Khabozero Gruppe, 11-Mavrugubinsk, 12-Kovdor, 13-Kurginsk, 14-Sebl'javr,
- 12: Herzynische Nephelinsyenit-Formation mit den Massiven Kh-Khibiny, L-Lovozero, K-Kontozero.

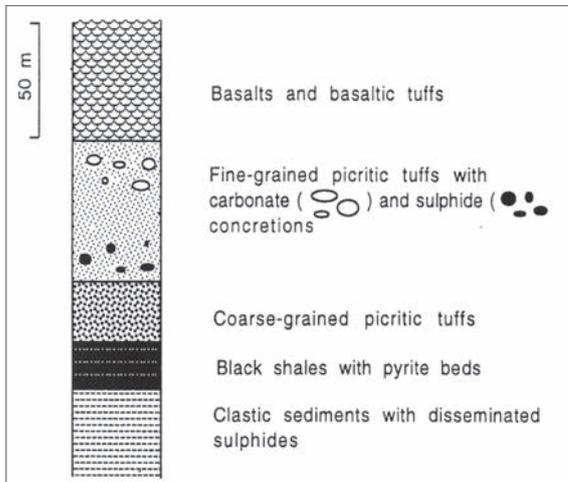


Abb. 5-88: Zusammenhang zwischen Pyritmineralisation und pikritischem Vulkanismus im oberen Abschnitt der sedimentären Einheit der Pilguyarvi-Formation, aus ABZALOV et al. (1995).

Anreicherungen von Titanomagnetit, Ilmenit, Apatit und Pyrrhotin führt. Die Reserven betragen 166,3 Mio. t Erz und die zusätzlichen Ressourcen 173,8 Mio. t Erz mit durchschnittlichen Gehalten von 21 % Fe und 7,0 % Ti.

- Yugo-Vostochnaya Gremyakh, oder auch Südost-Gremyakh, liegt wenige Kilometer südöstlich von Gremyakh-Vyrmes und ist ähnlicher Genese mit Gabbro als Muttergestein und zusätzlich Pentlandit und Chalkopyrit als Erzminerale. Die Reserven werden in der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE mit 76,5 Mio. t Erz, die zusätzlichen Ressourcen mit 10,49 Mio. t Erz mit durchschnittlich 28,3 % Fe und 13,35 % Ti angegeben. Der Aufschluss dieser Lagerstätte durch Norilsk Nickel ist mittelfristig vorgesehen. Die durch diesen Konzern festgestellten B+C1+C2-Vorräte belaufen sich auf 364,65 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 9,72 % TiO_2 (49,9 Mio. t Inhalt), 20,43 % $\text{Fe}_{\text{gesamt}}$ (105,9 Mio. t Inhalt) sowie 0,1 % V_2O_5 (585.000 t Inhalt).
- Zheleznoe, rund 90 km südlich von Apatity, besteht aus zwei Peridotitmassiven von 1 x 4 km bzw. 0,2 x 0,9 km Durchmesser mit gangförmigen Vererzungen von Magnetit, Titanomagnetit und Ilmenit in Websteriten. Die Ressourcen betragen 260 Mio. t Erz

mit Gehalten von 45 % Fe, 9,85 % Ti und 0,375 % V. YUDIN & ZAK (1971) geben ähnliche Durchschnittsgehalte von 41,1 % Fegesamt, 8,9 % TiO_2 und 0,24 % V_2O_5 an.

- Kolvitskoe liegt 30 km südöstlich der Stadt Kandalaksha und stellt eine fein verteilte Mineralisation von Titanomagnetit, Ilmenit, Pyrrhotin und Chalkopyrit in paläoproterozoischen Gabbro und Anorthositen dar. Die Reserven betragen 98 Mio. t, die zusätzlichen Ressourcen 100 Mio. t Erz mit durchschnittlich 8 % Ti und 0,45 % V.
- Tsaginskoe ist eine weitere Titanomagnetit-Lagerstätte und im Zentrum der Kola-Halbinsel gelegen. Ähnlich Kolvitskoe handelt es sich größtenteils um eine in Schlieren von bis 4 m Mächtigkeit angereicherte disseminierte Vererzung aus Titanomagnetit (bis 40 % im Erz), Ilmenit, Pyrrhotin und Chalkopyrit, jedoch in archaischen Gabbros und Gabbronoriten. Die gut erkundete Lagerstätte beinhaltet Reserven von 53,9 Mio. t Erz mit durchschnittlich 35 % Fe, 6,2 % Ti und 0,25 % V. YUDIN & ZAK (1971) nennen sehr ähnliche Durchschnittsgehalte von 36,0 % Fetotal, 7,08 % TiO_2 und 0,26 % V_2O_5 .
- Magazin-Musyur ist ein Titanomagnetit-Vorkommen im Tsaginsko-Keivskaya-Distrikt und besteht aus einer halbmassiven Anreicherung von Titanomagnetit, Ilmenit und Pyrrhotin in archaischen Gabbros und Anorthositen. Die Ressourcen betragen 120 Mio. t Erz mit durchschnittlich 28 % Fe, 5,83 % Ti und 0,5 % V.
- Ebenfalls im Tsaginsko-Keivskaya-Distrikt liegt das dem Vorkommen Magazin-Musyur sehr ähnliche Titanomagnetitvorkommen von Kuroptevskoe. Die dortigen Ressourcen betragen bei gleicher Mineralogie 35 Mio. t Erz mit durchschnittlich 34 % Fe, 8 % Ti und 0,3 % V

Die bei der Aufbereitung des Apatits aus dem Khibiny-Komplex anfallenden Flotationsrückstände enthalten ebenfalls 0,2 – 0,9 % (Aegirinkonzentrat) bzw. 1,0 – 1,5 % (Titanomagnetitkonzentrat) V_2O_5 (ANONYM 1943).

5.2.1.3 Blei, Zink und Silber

Von der Kola-Halbinsel sind keine größeren Vorkommen oder gar Lagerstätten von Blei-Zinkerzen bekannt. Die wenigen, allesamt kleineren Vorkommen konzentrieren sich an den Nord- und Südküsten der Halbinsel und sind an dünne, hydrothermale Gänge devonischen Alters mit Calcit oder Baryt als Gangmittel gebunden. Die wichtigsten Erzminerale sind Bleiglanz und Zinkblende, weit untergeordnet auch Pyrit und Chalkopyrit (ANONYM 1943).

- Bei Umba, am Golf von Kandalaksha, wurde im Jahr 1880 ein 4 – 4,5 cm breiter Bleiglangang abgebaut. Er lieferte 11,5 t Erz. Bei einer Exploration im Jahr 1890 wurde festgestellt, dass der Bleiglanz mit zunehmender Teufe gegenüber Zinkblende und dann nur noch Pyrit abnimmt (ANONYM 1943).
- Auch auf der Insel Medvezhij, 35 km westlich von Umba, streichen zahlreiche kleine Calcitgänge mit Bleiglanz und Zinkblende aus. Diese sind schon seit 1736 bekannt, als man in einem von ihnen gediegenes Silber gefunden hat. Bis 1737 wurden 436 kg (andere Quellen berichten 493 kg) Silber abgebaut (ANONYM 1943).
- Im Nordwesten der Halbinsel, nahe der norwegischen Grenze, wurden zwischen 1941 und 1944 ebenfalls kleine Gänge mit Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit und Chalkopyrit in Abbau genommen. Ein Vorkommen am Dolgaya-Fjord lieferte immerhin 961.000 t Erz mit Gehalten von durchschnittlich 3,57 % Pb und 2,43 % Zn; ein Vorkommen am benachbarten Bazarnaya-Fjord erbrachte 391.000 t Erz mit 8,96 % Pb und 5,06 % Zn (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

5.2.1.4 Nickel, Kupfer und Kobalt

Die Kola-Halbinsel besitzt bedeutende Nickel-Kupfer-Kobalt-Sulfidz Lagerstätten, die um Pechenga und Allarechka im Nordwesten sowie Monchegorsk im Zentrum abgebaut werden bzw. wurden. Daneben existieren noch teils bedeutende Nickelvorkommen im Bereich von Lovnoozero (nicht zu verwechseln mit der SE-Lagerstätte Lovozero)

sowie im Imandra-Varzuga-Gebiet. Die Gehalte an Ni, Cu und Co in unterschiedlichen Erztypen sind für einige der Lagerstätten in Tab. 5-11 aufgelistet.

Das Pechenga-Revier, benannt nach dem Hafen Pechenga (Petsamo) an einem Fjord der Barentssee, liegt im Nordwesten der Kola-Halbinsel zwischen Pechenga, Zapolyarny und Nikel. Die dortigen Ni-Cu-Lagerstätten sind mit der Intrusion eines ferropikritischen Magmas vor ca. 1,97 Ga in den etwas älteren Pechenga-Pasvik-Grünsteingürtel verknüpft.

Erztyp	Ni	Cu	Co	S
Pechenga-Revier, „Östlicher Erzknotten“				
I	0,51	0,20	0,016	
II	1,78	0,75	0,036	
III	1,96	0,93	0,035	
Flangovoe				
I	0,65	0,31	0,018	
II	2,39	1,13	0,034	
III	2,25	1,01	0,043	
Allarechka-Revier, Allarechka				
I	0,67	0,30	0,013	1,48
II	4,80	1,72	0,043	13,85
III	13,17	3,95	0,160	36,95
Vostok				
I	0,83	0,50	0,023	4,13
II	3,13	1,75	0,043	8,68
III	7,37	3,10	0,097	18,60
Monchegorsk-Revier, Sopchuaivench				
I	0,53	0,21	0,028	1,43
III	3,19	2,75	0,127	19,79
NKT				
I	0,32	0,14	0,020	1,10
III	5,10	2,60	0,180	31,92
Lotta-Revier, Lovnoozero (Mafite)				
I	0,62	0,30	0,019	4,06
II	1,71	0,79	0,054	11,04
III	2,68	0,48	0,114	25,86
Sueinlagash-Vorkommen (Ultramafite)				
I	0,33	0,28	0,021	3,62
II	1,09	0,82	0,067	13,53
III	1,58	0,43	0,093	20,50

Tab. 5-11: Erzgehalte (in M.-%) ausgewählter Nickel-Kupfer-Lagerstätten auf der Kola-Halbinsel, aus DALHEIMER et al. (1988). I und II: Imprägnationserz II: Reicherz. Brekzienerz (metamorph überprägt).

Diese Intrusion, die auf die damalige maximale Öffnung einer Spreizungszone zurückzuführen ist, führte u. a. zur Ausbildung von mehr als 300 basischen und ultrabasischen Intrusivgesteinskörpern.

Der Pechenga-Pasvik Grünsteingürtel, der im Westen bis an die norwegische Grenze reicht und zwischen und auf archaischen Kratonen liegt, besteht im Wesentlichen aus einer bis 8.500 m mächtigen Wechselfolge von Metavulkaniten und metasedimentären Gesteinen. Die 1,99 Ga alte Pilgjarvi-Formation in der Pechenga-Gruppe innerhalb dieses Gürtels, enthält in ihrem unteren, sedimentären Teil die bedeutendsten Vorkommen an Ni-Cu-Sulfider-

zen. Der Schwefelanteil in diesem produktiven Teil („productive pile“, „productive suite“ oder auch „productive layer“) reicht bis 30 %. Sulfidreiche Gesteinseinheiten mit Sulfidanteilen > 20 % bzw. Schwefelgehalten > 8 M.-% werden in der russischen Literatur als Sulfiderze bezeichnet. Die höchsten S-Gehalte finden sich in feinkörnigen, terrestrischen Karbonatgesteinen, den sulfidischen Schwarzschiefern. Ihre Mächtigkeiten betragen wenige Zentimeter bis mehrere Meter. Die Schwarzschiefer sind häufig mit ferropikritischen Tuffen und Tuffiten vergesellschaftet. Sie entstanden direkt durch Ausfällung von H₂S-reichen hydrothermalen Lösungen (vulkanisch-exhalativ) im Zusammen-

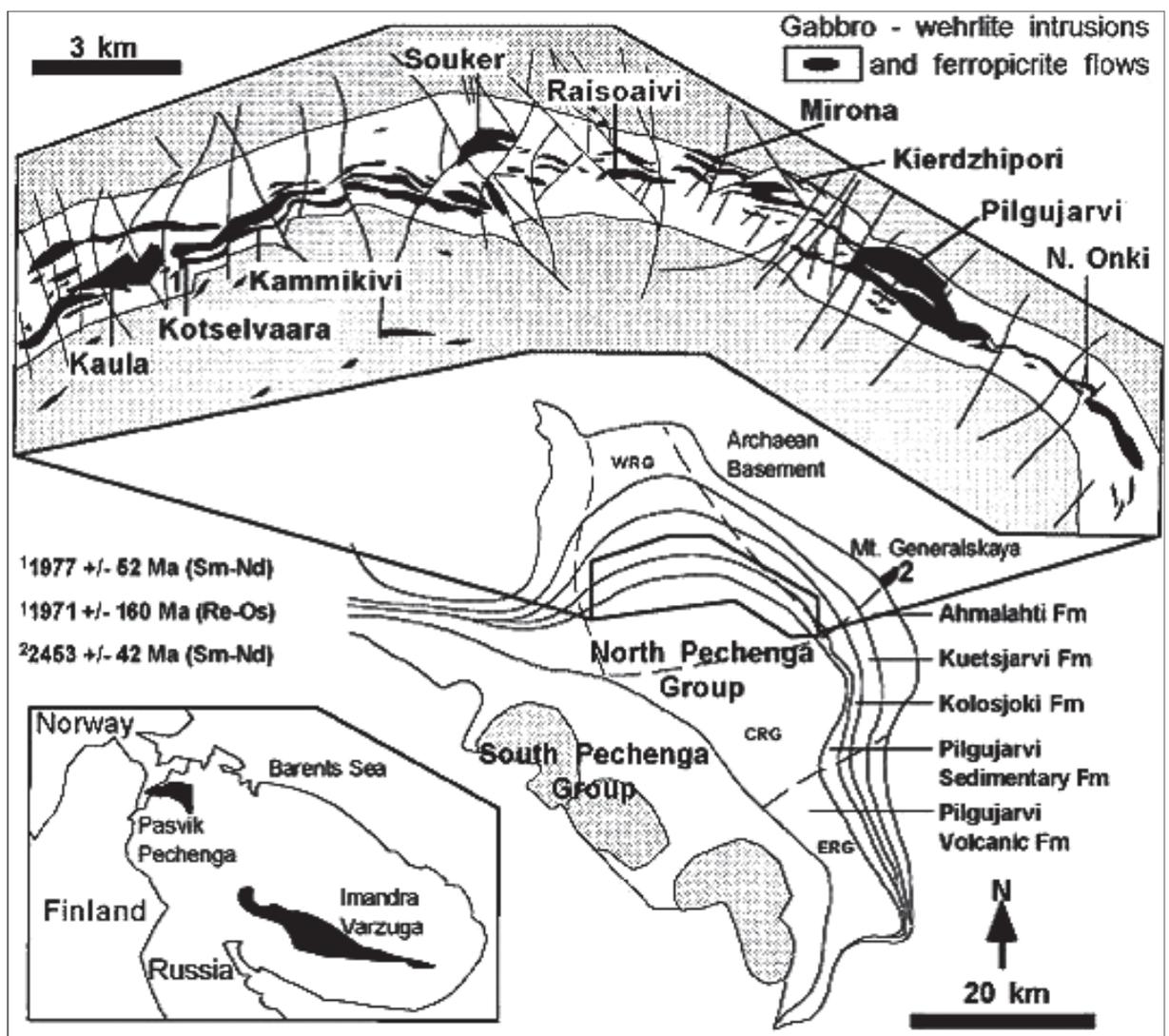


Abb. 5-89: Geologische Übersichtskarte des Pechenga-Distrikts in der tektonisch-lithologischen Einheit der Nord-Pechenga-Zone mit Darstellung der Intrusiva, Lavaausflüsse sowie Sulfiderzagerstätten in der Pilgjarvi-Formation, aus FOSTER (2003).

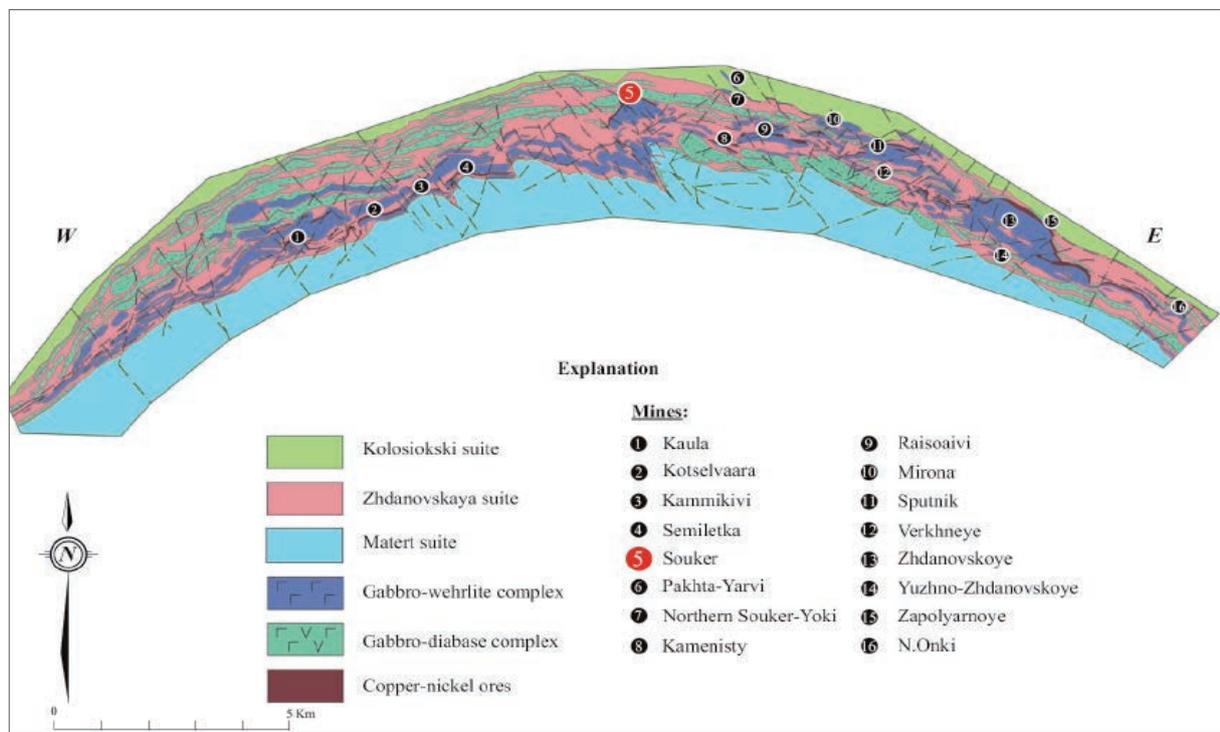


Abb. 5-90: Geologische Übersichtskarte des Pechenga-Nickelreviers mit Lage der wichtigsten Ni-Lagerstätten, aus SRK CONSULTING (2008).

hang mit dem ferropikritischen Vulkanismus (ABZALOV et al. 1995).

Rund 100 Mio. Jahre nach der Kristallisation des Magmas bewirkte ein tektonisch-metamorphes Ereignis die Umlagerung der primären magmatischen Sulfide entlang von Falten und Störungen und die Anreicherung von Ni, Cu und Co in Erzkörpern. Neben den genannten Schwarzschiefern sind auch 70 der über 300 Gabbro-Wehrlit-Intrusivkörper Ni-, Cu- und Co-führend. Weitere 25 Intrusivkörper stellen eigenständige Erzkörper bzw. bauwürdige Lagerstätten dar (vgl. Abb. 5-89 und 5-90).

Die Erzkörper finden sich heute in allen stratigrafischen Horizonten innerhalb der Pilgjarvi-Formation. Im Westen sind die Kaula-, Kotsel'vaara-Kammikivi- und West-Ortoaivi-Lagerstätten an den höchsten stratigrafischen Horizont, die Lammas-Einheit, gebunden. Diese Lagerstätten sind vorwiegend durch hochgradige Massiverze charakterisiert. Im Zentrum und im Osten befinden sich die Lagerstätten in den tiefer liegenden Einheiten A (u. a. „Östlicher Erzknotten“, Ost Ortoaivi, Nord Souker und Mirona) und B (u. a. Raisoaivi und Souker). Das große Pilgjarvi Erzsysteem (Sputnik,

Kierdzhipori, Sverny und Zhdanovskoe) umfasst die Einheiten A und B. Vier Erztypen werden unterschieden: Massiverz, brekziertes Massiverz, fein verteiltes Erz und Cu-reiche, an Schwarzschiefer gebundene Stockwerkvererzungen.

Im Einzelnen schwanken die Metallgehalte sehr stark zwischen den Lagerstätten und den Erztypen innerhalb einer Lagerstätte (GORBUNOV et al. 1985, FOSTER 2003):

Der Ni-Gehalt ist am höchsten in den Massiv- und brekzierten Massiverzen und erreicht dort 10 – 12 %. In den hoch mineralisierten Serpentiniten erreicht er 6 %, in den fein verteilten Erzen 1,5 % und in den Stockwerkvererzungen kommt er in Spuren bis 2 % vor.

Der Cu-Gehalt variiert zwischen den Erztypen sehr stark, vom wenigen Zehntel bis 13 % in den Massiverzen sowie zwischen 4 und 6 % in den Brekzierten und hoch mineralisierten fein verteilten Erzen. In den niedriggradig fein verteilten Erzen reicht er von Hundertstel bis Zehntel Prozenten, in den Stockwerkvererzungen dagegen von Spuren bis 8

oder sogar 10 %, wodurch diese den bauwürdigsten Erztyp darstellen.

Der Co-Gehalt ist am höchsten, bis 0,25 %, in den Massiverzen. In den niedrig mineralisierten fein verteilten Erzen reicht er dagegen nur von tausendstel bis zu hundertstel Prozenten.

Als Wertminerale in den Erzkörpern treten Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit und Magnetit sowie untergeordnet Bornit, Mackinawit, Violarit, Cubanit, Zinkblende, Bleiglanz und verschiedene PGM auf. Chloanthit, Niccolit, Cobaltit, Millerit und Bleiglanz sind verhältnismäßig selten (GORBUNOV et al. 1985, SMOLKIN et al. 1997).

In den eigentlichen Schwarzschiefern finden sich als Wertminerale dagegen fast ausschließlich Pyrit und Pyrrhotin. Ersterer führt < 0,01 – 0,2 M.-% Ni und Co sowie bis 1,5 M.-% As. Untergeordnet treten Chalkopyrit und Zinkblende und noch seltener Sulfide, Arsenide und Telluride von Ni, Co und Ag

auf. Cr ist an Chromspinell gebunden. Auch der V-Gehalt ist deutlich erhöht (bis 0,1 M.-%).

Eine der wichtigsten Ni-Cu-Co-Lagerstätten im Westen des Pechenga-Reviere (vgl. Abb. 5-89 und 5-90) war lange Jahre die Lagerstätte Kaula mit den beiden Erzkörpern Osnovnoye und Otdelnoye (Abb. 5-91). Sie stand zwischen 1937 und 1944 sowie 1949 bis 1999 in Förderung und lieferte im Tagebau wie auch im Untertagebetrieb 14,6 Mio. t Erz mit Gehalten von durchschnittlich 2,6 % Ni, 1,4 % Cu, 0,08 % Co, 0,2 ppm Au, 20 ppm Ag und 3 ppm PGM (DALHEIMER et al. 1988).

Unweit davon wurde auch aus der Lagerstätte Semiletka im Tage- und Tiefbau gefördert und zwar 8,63 Mio. t Erz von insgesamt nachgewiesenen 16,15 Mio. t Erz in den Jahren 1941 bis 1944 sowie 1968 bis 2006. Die Durchschnittsgehalte im ausgebrachten Erz betragen 0,73 % Ni, 0,35 % Cu, 0,027 % Co, 0,027 % Cr, 1,33 ppm Ag, 0,14 ppm PGM und 36 ppb Au. Der hieraus gewonnene Metallinhalt betrug 63.000 t Ni und 42.000 t Cu.

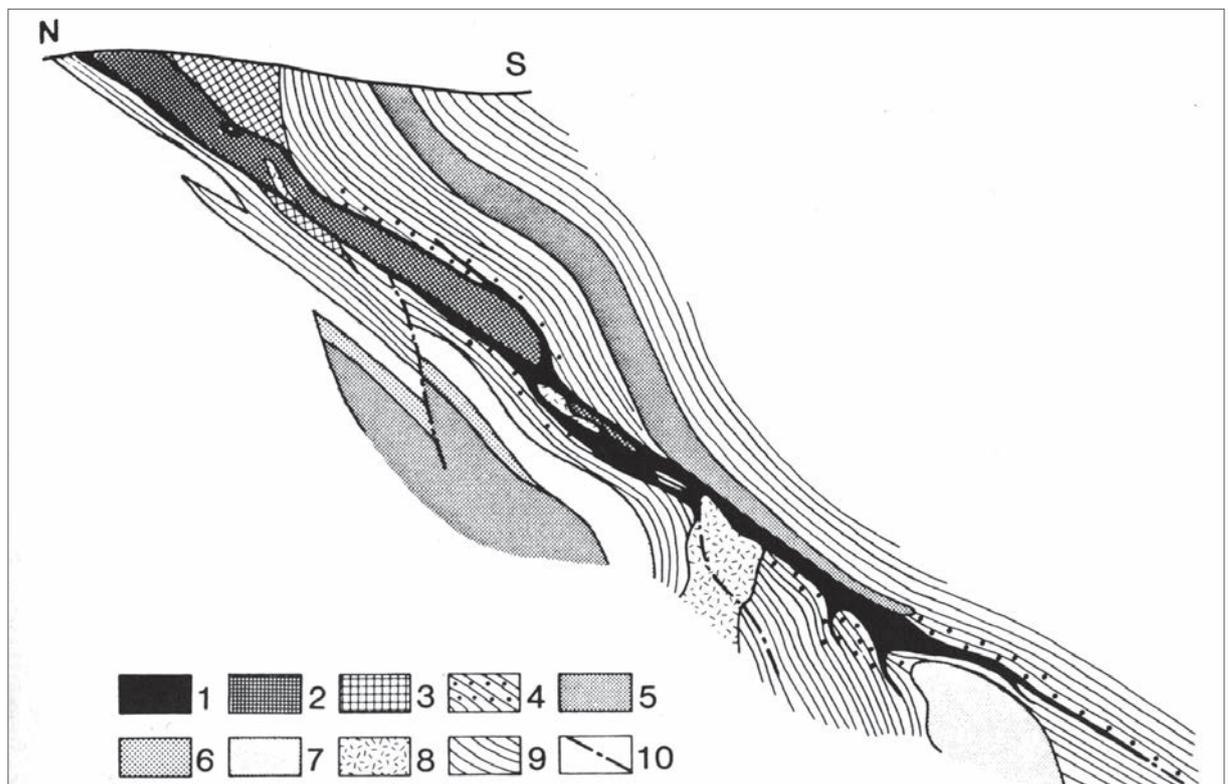


Abb. 5-91: Geologisches N-S-Profil durch die Lagerstätte Kaula, aus GORBUNOV et al. (1985) 1: massives und Brekzienerz 2: hochgradiges disseminiertes Erz in Serpentin 3: niedrig-gradiges disseminiertes Erz in Serpentin 4: mineralisierter Phyllit 5: Serpentin 6: Pyroxenit 7: Gabbro 8: Diabas 9: tuffitische Sedimentgesteine 10: Störungen.

Derzeit, seit 1960, steht in diesem Gebiet nur noch die Lagerstätte Kootsel'vaara-Kammikivi im Tiefbau in Betrieb. Von ihren nachgewiesenen 34,37 Mio. t Erz wurden bis Ende 2006 bereits 26,92 Mio. t Erz mit durchschnittlich 1,2 % Ni, 0,64 % Cu, 0,018 % Co, 1,4 ppm Ag und 185 ppb PGM gefördert. Als Metallinhalte wurden daraus 323.000 t Ni und 144.000 t Cu ausgebracht (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Nach Nordosten schließen sich die noch nicht im Abbau stehenden Lagerstätten an:

- Pakhtajarvi (Ressourcen von 28,67 Mio. t Erz mit 0,75 % Ni und 0,3 % Cu)

sowie im Zentrum des Reviers

- Verkhnee (Reserven von 63,08 Mio. t Erz mit 0,5 % Ni, 0,24 % Cu, 0,019 % Co, 0,92 ppm Ag, 99 ppb PGM und 20 ppb Au),
- Sputnik (Reserven von 17,3 Mio. t Erz mit 1,4 % Ni, 0,77 % Cu, 0,4 % V, 0,031 % Co, 2,68 ppm Ag, 35 ppb PGM und 10 ppb Au),
- Bystrinskoe (Reserven von 36,3 Mio. t Erz mit 0,49 % Ni, 0,26 % Cu, 0,022 % Co, 1,63 ppm Ag, 86 ppb PGM und 8 ppb Au),
- Souker (bei einem cut-off grade von 0,131 % Ni angezeigte Ressourcen von 103 Mio. t Erz mit 0,26 % Ni und 0,06 % Cu sowie vermutete Ressourcen von zusätzlich 261 Mio. t Erz mit 0,24 % Ni und 0,06 % Cu, s. Abb. 5-91) (SRK CONSULTING 2008),
- Tundrovskoe (Reserven 107,2 Mio. t Erz mit 0,51 % Ni, 0,26 % Cu, 0,022 % Co, 1,36 ppm Ag, 22 ppb PGM und 8 ppb Au) sowie
- Nord Onki (Reserven von 3,05 Mio. t Erz mit 1,15 % Ni und 0,5 % Cu) (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Derzeit im Abbau stehen im Nordosten des Reviers:

- Die größte Lagerstätte des gesamten Reviers Zhdanovskoe (Abbaubeginn 1959, bis Ende 2006 wurden im Tagebau Tsentralny [das als Ersatz dienende Bergwerk Severny-Gluboky wurde erst im November 2004 offiziell eröffnet] 73,51 Mio. t Erz der Gesamtreserven [?] von 692,75 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,57 % Ni, 0,25 % Cu, 0,023 % Co, 1,18 ppm



Abb. 5-92: Blick auf die Umgebung der Souker-Lagerstätte (Foto: SRK CONSULTING 2008).

Ag, 58 ppb PGM und 8 ppb Au gefördert.

Daraus wurden insgesamt 419.000 t Ni- und 247.000 t Cu-Metall ausgebracht. Nach Informationen des Betreibers Norilsk Nickel betragen die sicheren und wahrscheinlichen Reserven Ende 2009 114,1 Mio. t Erz und die gemessenen und angezeigten Ressourcen 497,1 Mio. t Erz), sowie

- Zapolyarnoe (Abbaubeginn 1973, bis Ende 2006 wurden 9,77 Mio. t Erz der Gesamtreserven von 20,57 Mio. t Erz mit durchschnittlich 2,19 % Ni, 1,16 % Cu, 0,046 % Co, 3,4 ppm Ag, 185 ppb PGM und 8 ppb Au im Severny-Bergwerk gefördert und daraus 214.000 t Ni und 109.000 t Cu ausgebracht. Die Bergwerke Severny und Severny-Gluboky sind unter Tage verbunden).

Ganz im Osten des Pechenga-Reviers befinden sich die bisher noch nicht erschlossenen Lagerstätten:

- Rovno (geschätzte Ressourcen von 15 Mio. t Erz mit 0,4 % Ni und 0,2 % Cu),
- Karikjavr 1 (Ressourcen von 11,11 Mio. t Erz sowie zusätzlich Reserven von 11,2 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 0,63 % Ni, 0,5 % Cu und 464 ppb PGM),
- Karikjavr 2 und 3 (geschätzte Ressourcen von 25 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,6 % Ni und 0,3 % Cu) sowie
- Saken (geschätzte Ressourcen von 30 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,8 % Ni und 0,4 % Cu sowie PGM).

Sonderrollen aufgrund ihrer hohen Edelmetallgehalte nehmen die folgenden ebenfalls bisher nicht erschlossenen Lagerstätten ein:

- Berg General'skaya (Ressourcen von 53,333 Mio. t Erz mit 0,455 % Cu, 0,27 % Ni, 2,05 ppm Pd und 0,2 ppm Au) sowie
- Braginskoe (Quarzit mit epithermaler Vererzung von Pyrit, Pyrrhotin, Chalkopyrit und gediegen Gold bzw. Ressourcen von 2 Mio. t Erz mit 5 ppm Au) ein (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Das Allarechka-Revier liegt 50 Straßenkilometer südlich von Nikel im Nordwesten der Kola-Halbinsel. Ultrabasische und basische Intrusionskörper proterozoischen Alters sind in den archaischen Gneisserien dieses Gebietes weit verbreitet. Nur wenige dieser Intrusionskörper, v. a. die serpentinierten Peridotite und Harzburgite in der Nähe von Tiefenbrüchen, sind Erz führend. Sie besitzen meist eine Mächtigkeit von 5 – 40 m, eine Längserstreckung von ca. 1.000 m und lagern etwa parallel zur Schieferung der Gneis- und Amphibolitserien. Die stark wechselnde Wertmineralführung besteht aus Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit und Magnetit bzw. Titanomagnetit. Untergeordnet finden sich auch Ilmenit, Mackinawit, Pyrit, Violarit, Cubanit, Zinkblende, Bornit und Bleiglanz.

Die wichtigsten fünf der neun Vorkommen dieses Reviers sind (DALHEIMER et al. 1988, FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE):

- Allarechka, entdeckt 1957, wurde zwischen 1962 und 1972 im Tagebau abgebaut, heute ein See, gefördert wurden 2,23 Mio. t Erz (Massiverz und hoch mineralisierte Peridotite) mit Durchschnittsgehalten von 3,59 % Ni, 1,77 % Cu und 0,075 % Co,
- Vostok, mit den beiden Erzzonen Verkhnaya und Nizhnaya, stand zwischen 1969 und 2000 im Untertageabbau, gefördert wurden 2,34 Mio. t Erz mit durchschnittlich 2,1 % Ni, 0,95 % Cu und 0,028 % Co,
- Runnijoki, bisher nicht erschlossen mit Ressourcen von 15,385 Mio. t Ni-Cu-Erz mit Gehalten von 0,65 % Ni und 0,45 % Cu,

- Akkim, nicht erschlossen mit Ressourcen von 1,75 Mio. t Ni-Cu-Erz mit Gehalten von 0,47 % Ni und 0,335 % Cu sowie
- Khikhajarvi, ebenfalls nicht erschlossen mit Ressourcen von 2,6 Mio. t Ni-Erz mit Gehalten von 0,47 % Ni und 0,17 % Cu.

Nahe Monchegorsk, im Zentrum der Kola-Halbinsel, lagert innerhalb der archaischen Gneisformationen ein schichtförmiger basischer Intrusivkörper, dessen Mächtigkeit ca. 1.500 m beträgt. Er fällt mit 10 – 15° nach SW ein und bedeckt eine Fläche von rund 50 km². Der Pluton ist durch eine Vielzahl von Scherzonen in große tektonische Blöcke gegliedert. Diese Scherzonen kontrollieren auch die Ausbildung und Lage der Erzkörper. An der Erdoberfläche bildet der Intrusivkörper drei selbstständige Massive, nach denen auch die sich dort befindlichen wichtigsten Lagerstätten benannt sind:

- Nittis-Kumuzh'ya-Travyanaya (NKT), in NNW-Richtung ca. 7 km lang,
- Sopch(u)a(ivench), mit einer Fläche von rund 10 km² und
- Nyud(uaivench)-Poaz(uaivench), südlich des Sopcha-Massivs.

Innerhalb des vor 2.493 ± 7 Ma eingedrungenen Intrusivkörpers ist ein Lagenbau erkennbar. Über Peridotiten folgen Pyroxenite und Olivinpyroxenite. Vererzungen treten an der Basis („Basalerzlager“), in höheren Horizonten parallel der primären Bänderung („Hangenderzlager“) und ferner in steil einfallenden Gängen auf. Die Erze bestehen aus Pyrrhotin (83 – 92 %), Pentlandit (5 %), Chalkopyrit (2 %) und Ilmenomagnetit bzw. Magnetit; als Gangart finden sich Hornblendes, Biotit, Chlorit und Talk (DALHEIMER et al. 1988).

Im Einzelnen sind folgende Lagerstätten von Bedeutung (DALHEIMER et al. 1988, FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE):

- Nittis-Kumuzh'ya-Travyanaya (NKT), bestehend aus > 50 disseminierten bis massiven sulfidischen Gängen und Adern mit bis zu 1,5 km Länge, 340 m Teufe und 50 cm Mächtigkeit. Das Basalerz führt 0,27 % Ni, 0,17 % Cu und 0,1 % Co, die

Gangerze dagegen 4 – 6 % Ni, 2,5 – 3,5 % Cu und 0,18 % Co. Die NKT-Lagerstätte stand zwischen 1935 und 1975 im Abbau. In diesem Zeitraum wurden von den verfügbaren 8,16 Mio. t Erz im Tagebau 3,1 Mio. t Erz gefördert, die durchschnittlich 5,1 % Ni, 2,9 % Cu, 0,23 % Co, 5,2 ppm Ag und 2,2 ppm Au enthielten. Hieraus wurden 158.000 t Ni und 90.000 t Cu gewonnen. Die verbliebenen Vorräte werden zu 3,1 Mio. t als Reserven sowie zusätzlich zu 1,96 Mio. t als Ressourcen eingestuft.

- Sopchuaivench: Diese unverritzte Lagerstätte enthält Reserven von 131,2 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 0,33 % Ni, 0,17 % Cu und 0,014 % Co. Als fein verteilte Erzminerale in Pyroxeniten überwiegen Pyrrhotin und Pentlandit, gefolgt von Chalkopyrit, Pyrit und Magnetit.
- Sopcha: Diese Lagerstätte bildet halbmassive Gangerze mit 3,23 % Ni, 2,06 % Ni, 0,15 % Co, 5,2 ppm Ag und 2,2 ppm Au. Die Reserven betragen jedoch nur 710.000 t, weshalb die Lagerstätte noch nicht abgebaut wurde. Als Erzminerale, ebenfalls in Pyroxeniten, treten Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit, Pyrit und verschiedene PGM auf.
- Nyudaivench mit Reserven von 13,2 Mio. t Erz mit 0,24 % Ni und 0,2 % Cu. Als Erzminerale im Norit treten fein verteilt Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit und Magnetit auf.
- Vuruchuaivench: Diese Lagerstätte liegt 10 km südöstlich der Stadt Monchegorsk und soll durch Norilsk Nickel, dem Lizenzinhaber, erst durch einen Tagebau, später im Untertageabbau, entwickelt werden. Die C1+C2-Ressourcen betragen, soweit derzeit schon bekannt, 10,42 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 0,203 % Ni, 0,271 % Cu, 0,007 % Co, 388 ppb Pt, 2.897 ppb Pd und 151 ppb Au.

Im Südwesten der Kola-Halbinsel, rund 100 km südlich von Nikel, sind an einigen, wenigen Stellen im Lotta-Distrikt linsenförmige Erzkörper in Noriten sowie vererzte Gänge bekannt. Die Erze bestehen hauptsächlich aus Pyrrhotin, Pyrit, Pentlandit und Chalkopyrit. Nebenwertminerale sind Ilmenomag-

netit, Ilmenit, Rutil, Magnetit und Violarit. In Spuren kommen auch Molybdänit, Zinkblende, Gersdorffit und Millerit vor. Der Mineralbestand ähnelt damit denen der Pechenga- und Allarechka-Reviere. Die Lagerstätte bzw. Vorkommen sind (DALHEIMER et al. 1988, FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE):

- Lovnoozero bzw. Lovnozerskoe. Der dortige Erzkörper erstreckt sich im Einfallen mit variierenden Mächtigkeiten über eine Länge von 1.000 m. Mutergestein der Vererzung ist ein Gabbronorit. Die Metallgehalte betragen 0,6 – 2,7 %, durchschnittlich 0,88 % Ni, 0,3 – 0,8 %, durchschnittlich 0,43 % Cu und 0,02 – 0,1 % Co. Die Reserven werden mit 9,5 Mio. t Erz, die Ressourcen mit weiteren 11,363 Mio. t Erz angegeben.
- Sueinlagash, ein Vorkommen, das wenige Kilometer nördlich der Lagerstätte Lovnoozero liegt. Hier führt ein Websterit Vererzungen von Pyrrhotin, Pentlandit und Chalkopyrit. Die Ressourcen betragen 2,25 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 0,3 % Ni, 0,25 % Cu und 0,02 – 0,09 % Co.
- Yunges, nahe der finnischen Grenze. Hier wurde ein Lherzolit-Websterit mit unregelmäßiger Vererzung aus Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit, Pyrit und Magnetit nachgewiesen. Die begrenzten Ressourcen betragen 560.000 t Erz mit 0,38 % Ni und 0,15 % Cu.
- Laukku, unweit Yunges mit Ressourcen von 1,67 Mio. t Erz und Durchschnittsgehalten von 0,515 % Ni und 0,3 % Cu. Wirtsgestein der Erzminerale Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit, Pyrit und Magnetit ist ein Norit.

Im Gebiet von Imandra-Varzuga enthalten die Intrusionen von Fedorova und Panski Tundra (s. Chrom) bedeutende Anreicherungen von Nickel. Für das Vorkommen in der Fedorova-Tundra-Intrusion nennt die FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE Erzreserven von 1,275 Mio. t sowie zusätzlich Erzressourcen von 25 Mio. t mit Durchschnittsgehalten von 0,15 % Cu und 0,1 % Ni. Die wichtigsten Erzminerale sind Pyrrhotin, Pentlandit, Chalkopyrit und verschiedene Platingruppenminerale. Rund 10 km nordöstlich liegt das West-Panskoe-Vorkommen ähnlicher Genese. Es enthält Reserven von

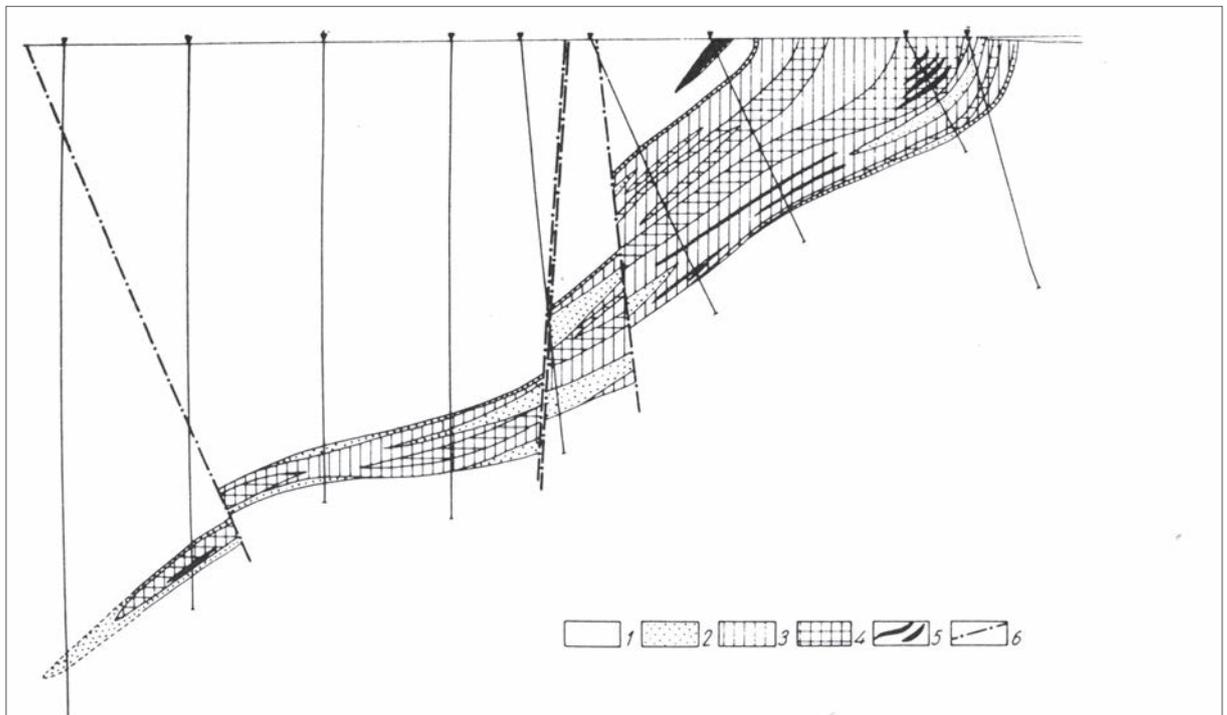


Abb. 5-93: Ni- und Cu-Gehalte im Haupterkörper der Lagerstätte Lovnozero, aus GORBUNOV et al. (1985).

1: Wirtsgestein 2: schwach mineralisierter Norit 3: Erz mit Ni- und Cu-Gehalten von 0,3 – 1,0 %
4: Erz mit Ni- und Cu-Gehalten von 1,0 – 2,5 % 5: Erz mit Ni- und Cu-Gehalten > 2,5 % 6: Störungen

252.000 t Erz sowie zusätzlich Ressourcen von 22,6 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,25 % Cu und ebenfalls 0,1 % Ni. Noch weitere 35 km östlich liegt das Vorkommen von Vostochno-Panskoe mit Ressourcen von 7,58 Mio. t Erz und Gehalten von 0,17 % Cu und 0,23 % Ni.

Neben den großen Nickelerzrevieren von Pechenga, Allarechka, Monchegorsk, Lotta und Imandra-Varzuga wurden auch östlich von Pechenga Anreicherungen von Nickel nachgewiesen. Hier sind das Peridotit-Pyroxenit-Gabbro-Norit-Massiv von Karikyavr (3,5 – 11 % Ni, bis 13 % Cu), der Olivinpyroxenit-Harzburgit-Pyroxenolivinit-Körper von Rovno, der Gabbro-Norit vom Berg Luostari und der Gabbro-Peridotit von Nyasyukka zu nennen (GORBUNOV et al. 1985).

5.2.1.5 Kupfer und Molybdän

Kupfer ist nicht nur ein wichtiges Wertmetall in den in Abbau stehenden Nickel-Kupfersulfidlagerstätten, die der Pilgjarvi-Formation der Pechenga-Gruppe zugeordnet werden können (s. Nickel), sondern es wurde in angereicherter Form auch in

den Effusiva der liegenden Kuetsyarvi- und Kolosyoki-Formationen, beide ebenfalls Pechenga-Gruppe, und der Umba-Formation nachgewiesen (AKHMEDOV & CHEKUSHIN 1978).

Die Kuetsyarvi-Formation besteht aus einer bis 300 m mächtigen Abfolge aus Sedimentgesteinen mit eingeschalteten Vulkaniten im oberen Teil. Die höchsten Cu-Anreicherungen finden sich hier innerhalb vulkanomiktter Psammite mit karbonatischer Matrix. Diese sind entlang von feinen Klüften und in der Matrix mit Bornit, Chalkopyrit und Chalkosin vererzt.

Die hangende Kolosyoki-Formation besitzt stark schwankende Mächtigkeiten von mehreren Metern bis 400 Meter. Der untere Abschnitt besteht aus terrestrischen und tuffitisch-terrestrischen Ablagerungen, der obere aus Karbonaten. Die Kupfer führenden Gesteine (rosa-grüne Chlorit-Karbonatschiefer und tuffitische Psammite und Dolomite) sind auf den größtenteils sehr schlecht aufgeschlossenen, mittleren Teil des unteren Abschnitts von maximal ca. 80 m Mächtigkeit beschränkt. Die Mineralisation besteht aus Covellin, Chalkosin und

Bornit und geht von dünnen (1 – 6 mm) Brekzienrissen aus. Dementsprechend finden sich die höchsten Cu-Gehalte von durchschnittlich 0,42 – 1,14 % in brekzierten Dolomiten von rosa Farbe. Dieser Horizont der Cu-haltigen Dolomite ist linsenförmig ausgebildet und kann in den wenigen Aufschlüssen teils über 200 m Erstreckung verfolgt werden, wurde aber auch in Bohrungen angetroffen. Die vermutete Erstreckung aller Cu-führenden Ablagerungen der Kolosyoki-Formation beträgt 9 km bei einer vermuteten durchschnittlichen Mächtigkeit von 40 – 50 m (AKHMEDOV & CHEKUSHIN 1978).

In der mit den Metavulkaniten der Kuetsyarvi-Formation korrelierbaren vulkanischen Umba-Formation der Imandra-Varzuga-Zone tritt gediegen Kupfer in genetischer Abhängigkeit von Trachybasalten und Trachyandesitbasalten auf. Kupfer führende Gesteine können dort über 150 km Erstreckung verfolgt werden. Regional tritt fein verteiltes Kupfererz angereichert in 0,3 – 1,5 m Mächtigkeit und 50 m Länge auf. Neben gediegen Kupfer finden sich dort als weitere Erzminerale Cuprit, Malachit, Chalkosin, Covellin und Magnetit. Der Cu-Gehalt in diesen Erzzonen variiert zwischen 0,05 – 0,5 % und erreicht maximal 2 % (MITROFANOV et al. 1995).

Das Pellapakh-Mo-Cu-Vorkommen liegt rund 100 km westlich von Murmansk und 3 km nordwestlich des kleineren Au-Pyrrhotin-Arsenopyrit-Vorkommens von Oleninskoye. Es handelt sich um einen Granitporphyr mit Anreicherungen von Cu und Mo sowie erhöhten Gehalten an Au, Ag, Re, Se und Te. Die nachgewiesene Mineralisation erstreckt sich über eine streichende Länge von 4 km und umfasst eine stark alterierte Zone aus Quarz und Serizit im Kontaktbereich zwischen Rhyolithen und Grünschiefern. Der Granitporphyr intrudierte in die Rhyolithe, ist verantwortlich für die Cu-Mo-Au-Mineralisation und wurde später selbst wieder von Granitpegmatiten durchdrungen.

Der zentrale Bereich des Pellapakhk-Vorkommens zeigt eine deutliche Mo-Mineralisation in Verbindung mit einem alterierten Kern aus Quarz und Mikroklin. Dieser wird von einer alterierten Zone aus Quarz und Serizit mit Molybdänit und Chalkopyrit umgeben. Der äußere Bereich mit Molybdä-

nit, Chalkopyrit und etwas Zinkblende zeigt eine typische propylitische Alteration (OVACO GOLD PLC.).

Die P1- und P2-Vorräte dieses noch wenig untersuchten Vorkommens betragen knapp 668 Mio. t Erz, die durchschnittlich 0,25 % Cu, 0,06 % Mo, 2,12 ppm Ag und 0,08 ppm Au enthalten sollen (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Auch an vielen anderen Stellen auf der Kola-Halbinsel wurden kleinere Vorkommen von Molybdänit nachgewiesen, die aber alle nicht abbauwürdig sind. ANONYM (1943) nennen 24 Gebiete, in denen Molybdänit gefunden wurde. Das größte Vorkommen hiervon ist Tachtarvumtchorr im Khibiny-Komplex. Es handelt sich um einen auf 450 m Breite und mit 1,5 – 2 m Mächtigkeit aufgeschlossenen, Molybdänit führenden Pegmatitgang, der mit 15 – 18° einfällt. Da er vielfach von teils mächtigem Hangschutt bedeckt ist, ist seine streichende Länge nicht genau feststellbar. Der Molybdänitgehalt liegt zwischen 0,22 und 0,3 %. Der rund 35 cm mächtige, zentrale Teil des Ganges besteht aus feinkörnigem Albit, Aegirin und Aenigmatit und ist am stärksten mit Molybdänit angereichert.

5.2.1.6 Chrom

Die Chromerzvorkommen der Kola-Halbinsel konzentrieren sich auf das Gebiet von Imandra-Varzuga, das von der Stadt Apatity am Imandra See bis zum Varzuga Fluss im Osten reicht. Die dortigen Fedorova-Tundra- und die Panski-Tundra-Massive (letzteres unterteilbar in West Pansky und Ost Pansky, vgl. Platingruppenmetalle) erstrecken sich über 80 km Länge und 5 – 6 km Breite und umfassen zwei schichtförmige, mit 30 – 35° nach SW bzw. S einfallende, basische bis ultrabasische Intrusivkörper. Beide Körper lassen sich in einen unteren und einen oberen geschichteten Horizont gliedern (s. Abb. 5-94). Letzterer ist 150 bis 250 m mächtig und besteht aus Gabbronoriten, Anorthositen und Troctoliten.

Der untere geschichtete Horizont ist 50 bis 200 m mächtig und besteht aus einer mehrfachen Wechselagerung von Gabbronoriten, Noriten, Anorthositen, Websteriten und Bronziten. Dieser untere Horizont enthält zum einen Einsprenglinge und Nester von

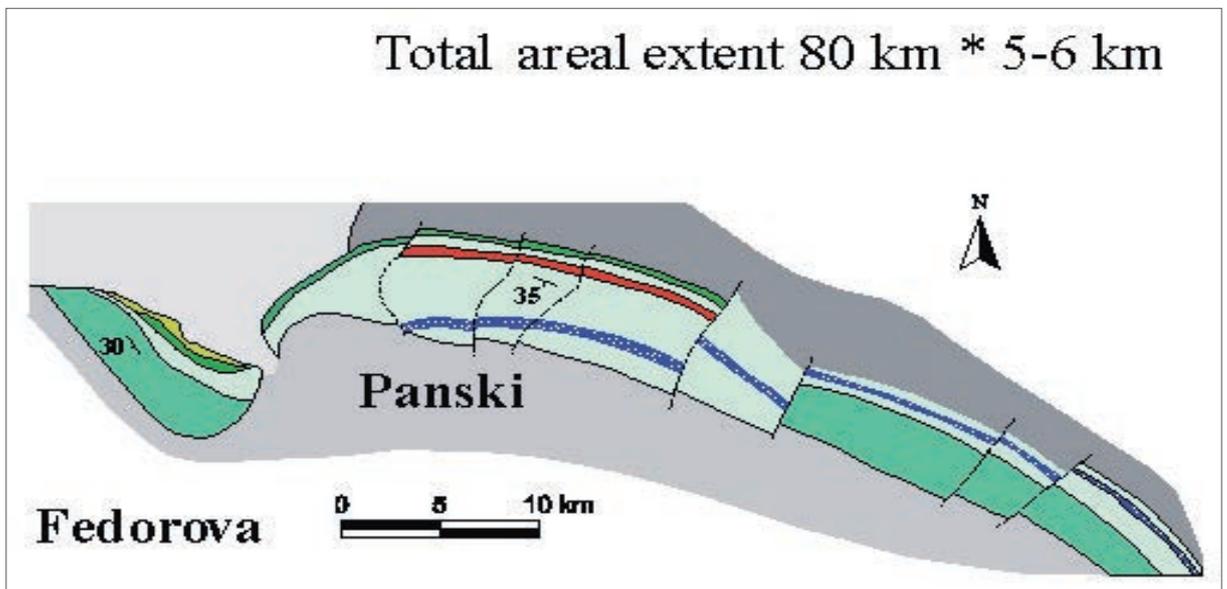
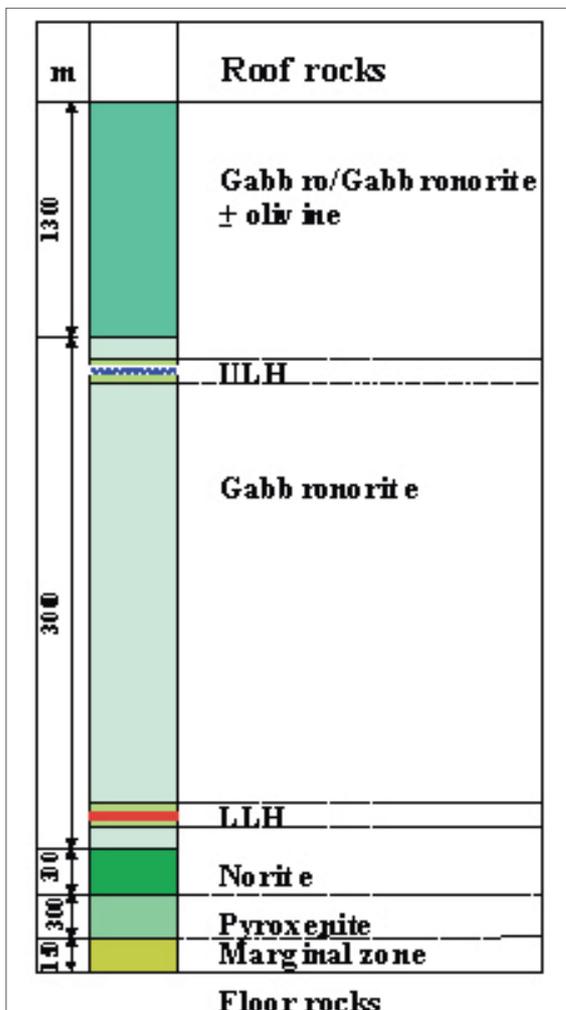


Abb. 5-94: Übersichtskarte (oben) und Übersichtsprofil (unten) der Fedorova- und Panski-Tundra-Intrusionen. LLH = Unterer geschichteter (Wertmineral haltiger) Horizont, ULH = Oberer geschichteter Horizont, Quelle: GEOLOGISCHER DIENST VON FINLAND.



Sulfiderzen mit erhöhten Ni und Cu-Gehalten. In Bereichen, die von Erzadern durchzogen sind, steigt der Ni-Gehalt auf 1,35 % und der Cu-Gehalt auf 0,76 % an (DALHEIMER et al. 1988). Zum anderen führt der untere geschichtete Horizont über mehrere zehner Meter Mächtigkeit Anreicherungen von PGM+Au bis > 10 ppm, die das Ziel von Explorationskampagnen verschiedener großer Konzerne sind. Das Pd/Pt-Verhältnis beträgt 1:5 bis 1:7. Der S-Gehalt steigt bis auf 0,6 M.-% an (vgl. Abb. 5-95).

Nach der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE enthält die Fedorova-Tundra-Intrusion Reserven von 1,275 Mio. t und zusätzlich Ressourcen von 25 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 0,15 % Cu und 0,1 % Ni.

Neben den genannten Mineralisationen an Cu, Ni und PGM führt der untere geschichtete Horizont auch Anreicherungen von Cr-Spinellen sowie Lagen, Schlieren und halbmassive Lagen von Chromitit. Die Chromititlagen besitzen Mächtigkeiten von 0,1 bis 2,1 m und Gehalte von 17 – 30 M.-% Cr₂O₃. In ihnen sind Pt, Pd, Rh, Ru und Au angereichert, jedoch Cu- und Ni-Sulfide abgereichert (TOROKHOV et al. 1997).

Beim Chromititvorkommen am Berg Bol'shaya Varaka südlich des Imandra-Sees handelt es sich um eine lagige massive Anreicherung von Picotit in Gabbronoriten und Noriten. Aufgrund der relativ großen Reserven von 9,2 Mio. t und zusätzlichen Ressourcen von 16 Mio. t Erz mit durchschnittlich

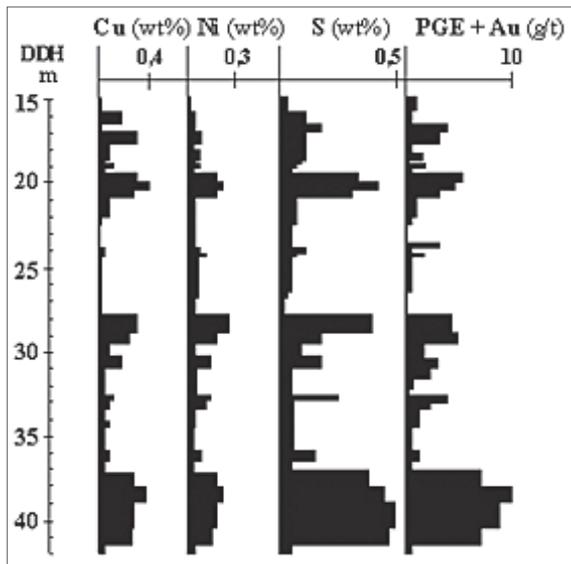


Abb. 5-95: Typisches geochemisches Bohrprofil durch den unteren geschichteten Horizont der Panski-Tundra-Intrusion, Quelle: GEOLOGISCHER DIENST VON FINLAND.

25 % Cr wurde das Vorkommen vom norwegischen Konzern Elkem näher erkundet. Ergebnisse wurden nicht bekannt.

Im mittleren Gabbro-norit nahe des Flusses Chornaya im Imandra-Gebiet ist auch ein 0,5 m mächtiger und über 100 m Länge verfolgbarer Chromitgang aufgeschlossen, der rund 50 – 60 Vol.-% Chromit bzw. 26 – 30 % Cr_2O_3 führt.

Weitere Chromit-Vorkommen auf der Kola-Halbinsel sind nach der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE:

- Sopcheozerskoe im Monchegorsk-Panskaya-Distrikt, bestehend aus einer geschichteten ultramafischen Intrusion mit Ressourcen von 5,1 Mio. t und Reserven von zusätzlich 5,7 Mio. t Erz und Durchschnittsgehalten von 25,83 % Cr.
- Devich'etundrovsoe rund 10 km südöstlich von Sopcheozerskoe. Dieses Sopcheozerskoe lagerstättengeologisch ähnliche Vorkommen besitzt Ressourcen von 8,4 Mio. t Erz mit durchschnittlich 25 % Cr. Am Fuß des Berges Mayavr im Devich' Gebirgsmassiv wurde auf einer Fläche von 300 x 50 m eine Chromitseife entdeckt, in der die Gehalte 200 – 400 ppm Chromit betragen (TOROKHOV et al. 1997).

- Chernorechenskoe, im Imandra-Varzuga-Distrikt. Hierbei handelt es sich um eine lagige, halbmassive Anreicherung von Picotit in 2,441 Ga alten Gabbro-noriten und Noriten. Die Ressourcen betragen 7 Mio. t Erz mit durchschnittlich 17,9 % Cr.
- Tikozerskoe, unweit Chernorechenskoe und mit sehr ähnlichen lagerstättengeologischen Verhältnissen. Die Ressourcen sind jedoch größer und betragen 24 Mio. t Erz mit 23 % Cr.
- In der Panostundra, nahe der Grenze zu Finnland, enthalten paläozoische Dunite eine Mineralisation aus Picotit und Magnetit. Die Ressourcen sind gering und liegen bei 2,5 Mio. t Erz mit durchschnittlich 25 % Cr.

5.2.1.7 Gold

Auch auf der Kola-Halbinsel sind viele der bekannten bzw. vermuteten Goldvorkommen an präkambrische Grünsteingürtel gebunden. Von den drei größeren Grünsteingürteln der Halbinsel sind dabei der Olenegorsk-Grünsteingürtel mehr durch seinen BIF-Eisenerzlagerstätten (s. Eisen), der Pechenga-

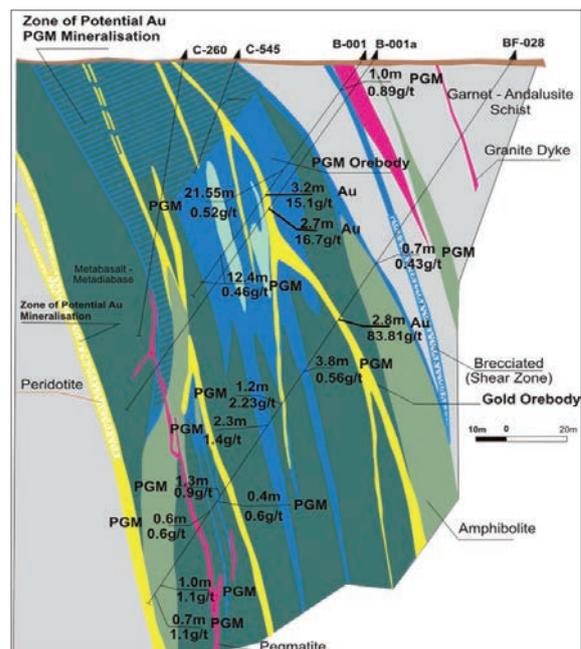


Abb. 5-96: Schnitt durch die Vererzungen der Oleninskoe Gold-PGM-Lagerstätte, Quelle: OVOCA GOLD PLC.

Varzuga-Grünsteingürtel eher durch Nickel- und PGM-Anreicherungen und nur der Kolmozero-Voronyya-Grünsteingürtel durch Goldanreicherungen bekannt geworden.

Neben verschiedenen Goldvorkommen (Oleninskoe, Nyal'm-1 und -2, Verhkny Nyalm, Meshen, Leshaya-Süd, Kontozero, Porosozero u. a.) enthält der letztgenannte auch Vorkommen anderer Minerale. Beispiele sind Lun Mudchechaive (Ag, Cu, Zn, Au), Polmostundrovskoe und Kolmozerskoe (beide Li), Pellapakhk und Leshaya (beide Cu und Mo) sowie der Oleniy-Höhenrücken (Ta, Li) (OVOCA GOLD PLC.).

In Oleningskoe ist das Gold an eine Erzzone von 5 km streichender Länge mit einzelnen Quarzlinien von 2 – 5 m Mächtigkeit und jeweiligen Streichlängen von durchschnittlich 85 m gebunden. Bohrungen deuten darauf hin, dass sich der Mineralisationsbereich im hier vorherrschenden mesoarchaischen Gabbro über noch größere Streichlängen und in Teufen > 100 m erstreckt. Erste Berechnungen ergaben Vorräte von mindestens 1,02 Mio. t Erz mit Gehalten von 13,9 ppm Au. Neben gediegen Gold treten Pyrrhotin, Arsenopyrit, Chalkopyrit, Zinkblende und Bleiglanz als Erzminerale auf. Zusätzlich wurden in Bohrungen über Mächtigkeiten bis 10 m erhöhte Gehalte an PGM bis 3,2 ppm, dominiert durch Platin, nachgewiesen (vgl. Abb. 5-96) (OVOCA GOLD PLC., FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Die Mineralisation von Leshaya-Süd liegt rund 4 km nordöstlich von Oleningskoe. Geologisch handelt es sich um einen ultramafischen Peridotitkörper, der in Grünschiefer eingedrungen ist und am Randbereich durch Sulfidzonen mit massiven und disseminierten Ni-Erzen gekennzeichnet ist. Die heute teils stark brekziierte Intrusion besitzt eine streichende Länge von ca. 4 km und eine Breite zwischen 500 und 700 m. Die Goldmineralisation ist an Quarzgänge ähnlicher Lagerung wie in Oleningskoe gebunden (OVOCA GOLD PLC.).

Das Goldvorkommen Nyal'm-1 besteht aus einer Stockwerkvererzung in mesoarchaischem Gabbro mit Quarzgängen, die über eine Fläche von 50 x 160 m ausstreichen. Einzelne Quarzgänge

besitzen durchschnittlich 1,5 bis 2 m Mächtigkeit, fallen steil mit 70 – 75° nach NE ein und führen durchschnittlich 1,2 ppm, maximal 16 ppm Au. Die P1- und P2-Ressourcen betragen 1,2 Mio. t Erz mit durchschnittlich 6,7 ppm Au + 0,058 % Be. Neben gediegen Gold treten als Erzminerale Pyrit, Markasit, Greigit und Pyrrhotin auf (OVOCA GOLD PLC., FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Im benachbarten Vorkommen Nyal'm-2 ist die Vererzung aus gediegen Gold, Pyrrhotin, Chalkopyrit und Arsenopyrit an Quarzgänge von durchschnittlich 3,4 m Mächtigkeit und Durchschnittsgehalten von 3,7 ppm Au gebunden. Die P1- und P2-Ressourcen werden mit 919.000 t Erz angegeben (OVOCA GOLD PLC., FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Im Süden des Grünsteingebietes von Pechenga, rund 20 km südlich des Ni-Reviers, liegt in paläoproterozoischen Quarziten das epithermale Goldvorkommen von Braginskoe. Die dortigen Ressourcen betragen 2 Mio. t Erz mit einem Gehalt von durchschnittlich 5 ppm Au. Neben gediegen Gold kommen Pyrit, Pyrrhotin und Chalkopyrit als Erzminerale vor (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Unabhängig von den o. g. Grünsteingürteln sind auch in der Süd-Varzuga Granit-Amphibolit-Gneiszone zwei Goldvorkommen bekannt (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE):

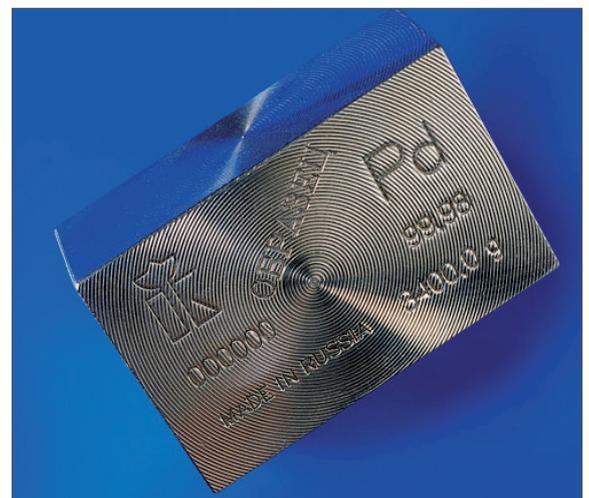


Abb. 5-97: Palladiumbarren aus der Produktion von Norilsk Nickel. Quelle: NORLISK NICKEL.

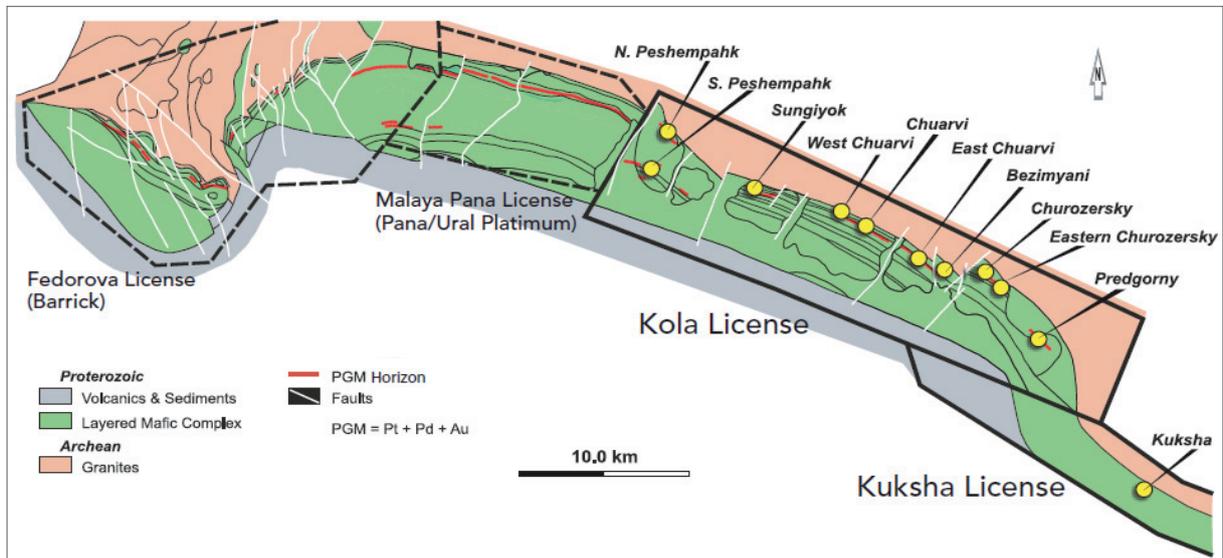


Abb. 5-98: Die Lizenzgebiete in den Fedorova- und Pansky-Tundren, Quelle: CONSOLIDATED PUMA MINERALS CORP. (Anm.: CONSOLIDATED PUMA MINERALS CORP. wurde im August 2009 von SAGE GOLD INC. übernommen).

- Vorgovyi ist ein Goldvorkommen mit einer Vererzung aus gediegen Gold, Arsenopyrit, Zinkblende, Bleiglanz und Pyrit als Kluftfüllung in devonischen Zweiglimmerschiefern. Die Ressourcen betragen 7,14 Mio. t Erz mit durchschnittlich 3,5 ppm Au.
- Olenyi stellt eine Mineralisation von gediegen Gold, Pyrit, Pyrrhotin und Chalkopyrit als Kluftfüllung in devonischen Biotitschiefern dar. Die Ressourcen wurden auf 4,35 Mio. t Erz mit Durchschnittsgehalten von 3,7 ppm Au berechnet.

5.2.1.8 Platingruppenmetalle

In den mafischen bis ultramafischen Gesteinen der Kola-Halbinsel, die alle Nickel führend sind oder auch Ni-Cu-Sulfiderze führen, wurden mittlerweile mehr als 40 verschiedene Platingruppenmetalle (PGM) nachgewiesen. Es handelt sich um gediegene Metalle, Intermetallide, Sulfide, Telluride und Wismut-Telluride, Arsenide und Sulfoarsenide meist von Palladium und Platin. Die PGM bilden winzige (5 – 70 µm) Einschlüsse in Sulfiden, am Kontakt von Sulfiden zu Silikaten und gelegentlich auch in Silikaten oder Oxiden. Besonders die Gangerge des Monchegorsk-Ni-Reviere und auch die geschichteten Peridotit-Pyroxenit-Gabbroanit-

rusionen (z. B. Pansky-Fedorova, vgl. Abb. 5-98) sind relativ stark an PGM angereichert (YAKOVLEV et al. 1991).

PGM, aber auch Au, Se und Te, reichern sich im Anodenschlamm bei der Aufbereitung der Metalzerze in den Hütten von Zapoljarnij (Aufbereitung mit Flotation und Röstung der sulfidischen Erze), Nickel (Verhüttung zur Herstellung von Kupfer- und Nickelfeinstein) und Monchegorsk (Herstellung von Ni-, Cu- und Co-Metallen) an. Der anfallende Edelmetallschlamm wird zur Abtrennung der darin enthaltenen PGM in eine Edelmetallhütte nach Krasnojarsk in Sibirien verschifft. Im Jahr 2006 betragen die Produktionskosten 437 US\$ pro Unze Platin von der Kola-Halbinsel (ANONYM 2007).

Als bedeutendste PGM-Vorkommen auf der Kola-Halbinsel gelten (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE, OAO PANA):

- Berg General'skaya: Ressourcen von 53,33 Mio. t Erz mit durchschnittlich 2,05 ppm Pd und 0,2 ppm Pt,
- Monchetundra: Vererzung aus zwei mehr Pd-reichen und zwei mehr Pt-reichen Horizonten über 6 km streichende Länge, Ressourcen von 38 Mio. t PGM-haltiges Erz,
- Fedorovotundra: Die im dortigen Block 1 der Fedorova-Lizenz (s. Abb. 5-98) ermittelten

Ressourcen betragen 4,7 Moz Pd- und 1,1 Moz Pt- bzw. 194 t PGM+Au-Inhalt,

- West Pansky Tundra, auch West Pana, Malaya Pana bzw. Kievej: Die bestätigten C1+C2-Ressourcen im Block 1 dieses Lizenzgebietes (s. Abb. 5-98) betragen 50,8 t PGM-Inhalt,
- Ost Pansky Tundra mit den Lizenzgebieten Ost Pansky und Kuksha: Die dortigen PGM+Au-Gehalte variieren zwischen 2,0 und 0,7 ppm. Die durchschnittlichen Ni- und Cu-Gehalte betragen 0,08 – 0,25 % bzw. 0,08 – 0,39 %. Die Erkundung in diesen Lizenzgebieten mit seinen zahlreichen Erzkörpern (s. Abb. 5-98) dauert an.

Auch das nördlich an die Fedorova und Pansky Tundren angrenzende Tsaga PGM-Vorkommen wird seit Frühjahr 2008 exploriert. Ergebnisse wurden bisher nicht bekannt.

5.2.1.9 Niob und Tantal

Die bedeutendsten Vorkommen bzw. Lagerstätten von Niob und Tantal auf der Kola-Halbinsel liegen im Lovozero-Massiv. Es sind dies Karnasurt (durchschnittlich 0,347 % Nb, 260 ppm Ta), Umbozero (0,186 % Nb, 150 ppm Ta), Kedykvyrpakhk (0,380 % Nb, 310 ppm Ta) und Alluaiv (0,330 % Nb, 230 ppm Ta) (s. Seltene Erden). Die dortigen geo-

logischen Gesamtvorräte betragen rund 1,04 Mio. t Nb-Inhalt und 77.000 t Ta-Inhalt, von denen jedoch sicherlich nur ein Teil auch ausgebracht werden könnte.

Rund 50 km südwestlich von Murmansk befindet sich die devonische Karbonatintrusion von Sebl'javr, die mit Ressourcen von 2.085 Mio. t Erz bei Durchschnittsgehalten von 0,146 % Nb und 120 ppm Ta, entsprechend 3,04 Mio. t Nb- und 250.000 t Ta-Inhalt, ebenfalls ein großes Niob-Tantalvorkommen darstellt. Die Mineralisation ist durch Magnetit, Apatit, Pyrochlor und Uranpyrochlor repräsentiert.

Lesnoe stellt eine peralkaline Seltenmetallvererzung in jungarchaischen Nephelinsyeniten dar. Als Wertminerale treten Fergusonit, Zirkon, Titanit, Britholit-Y und Thorit auf. Die ermittelten Ressourcen betragen 1,51 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,310 % Nb, 1,21 % Zr und 0,153 % SEO.

15 km südwestlich von Lesnoe liegt das genetisch sehr ähnliche Seltenmetallvorkommen von Sakharjok mit einer peralkalinen Vererzung aus Zirkon, Britholit, Pyrochlor und Fluorit in Nephelinsyeniten

Vorkommen	Erzminerale	Erzressourcen	Erzreserven	Gehalte
Berg Okhmyl'k	Columbit-Tantalit, Spodumen, Pollucit, Lepidolith	1,06 Mio. t	7,39 Mio. t	0,33 % Li, 90 ppm Ta
Olenii Höhenrücken	Columbit, Tantalit, Beryll	563.000 t	563.000 t	0,8 % Li, 150 ppm Ta
Mudajok	Pollucit, Spodumen, Lepidolith, Columbit-Tantalit	300.000 t		0,3 % Li, 100 ppm Ta
Voron'etundrovskoe	Pollucit, Tantalit, Columbit, Mikrolith, Spodumen, Lepidolith, Beryl		600.000 t	1,03 % Li, 340 ppm Ta
Polmostundrovsoe	Spodumen, Beryl, Tantalit, Columbit		28,94 Mio. t	1,25 % Li, 0,027 % Be, 70 ppm Nb, 39 ppm Ta
Kolmozerskoe	Spodumen, Columbit-Tantalit		74,04 Mio. t	1,14 % Li, 0,019 % Be, 110 ppm Nb, 91 ppm Ta

Tab. 5-12: Bedeutende Vorkommen von Seltenmetallpegmatiten auf der Kola-Halbinsel, Quelle: FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE.



Abb. 5-99: Blick über den Seidozerosee und das Ellemarajoktal inmitten des Lovozero-Massivs, aus IVANJUK et al. (1997).

bzw. Miaskiten. Die dortigen Ressourcen betragen 35,8 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,058 % Nb, 0,84 % Zr und 0,107 % SEO (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Im Gebiet der Voronnje-Berge sind zudem die Pegmatite besonders Li- und Ta-reich. Gehalte oder Mengenangaben liegen nicht vor.

5.2.1.10 Lithium und Beryllium

Bei Bol'shoi Lapot', unweit von Murmansk, kommt in den dortigen mesoarchaischen Amphiboliten ein großer Gangschwarm aus granitischen, mit 15 – 25° einfallenden Seltenmetallpegmatiten vor. Diese führen als Wertminerale Beryl, Columbit und Spodumen. Die berechneten Ressourcen liegen bei 10,5 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,06 % Be, 0,005 % Li, 100 ppm Nb und 50 ppm Ta (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE).

Besonders auch der metallogenetische Titovsko-Kolmozerskaya-Distrikt in der Uraguba-Kolmozero-Nahtzone, die sich von rund 100 km östlich von Murmansk weiter nach Osten erstreckt, enthält zahlreiche Vorkommen von Seltenen Metallen. Diese sind genetisch alle an granitische Pegmatit-schwärme meso- bis neoarchaischen Alters gebunden. Eine Übersicht der wichtigsten Vorkommen gibt Tab. 5-12.

5.2.1.11 Seltene Erden

Das Lovozero-Massiv liegt 20 km östlich des bekannten Khibiny-Komplexes zwischen dem Umbozero See im Westen und dem Lovozero See im Osten. Es umfasst ein Areal von ca. 650 km² bei kreisförmiger bis leicht ovaler Fläche (s. Abb. 5-99). Der Intrusivkörper von Lovozero hat die Form eines Lakkoliths und weist eine Schichtung auf. Nach geophysikalischen Messungen ist zu vermuten, dass er sich unterhalb einer Teufe von 1,5 bis 2 km in Form eines riesigen Schlotens mit einem Querschnitt von rund 180 km² in die Tiefe fortsetzt. Das Intrusionsalter beträgt 370 Ma. Vier Intrusionsphasen werden unterschieden (IVANJUK et al. 1997):

Phase I

Poikilitische Nephelinsyenite (5 Vol.-% des Massivs): leukokrate, grobkristalline Syenite mit großen Mikroklin-Kristallen und zahlreichen, poikilitischen Einschlüssen von Nephelin und Sodalith bzw. Nosenan. Schlierenförmige Pegmatitlinsen sind häufig.

Phase II

Insgesamt mindestens 2,5 km mächtige rhythmische Folgen von Urtiten, Foyaiten und Lujavriten mit allmählichen Übergängen innerhalb einer Gesteinsserie, aber scharfen Grenzen zwischen den Serien (77 Vol.-% des Massivs).



Abb. 5-100: Dunkelrote Eudialytkristalle bis 1,4 cm Größe in Apatitzerz aus einer Bohrung am Kukisvumchorr, aus BRITVIN et al. (1996).

Urtite: dunkel-grünlichgraue, feinkörnige, kompakte Gesteine aus kleinen Nephelin-Quadern mit etwas Aegirin und Feldspat; akzessorische Minerale sind Murmanit, Loparit, Villiaumit, Eudialyt, Lamprophyllit u. a.

Foyaite: hellgraue, grobkörnige Gesteine aus unterschiedlich orientierten, großen Mikroklinleisten und Nephelin sowie Aegirin als Zwickelfüllungen. Häufige Begleitminerale sind Arfvedsonit, Murmanit, Eudialyt, Lamprophyllit, Rinkit u. a.

Aegirin-/Hornblende-Lujavrite: gräulich grüne bis schwarze, mittel- bis grobkörnige, Amphibol- und Aegirin führende Nephelin-Feldspat-Gesteine trachytoider Textur. Begleitminerale sind dieselben wie in den Urtiten und Foyaiten.

Phase III

In Gesteine der früheren Phasen bis 800 m mächtige Intrusion von Eudialyt-Lujavrit (18 Vol.-% des Massivs): grünlich graues bis dunkelgrünes, mittelkörniges Gestein aus großen, durch Nephelin, feinnadligen Aegirin und Eudialyt miteinander verbundenen Mikroklin-Tafeln. Begleitminerale sind Lamprophyllit, Lorenzenit, Murmanit, Loparit, Titanit und Apatit. Das Gestein schließt oft linsenförmige Eudialyt-Körper von einer Mächtigkeit bis zu einigen Metern ein, die zu 65 – 75 % aus

gut entwickelten roten Eudialytkristallen bestehen (vgl. Abb. 5-100). Im Mittel führt der Lujavrit 13 – 20 % Eudialyt mit Durchschnittsgehalten von 13,7 % ZrO_2 , 0,8 % Nb_2O_5 und 2,3 % SEO. Ein Magmenstock dieser Gesteine bildet das Zentrum des Lovozero-Komplexes.

Phase IV

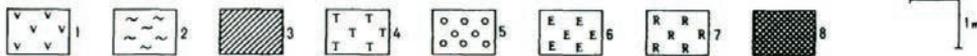
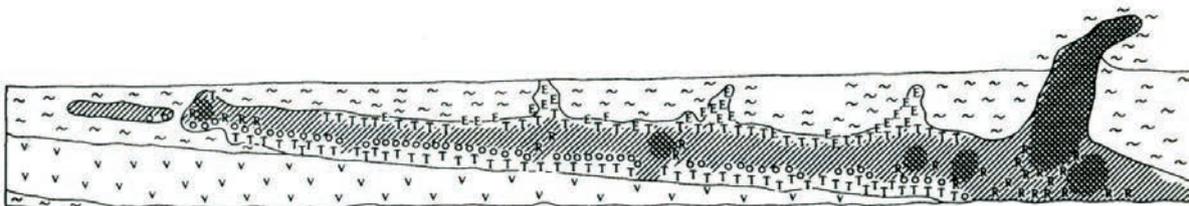
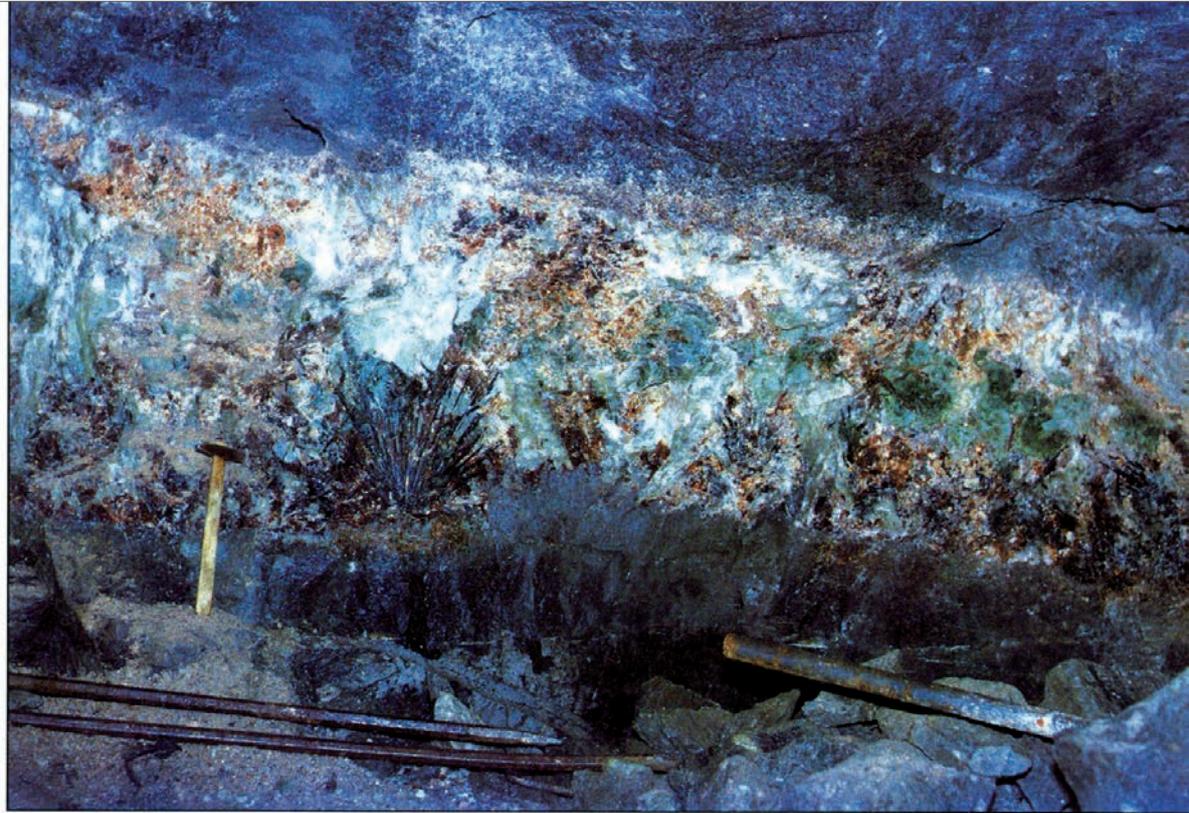
Alkalilamprophyrgänge in allen Phasen sowie hydrothermale und mächtige, sehr mineralreiche und in der Assoziation sehr unterschiedliche Pegmatitgänge (vgl. Abb. 5-101) insbesondere in Gesteinen der Phasen I und II.

In den Gesteinsfolgen der Phase II finden sich Nb-Ta-Erze in Form von Loparit-Malignit-Lagern (bestehend aus Loparit, $Na(Nb,Ta,SE)Ti_2O_6$, im Hangend- sowie Pyrochlor im Liegendbereich). Insgesamt wurden 65 „Flöze“ identifiziert, von denen allerdings die meisten wegen zu geringer Mächtigkeit für eine Nutzung nicht in Frage kommen. Von Interesse sind nur > 0,2 m, idealerweise > 1,0 m mächtige Erzlager; die maximale Mächtigkeit beträgt 3,7 m. Die Erzflöze sind sehr horizontbeständig, sie lassen sich über mehrere 10er km verfolgen (DALHEIMER et al. 1988).

Die Loparit-Malignit-Erze enthalten durchschnittlich 35 – 52 % Nephelin, 13 – 33 % Alkalifeldspat sowie 12 – 19 % Aegirin. Weitere Minerale sind Amphibole, Sodalith, Zeolith, Villiaumit, Apatit sowie in geringen Gehalten Biotit und Titanit. Als wirtschaftlich wichtige Nb-, Ta- und SE-Minerale treten auf Loparit (Nb-Ta-SE-Perowskit), ferner Murmanit, Ramsayit und Lomonosovit, untergeordnet auch Eudialyt und Pyrochlor, der zur Teufe hin zunimmt.

Der Urtit führt dagegen durchschnittlich nur 1 Vol.-% Loparit (MITCHELL & CHAKHMOURADIAN 1996).

Die abgebauten Erze enthalten im Durchschnitt 4 Vol.-%, lokal 10 – 12 Vol.-% bzw. maximal 85 Vol.-% Loparit und Murmanit mit Gehalten von 0,35 – 10,82 % Nb_2O_5 , 0,64 – 0,67 % Ta_2O_5 sowie 28,4 – 34,3 %, im Durchschnitt 31,9 % SEO im Loparit und 6,65 – 7,71 % Nb_2O_5 sowie



Schematischer Profilschnitt des Pegmatitganges "Jubilejnaja". Legende:
 1 = Lujavrit; 2 = Foyait; 3 = Natrolithzone; 4 = Übergangszone mit Mikroklin und farbigen Mineralien; 5 = Zone der Aegirin-"Sonnen" mit reichlich Hornblende und Lomonosovit; 6/7 = Gangpartien, besonders reich an Eudialyt (6) bzw. an Mineralien mit seltenen Metallen (7, z.B. Chkalovit und Steenstrupin); 8 = Hohlräume mit zuckerkörnigem weißem Natrolith. Aus: PEKOV & PAVLOV (1995).

Abb. 5-101: Der Pegmatitgang „Jubilejnaja“ im Bergwerk Karnasurt. In der dargestellten Partie gut erkennbar die Natrolithzone im Zentralteil des Pegmatits und die Übergangszone mit dunkelbraunem Lomonosovit und strahligen Aegirin-„Sonnen“ bis 40 cm Größe. Der Bildausschnitt misst 2,5 m Breite, aus IVANJUK et al. (1997).

0,50 – 0,56 % Ta_2O_5 im Murmanit bzw. durchschnittlich 0,2 – 0,5 % Nb_2O_5 im Erz (MITROFANOV et al. 1995). Im Jahr 2010 wurden rund 5.339 t Loparitkonzentrat mit einem Gehalt von ca. 90 % Loparit gewonnen und daraus in der Magnesiumhütte von Solikamsk 1.495 t SEO, 397 t Nb_2O_5 , 27 t Ta_2O_5 und 1.470 t Titanschwamm erzeugt.

Das Lovozero-Massiv umfasst folgende Lagerstätten bzw. Abbaustellen von Lopariterz (FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE):

- Karnasurt, seit 1951 Untertageabbau auf ein geringmächtiges, aber sehr reiches Loparitflöz am gleichnamigen Berg bzw. am

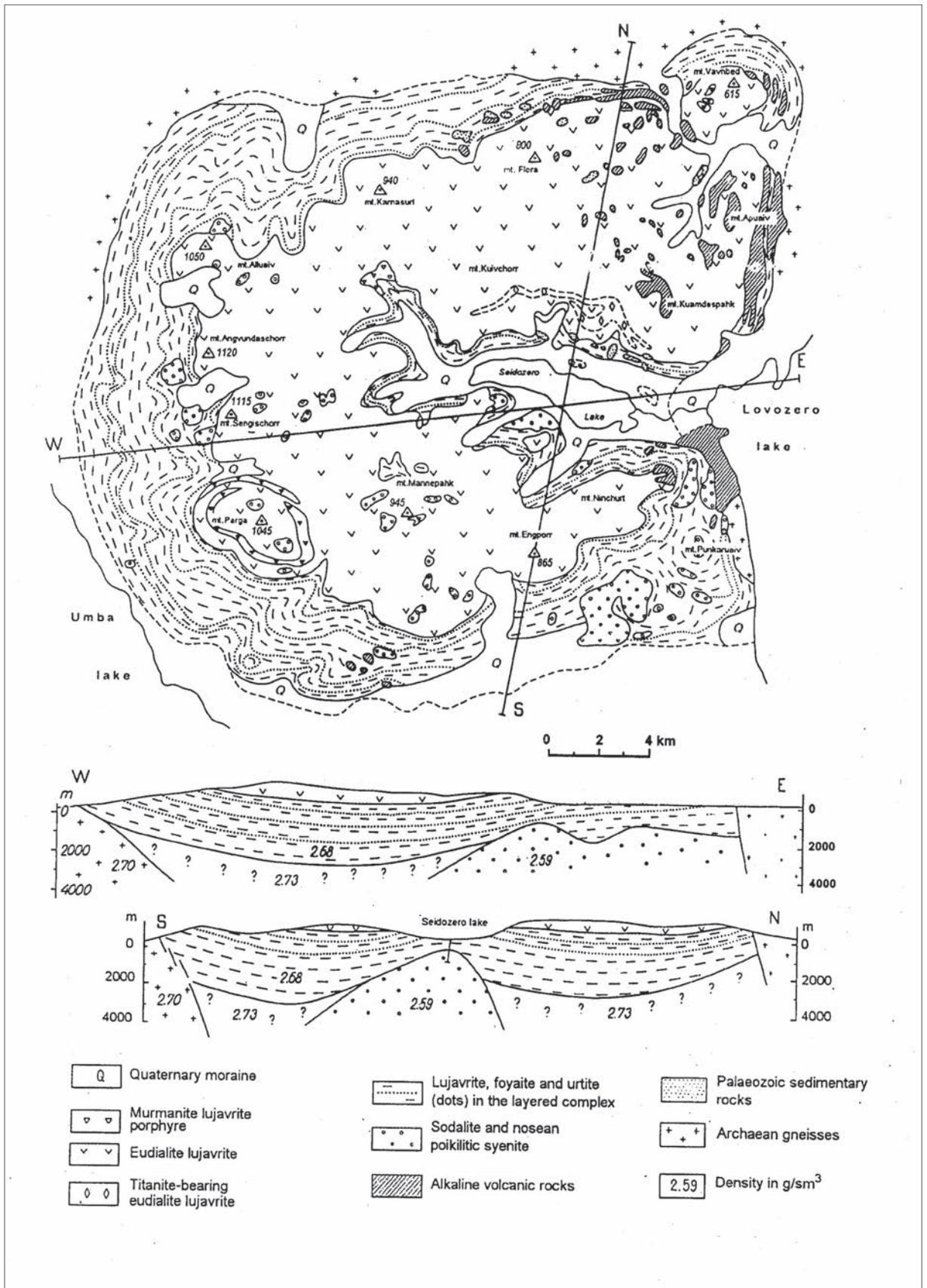


Abb. 5-102: Geologische Karte der und Profilschnitt durch die Lovozero-Intrusion, aus MITROFANOV et al. (1995).

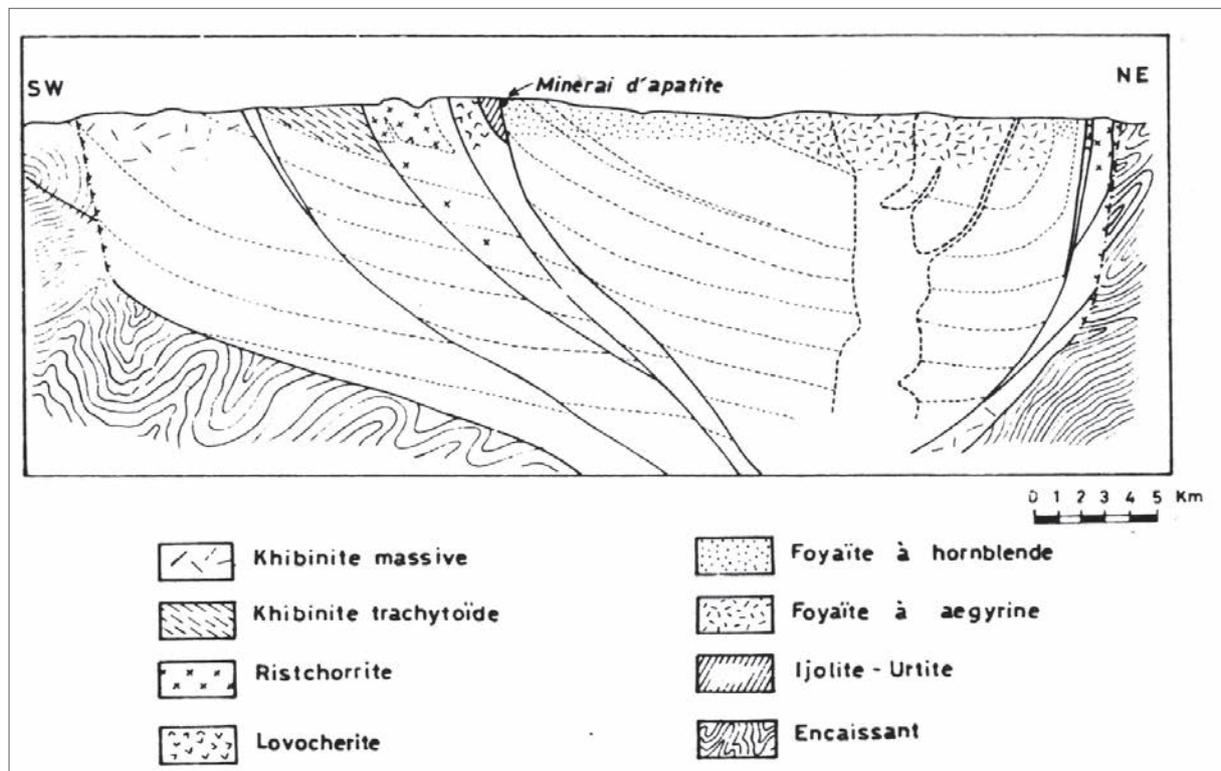


Abb. 5-103: Geologischer Profilschnitt durch den Khibiny-Komplex, aus DALHEIMER et al. (1988).

Ufer des kleinen Ilma-Sees; sehr niedrige Orte nicht > 80 cm; zum Bergwerk gehören zwei Untertage-Abschnitte: Karnasurt und Kedyk sowie zwei Tagebaue am Nordhang des Karnasurt; Gesamtreserven zum Ende des Jahres 2006: 24 Mio. t Erz mit Gehalten von 1,33 % SE, 0,347 % Nb, 260 ppm Ta und 1,67 % Ti.

- Umbozero bzw. Umba, seit 1984 Untertageabbau eines 2 – 3 m mächtigen, niedrig-gradigen Ijolith-Urtit-Flözes am Berg Alluaiv; höher am Hang des Alluaiv-Berges noch ein kleinerer Tagebau; Gesamtreserven von 180,469 Mio. t Erz mit Gehalten von 0,95 % SE, 0,186 % Nb, 150 ppm Ta und 1,39 % Ti.
- Kedykvyrpakhk, zum Ende des Jahres 2006 unverritzte Reserven von 9 Mio. t Erz mit Gehalten von 1,52 % SE, 0,380 % Nb, 310 ppm Ta und 1,93 % Ti.
- Alluaiv, zum Ende des Jahres 2006 unverritzte Reserven von 90,06 Mio. t Erz sowie zusätzlich Ressourcen von 88,78 Mio. t Erz mit Gehalten von 1,25 % SE, 0,330 % Nb, 230 ppm Ta und 1,4 % Ti.

Zeitweise wird in den genannten Bergwerken auch Eudialyt-Erz zur Zr-Gewinnung gefördert. Einzelheiten sind nicht bekannt.

Das produzierte Niobkonzentrat enthält rund 40 % Nb₂O₅ (DALHEIMER et al. 1988).

Ebenfalls der zukünftigen Gewinnung von Seltenen Erden könnten einige der Apatit-Lagerstätten des Khibiny-Komplexes dienen (s. Phosphat und Abb. 5-103). Bei der Aufbereitung des Apatits mit Schwefelsäure (80 % Produktionsanteil) zur Herstellung von Phosphorsäure als Düngemittelvorstoff geht ein Großteil der Seltenen Erden erst in Lösung und fällt dann umgehend mit dem reichlich entstehenden Gips aus. Aus diesem Phosphogips ist eine Extraktion der SE wirtschaftlich nicht möglich. Auch beim Aufschluss mit Salpetersäure („ODDA-Prozess, 20 % Produktionsanteil) gehen die SE in Lösung, aus der ihre Abtrennung jedoch etwas leichter möglich ist (PARCHMANN 1991a).

In den Kola-Apatiten treten im Wesentlichen die leichten SE, dominiert von Ce, La und Nd, auf (KIJKOWSKA 1983). Eine genauere Analyse der prozentualen Anteile der einzelnen SE im Apatit gaben JUNG & ERLER (1984): 18 % La_2O_3 , 41 % Ce_2O_3 , 5,8 % Pr_2O_3 , 21 % Nd_2O_3 , 2,6 % Sm_2O_3 , 0,5 % Eu_2O_3 , 2,7 % Gd_2O_3 , 0,4 % Tb_2O_3 , 1,0 % Dy_2O_3 , 0,15 % Ho_2O_3 , 0,3 % Er_2O_3 , kein Tm_2O_3 , 0,2 % Yb_2O_3 , kein Lu_2O_3 , 5 % Y_2O_3 .

Nach der FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE sind diesbezüglich folgende Lagerstätten bzw. Vorkommen der Kola-Halbinsel von Relevanz:

- Partomchorr im NW des Komplexes. Hier lagern Reserven von 877,4 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 0,2 % SE.
- Yuksporskoe im SW des Komplexes. Hier wurden zu Beginn des Jahres 2005 verbliebene Reserven von 542,2 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 0,38 % SE ausgewiesen.

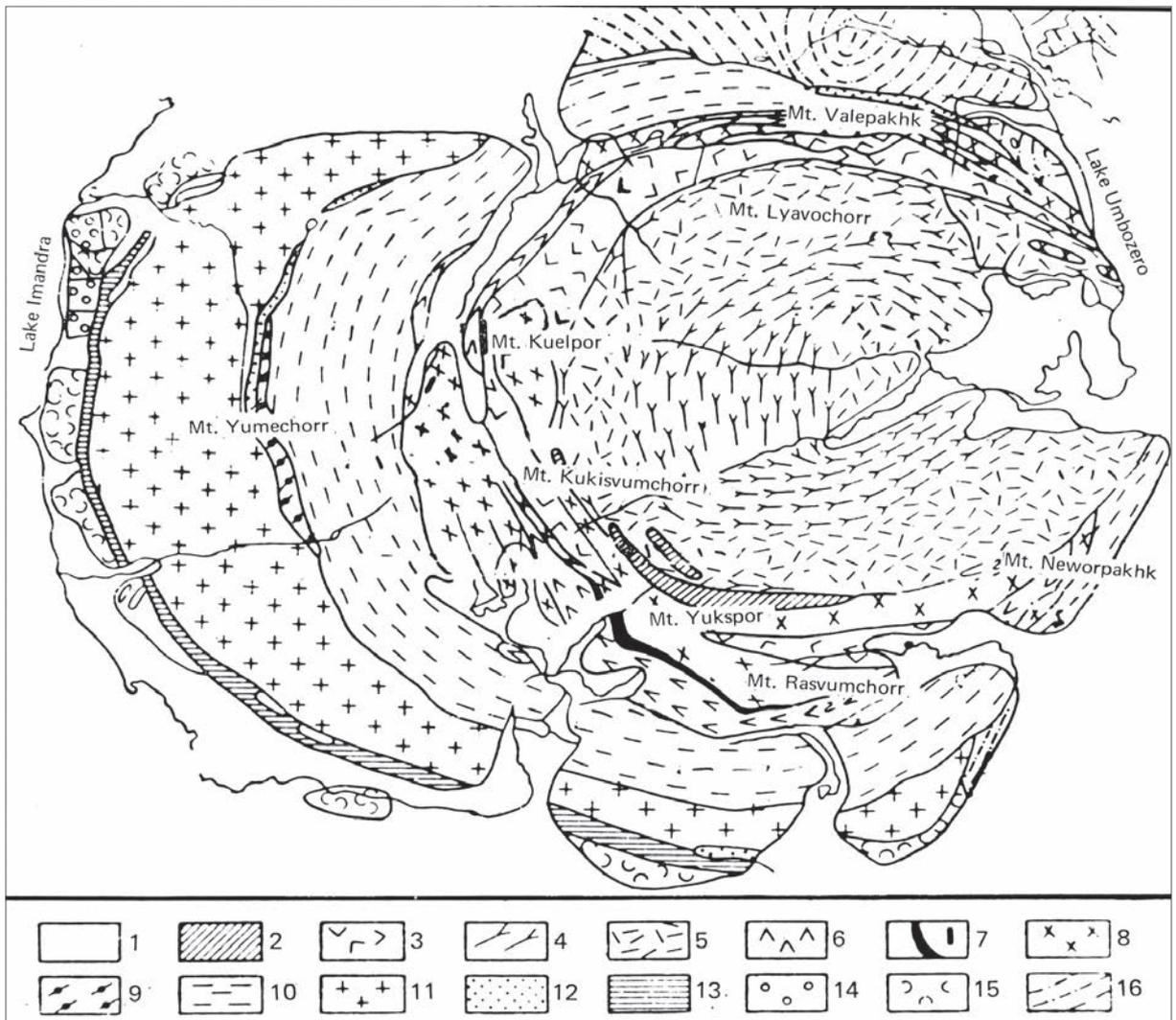


Abb. 5-104: Geologische Übersichtskarte des Khibiny-Massivs, aus GERASIMOVSKY et al. (1974).

1: Quartär 2: feinkörnige Glimmer-Aegirin-Amphibol-Nephelinsyenite 3: mittelkörnige Aegirin-Nephelinsyenite 4: trachytoide Foyaite 5: massive Foyaite 6: Ijolithe, Urtilite, Malignite 7: Apatit-Nephelingesteine 8: Rischorrite 9: Alkalisyenitporphyre 10: trachytoide Khibinite 11: massive Khibinite 12: Alkali- und Nephelinsyenite 13: Plagioklas-Pyroxen-Hornfels 14: Quarzgabbro-Diabas 15: Kissenlava, Metamandelsteinlava, Grünschiefer, tuffitisch-sedimentäre Gesteine 16: Gneise.

- Rasvumchoor im S. Zu Beginn des Jahres 2005 betragen die verbliebenen Reserven 350,4 Mio. t Erz mit durchschnittlich 0,34 % SE.
- Koashvinskoe im SE des Komplexes. Anfang 2005 betragen die Reserven 856,6 Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 0,41 % SE.
- N'orkpakhkskoe im E des Khibiny-Komplexes. Die dortigen noch unverritzten Reserven betragen 67,67 % Mio. t Erz mit einem Durchschnittsgehalt von 0,39 % SE.

LESCH (1978) nennt hierzu im Gegensatz langjährige durchschnittliche SE-Gehalte der Kola-Apatite von 0,7 – 0,8 %.

Das Afrikanda-Vorkommen, eigentlich mehr eine Titanomagnetit-Lagerstätte, enthält in ihren Oliviniten und Pyroxeniten auch Reserven von 627,3 Mio. t Erz mit Gehalten von 18 % Fe, 11,12 % Ti und 0,67 % SE. Die prozentuale Verteilung der SEO in einem aus dem Afrikanda-Vorkommen produzierten Perowskittestkonzentrat mit insgesamt 4 % SEO beträgt nach JUNG & ERLER (1984): 19,5 % La_2O_3 , 49,0 % Ce_2O_3 , 4,8 % Pr_2O_3 , 19,7 % Nd_2O_3 , 2,8 % Sm_2O_3 , 1,8 % $\text{Eu}_2\text{O}_3 + \text{Gd}_2\text{O}_3$, 1,1 % Dy_2O_3 und 1,3 % $\text{Tb}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$.

Im Vergleich hierzu sind die Gesteine des Kovdor-Komplexes relativ arm an SE (VERHULST et al. 2000).

Die Sedimentgesteine der spätriphäischen Zemplepakhtinskaya-Formation (Kildinskaya-Gruppe) auf den Sredni- und Rybachi-Halbinseln und der ebenfalls spätriphäischen Kuyakanskaya Formation (Voklovaya-Gruppe) auf der Sredni-Halbinsel führen Phosphorite, die erhöhte SEO-Gehalte aufweisen, aber nicht bauwürdig sind (NEGRUTSA et al. 1995).

In der Zemplepakhtinskaya-Formation sind die bis zu 7 x 0,5 cm großen Phosphoritfragmente an Linsen in einer 20 bis 30 m mächtigen Bank innerhalb von Feldspatsandsteinen gebunden. Die einzelnen Linsen sind 0,5 – 3 m mächtig bzw. 10 – 300 m, durchschnittlich 50 m, lang. Der P_2O_5 -Gehalt variiert sehr stark zwischen 0,5 – 7,5 % im Gestein bzw. 16,45 – 24,26 %, durchschnittlich 21 %, in den Phosphoriten. Interessanter ist der erhöhte Gehalt an Seltenen Erden. Dieser beträgt 0,12 – 0,14 % im

Erz bzw. 0,44 – 0,60 %, durchschnittlich 0,51 %, in den Phosphoriten.

In der Kuyakanskaya-Formation ist der Phosphorit führende Horizont 15 – 25 m mächtig. Die 1 – 30 cm, meist 10 – 12 cm großen Phosphoritfragmente finden sich darin in Linsen aus Konglomeraten von 0,2 – 15 m Mächtigkeit und 20 – 200 m Länge. Der P_2O_5 -Gehalt in den Konglomeraten liegt bei rund 6 %, in den Phosphoritfragmenten bei 6,05 – 30,33 %, durchschnittlich 21 %. Der Gehalt an Seltenen Erden in den Phosphoriten liegt bei 0,12 – 0,31 %, durchschnittlich 0,24 %.

5.2.1.12 Thorium

Thorium ist in einigen Gesteinen des Kovdor-Komplexes, z. B. im Pegmatitkern der dortigen Phlogopitlagerstätte (s. Glimmer) stark angereichert.

Auch das einzige stalinistische Straflager (GULAG) auf der Kola-Halbinsel soll der Gewinnung von Thoriumerzen gedient haben, die dessen Insassen im Hackman-Tal bis hinauf zu den Hängen des Berges Yukspor (Khibiny-Massiv) abbauen mussten.

5.2.2 Industrieminerale

5.2.2.1 Phosphat

Der bekannte und augenscheinlich weltweit einzigartige Khibiny-Alkalikomplex wurde im späten 19. Jh. entdeckt und erhielt seinen Namen von der umgebenden Khibiny Tundra, die abrupt auf rund 1.000 m ü. HN aus der umgebenden marschigen Kola-Ebene aufsteigt. Der Komplex liegt unmittelbar nördlich der Stadt Kirovsk, rund 160 km südlich der Hafenstadt Murmansk.

Der zwischen 377 – 362 Ma intrudierte Khibiny-Komplex stellt mit 1.327 km² Fläche die größte Alkaliintrusion der Erde dar. Es handelt sich um einen Ringkomplex von ungefähr 40 km Durchmesser, der im Wesentlichen aus Nephelinsyenit verschiedener Varietäten besteht (s. Abb. 5-105). Diese erhielten Lokalnamen wie Khibinit, Rischorrit, Lujavchorrit u. a. Der zentrale Teil der Intrusion besteht aus Aegirin- und Arfvedsonit-Foyait, während der äußere

	fleckiges und fleckig gebändertes Erz	linsenförmiges Erz	netzartiges Erz	großblockiges Erz
SiO ₂	8,21	19,95	32,72	16,42
TiO ₂	0,33	1,49	1,94	1,54
Al ₂ O ₃	6,46	12,39	20,55	10,25
Fe ₂ O ₃	1,35	1,68	3,37	1,20
Andere R ₂ O ₃	2,04	1,42	0,94	0,99
FeO	0,43	1,62	4,01	1,12
MgO	0,84	0,79	0,84	0,57
CaO+SrO	41,96	28,44	12,38	32,98
Na ₂ O	1,95	5,66	9,18	4,41
K ₂ O	1,38	2,71	3,85	2,45
P ₂ O ₅	31,43	20,48	6,64	24,24
MnO	0,03	0,06	0,09	0,02
H ₂ O ⁻	0,36	0,69	0,21	0,79
H ₂ O ⁺	0,29	1,27	0,83	0,81
F ₂	2,30	0,04	0,67	1,73
Cl ₂	0,04	1,54	0,03	0,03
SO ₃	0,00	0,29	0,06	0,28
CO ₂	0,62	0,26	1,27	0,18
BaO	0,12	0,00	0,09	n.v.
Summe	99,18	100,06	99,39	99,29

Tab. 5-13: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung (in M.-%) von Apatit-Nephelinerzen des Khibiny-Komplexes, aus ILYIN (1989).

Ring aus massivem Khibinit besteht, der zum Zentrum hin in trachytoiden Khibinit übergeht. Im Einzelnen konnten acht verschiedene Intrusivphasen unterschieden werden, aus denen jeweils verschiedene Gesteinsvarietäten hervorgingen (ILYIN 1989).

Die wichtigsten Apatit-Nephelinerzvorkommen stehen in Zusammenhang mit den konischen Intrusionen der 5. Ijolith-Urthit-Phase und bilden eine fast durchgehende Zone an der Südwestgrenze des Komplexes. Diese Zone erstreckt sich über 70 km Länge und 0,2 – 2,5 km Breite und umfasst damit nur 4 – 5 % der Fläche des gesamten Massivs. An den meisten Stellen besteht der Apatiterzkörper aus einem niedrig- und einem hochgradigen Bereich, die beide brekziös ausgebildet sind, sich aber sonst in ihrem äußeren Erscheinungsbild und ihrer Chemie (s. Tab. 5-13) stark unterscheiden. Zudem gibt es einphasig und mehrphasig entstandene Vorkommen. In den Erzvorkommen macht Apatit 5 – 50 %, Nephelin 10 – 70 %, Aegirin und Aegirin-Augit

1 – 25 % sowie Titanit 1 – 12 % des Mineralbestandes aus. Dazu kommen Feldspat und Titanomagnetit (DALHEIMER et al. 1988). Unter den bis zu 50 anderen Mineralen sind als wichtigste zu nennen: Lepidomelan, Arfvedsonit, Rinkolith (Lovchorrit), Knopit, Enigmatit, Lamprophyllit, Eudialyt und Lomonosovit (Murmanit) (ILYIN 1989).

Die größten Apatitlagerstätten befinden sich im südwestlichen Erzdistrikt, durch den sich über 12 km Länge ein einzelner länglicher Erzkörper verfolgen lässt. Er ist in seiner Breite veränderlich und fällt zur Mitte der Intrusion, d. h. nach Nordosten, an der Oberfläche mit 10 – 20° bzw. in 1 – 2 km Teufe mit 40 – 60° ein. Die Mächtigkeit dieses Erzkörpers beträgt 100 – 200 m an der Erdoberfläche. Bis in 200 m Teufe dünnt er fast vollständig aus. In einer oberen Titanit-Apatit-Zone enthält das dortige Erz durchschnittlich 8 % P₂O₅, in der unteren Apatit-Nephelin-Zone schwankt der P₂O₅-Gehalt von 4 % in imprägnierten Apatit-Aegirin-Nephelinerzen

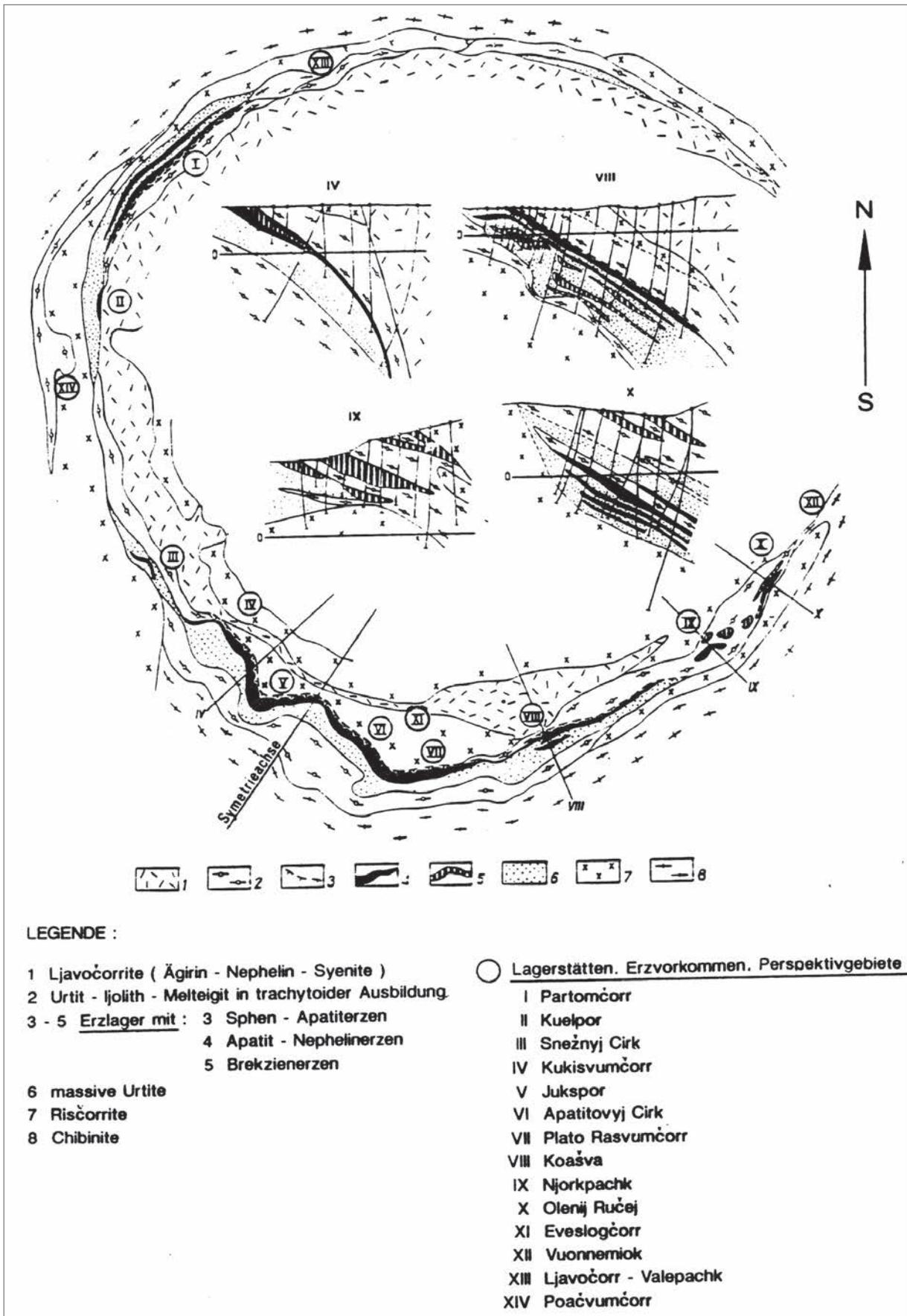


Abb. 5-105: Lage der Apatitlagerstätten und -vorkommen im Khibiny-Komplex, aus PARCHMANN (1991a).

über 12 – 14 % in fein gefleckten Erzen, 16 – 18 % in Erzen mit Blöcken aus Apatit, 20 % in linsenartig geschichteten Erzen bis zu 30 – 32 % in grobfleckigen Erzen. Generell nimmt der P_2O_5 -Gehalt vom Hangenden zum Liegenden und vom Zentrum zu den Außenrändern des Erzkörpers ab. Der im Khibiny-Komplex anstehende Apatit enthält teils auch wirtschaftlich interessante Gehalte an Seltenen Erden, s. hierzu Teilkapitel 5.2.1.11.

Der geschilderte Erzkörper wird in folgende, alleamt einphasig entstandene Einzellagerstätten gegliedert (ILYIN 1989, PARCHMANN 1991a):

- Kukisvumchorr (Kukisvumčorr): 40 % der Gesamtzuvorräte; 1926 entdeckt, seit 1930 im Abbau v. a. unter Tage im Bergwerk „S.M. Kirov“ und untergeordnet in den Saamskii-Tagebauen (s. Abb. 5-106); Abbaufelder Kukisvumchorr und Saamskii (3 – 5 % SEO im Erz); 150 m durchschnittliche Mächtigkeit des Erzkörpers an der Oberfläche bzw. 5 – 30 m in 1.000 – 1.500 m Teufe,
- Yuksporskoe (Jukspor): seit 1951 im Abbau (unter Tage); Abbaufelder Yukspor (max. 150 m Mächtigkeit) und Hakman (durchschnittlich 34 m Mächtigkeit, niedriggradiges Titanit-Apatiterz mit 11 – 12 % P_2O_5); Länge des Erzkörpers 3,4 km,
- Apatit Circus (Apatitovyj Cirk): seit 1956 im Abbau (unter Tage); niedrig- und hochgradige Erze; im Hangenden 100 – 160 m, zum Liegenden hin 10 – 20 m Mächtigkeit, Länge des Erzkörpers 2,35 km,
- Rasvumchorr (Rasvumčorr): 40 % der Gesamtzuvorräte; 1926 entdeckt, seit 1954 versuchsweise im Abbau; 1964 Eröffnung des zentralen Tagebaus Centralnyj (s. Abb. 5-107), der rund 50 % des Gesamtproduktion des Khibiny-Komplexes liefert; Abbaufelder Rasvumchorr und Ost-Rasvumchorr; Abnahme des durchschnittlichen P_2O_5 -Gehaltes von 18,5 bis < 12 % zur Teufe hin; 160 m durchschnittliche Mächtigkeit an der Oberfläche bzw. in 1.100 m Teufe auskeilend (s. Abb. 5-107); Länge des Erzkörpers 3,4 km an der Oberfläche bzw. 5 – 30 m in 1.000 – 1.500 m Teufe, sowie



Abb. 5-106: Blick nach NW auf den Tagebau am Kirov-Schacht unterhalb des Berges Yukspor, aus BRITVIN et al. (1996).

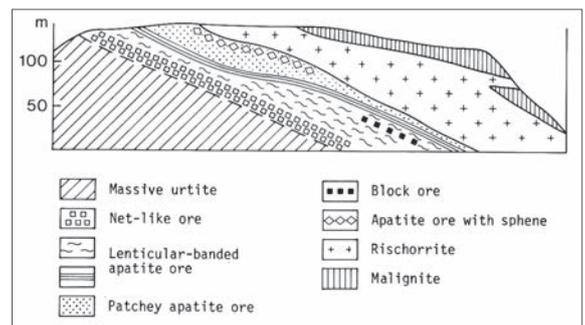


Abb. 5-107: Profilschnitt durch die Rasvumchorr-Apatitlagerstätte, aus KOGARKO & KHAPAEV (1987).

- Eveslogchorr (Eveslogčorr): 1967 entdeckt und danach vollständig exploriert, sehr ähnlich Rasvumchorr in größerer Teufe, ein abgeflachter linsenförmiger Erzkörper mit durchschnittlich 40 m Mächtigkeit.

Der südöstliche Erzdistrikt gliedert sich von SW nach NE in folgende Einzellagerstätten (ILYIN 1989, PARCHMANN 1991a):

- Koashvinskoe (Koašva), 1960 entdeckt und seit 1978 durch den Tagebau Vostočnyj in Abbau. Der dortige, mehrphasig entstandene Erzkörper ist über 3 km Länge verfolgbar und wurde bis in 1.800 m Teufe erkundet. Im Einzelnen handelt es sich um bis zu sieben, durch taubes Nebengestein getrennte, linsen- bis schichtförmige Erzhorizonte von jeweils 1,7 bis 3 km Länge und 39,1 bis 42,4 m bzw. zusammen 165 m Mächtigkeit. Der



Abb. 5-108: Blick auf die Ebene des Kleinen Vudjavr-Sees inmitten der Khibiny-Tundra mit den Abbauen am Berg Yukspor (Mitte) und Rasvumchorr (rechts), aus BRITVIN et al. (1996).

Phosphatgehalt variiert je nach Erztyp sehr stark und liegt bei durchschnittlich 15 % P_2O_5 .

- Die 1932 entdeckte Lagerstätte N'orkpakhkskoe (Njorkpachk) wird durch den Fluss Suoliok in die zwei Abbaufelder Neworkpachk im Nordwesten und Suoluajv im Südosten getrennt. Ein Probeabbaubetrieb startete 1989. Die Erzzone ist 600 bis 800 m breit, 1,8 km lang und umfasst vier flach einfallende Horizonte aus brekziösem Apatit-Nephelinerz, deren Mächtigkeit zwischen 31,5 und 64,5 m, gesamt 280 – 350 m beträgt. Der durchschnittliche Gehalt liegt bei 14,1 % P_2O_5 .
- Olenij Ručej wurde erst 1975 entdeckt und bis 1985 vollständig exploriert. Die Lagerstätte, die aufgrund komplizierter bergtechnischer Bedingungen eher langfristig für einen Abbau vorgesehen ist, beinhaltet eine Vielzahl von Erzlagern in einer 500 – 700 m mächtigen Erzzone. 40 % des Erzes besteht aus Reicherz mit 31 % P_2O_5 .
- Die große, erst 1978 entdeckte Partomchorr-Lagerstätte des nordwestlichen Erzfelds liegt im steilen Rischerr-Partomchorr-Lujavchor-Gebirgsmassiv und lässt sich dort bei einem

Einfallen von 35 – 45° nach SE über 6 km Länge verfolgen. Das Erz ist am besten in den zentralen und nordöstlichen Teilen des Vorkommens entwickelt. Dort beträgt die minimale Mächtigkeit 27 m, die maximale Mächtigkeit 180 m. Die Lagerstätte besteht aus wechsellagernden Apatit-Nephelinerzen und Urthorizonten, die relativ an Apatit angereichert sind. Der Abbau ist mittel- bis langfristig im Tagebau vorgesehen.

- Derzeit noch ohne Bedeutung sind die kleinen Vorkommen Kuelpor, Poačvumčorr und Snow Circus (Snežnyj Cirk) im Westen des Khibiny-Komplexes sowie die noch wenig erkundeten Vorkommen Deer Creek (Vuonnemiok) und Ljavočorr-Valepachk (PARCHMANN 1991a).

Der Khibiny-Komplex stellt das größte magmatische Phosphorvorkommen der Erde dar und ist eine der wichtigsten russischen Rohstoffquellen für die Düngemittelproduktion. Der kommerzielle Abbau begann 1930, wurde nach dem 2. Weltkrieg stark ausgeweitet und geht heute in fünf Tagebauen mit einer Gesamtjahreskapazität von 55 Mio. t Erz um. Seit Beginn der Förderung bis heute wurden ca.

	Apatiterz	Apatitkonzentrat	Apatit	Nephelinkonzentrat	Nephelin	Titanit
SiO ₂	25,54	0,57	0,16	43,77	41,99	29,52
TiO ₂	0,91	0,08	n.b.	0,04	0,02	38,69
ZrO ₂	0,00	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,38
P ₂ O ₅	16,65	39,40	40,97	0,24	0,00	0,00
Nb ₂ O ₅	0,00	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,51
Al ₂ O ₃	15,36	0,51	0,16	29,83	33,04	0,47
TR ₂ O ₃	0,24	0,80	1,04	n.b.	n.b.	0,54
Fe ₂ O ₃	2,16	0,79	0,03	2,49	1,84	1,56
FeO	1,66	0,10	n.b.	0,95	0,00	0,12
MnO	0,09	0,01	0,01	0,00	n.b.	0,03
MgO	0,68	0,05	0,04	0,71	n.b.	0,07
CaO	23,08	52,32	52,47	1,22	0,04	27,38
SrO	0,74	2,53	2,84	0,00	0,00	0,22
Na ₂ O	7,72	0,36	0,09	12,49	16,06	0,37
K ₂ O	3,01	0,11	0,03	7,68	6,90	0,05
H ₂ O ⁺	0,86	0,39	0,39	0,35	0,00	0,00
H ₂ O ⁻	0,12	0,08	0,00	0,14	0,00	0,06
CO ₂	0,18	0,09	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
F	1,42	3,28	3,15	n.b.	n.b.	0,17
-O-F	0,60	1,38	1,32	0	0	0,08
Total	99,82	100,00	100,06	99,88	99,89	100,34

Tab. 5-14: Typische chemische Zusammensetzung (in M.-%) von Apatiterz, Konzentraten und Mineralen aus dem Khibiny-Komplex, aus DUDKIN & TYAPINA (1997). n. b. = nicht bestimmt.

	Apatit-Forsterit-Gestein	Apatit-Forsterit-Magnetit-Calcit-Gestein	
	Durchschnitt	Spannbreite	Durchschnitt
SiO ₂	29,97	4,50 – 11,30	7,01
TiO ₂	0,17	0,39 – 1,58	0,69
Al ₂ O ₃	1,83	1,50 – 4,20	2,61
Fe ₂ O ₃	5,28	25,10 – 46,11	35,17
FeO	5,50	9,85 – 19,10	14,19
MnO	0,32	0,13 – 0,46	0,34
MgO	37,76	8,60 – 14,40	11,38
CaO	9,86	6,60 – 24,70	14,10
Na ₂ O	0,12	0,00 – 0,46	0,24
K ₂ O	0,48	0,05 – 0,31	0,21
P ₂ O ₅	6,86	2,36 – 11,30	6,21
S	0,12	0,01 – 0,57	0,23
CO ₂	0,60	1,10 – 11,30	7,02
H ₂ O-	1,60	0,40-6,50	0,52

Tab. 5-15: Chemische Zusammensetzung (in M.-%) von Apatit führenden Gesteinen aus Kovdor, aus ILYIN (1989).

1.700 Mio. t Erz gewonnen und daraus 265 Mio. t P₂O₅-Inhalt ausgebracht (umgerechnet nach PARCHMANN 1991a). Abbauversuche zur Erhöhung der Produktion mittels Nuklearsprengungen im Jahr 1984 wurden nicht fortgeführt (WALL 2003).

Insgesamt betragen die verbliebenen Gesamtvorräte im Khibiny-Komplex rund 3.800 Mio. t Apatiterz mit durchschnittlich 15 % P₂O₅ (cut-off 4 % P₂O₅) entsprechend 550 Mio. t P₂O₅-Inhalt (DUDKIN & TYAPINA 1997) bzw. 2.700 Mio. t Nephelinerz, aus denen 500 Mio. t Nephelinkonzentrat gewonnen werden könnten (ILYIN 1989, vgl. Nephelin). Anfang der 1990er Jahre lagen die sicher nachgewiesenen Reserven im gesamten Komplex bei einem cut-off von 8 % P₂O₅ bei rund 1.150 Mio. t Apatiterz (PARCHMANN 1991a).

Die typische mineralogische Zusammensetzung (in M.-%) des produzierten Erzes ist nach DUDKIN & TYAPINA (1997): 38,4 % Apatit, 37,1 % Nephelin, 12,2 % Aegirin, 2,7 % Titanit, 2,4 % Natrolith+Hydroglimmer, 2,3 % Mikroklin, 2,1 %

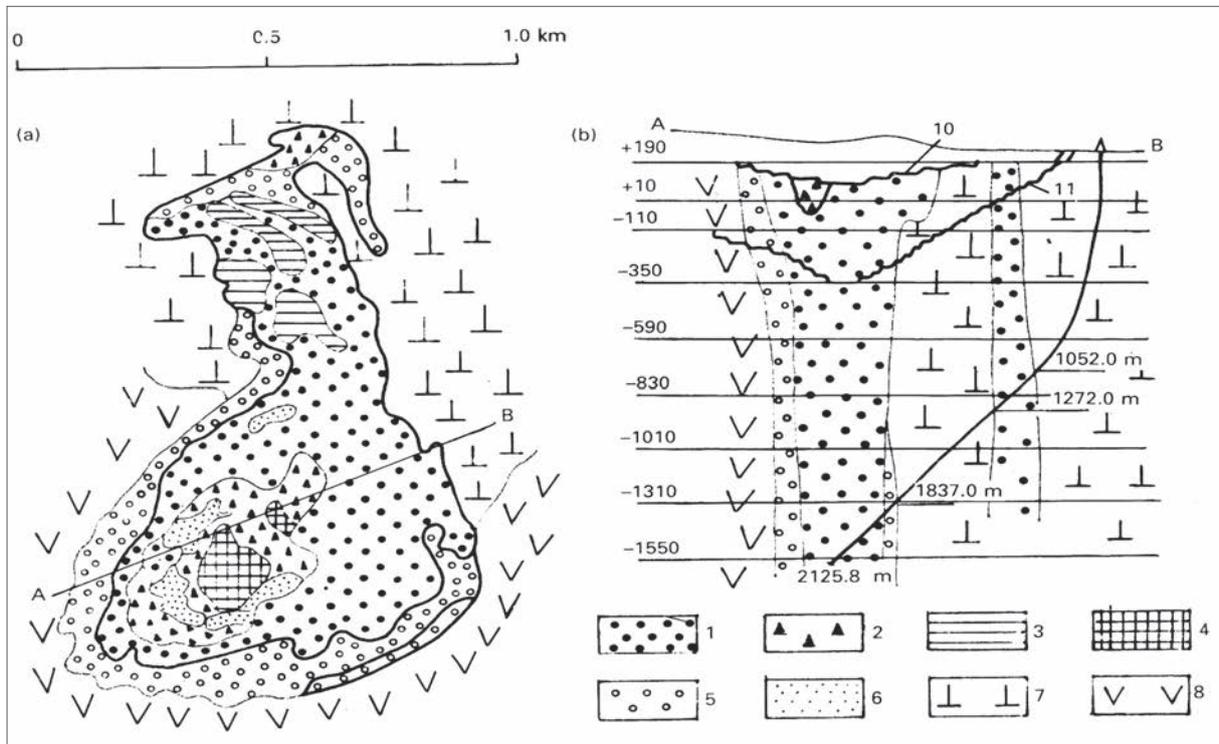


Abb. 5-109: a) Geologische Übersichtskarte und b) Profilschnitt des Kovdor-Apatit-Magnetit-Vorkommens

1: Apatit-Forsterit-Magnetiterz 2: Apatit-Calcit-Magnetiterz 3: Forsterit-Magnetiterz 4: Calcitkarbonatit 5: Apatit-Silikaterz
6: Dolomitkarbonatit mit Apatit (Apatit-Karbonaterz) 7: Pyroxenit 8: Ijolith, aus ILYIN (1989).

Titanomagnetit, 1,8 % Amphibole+Biotit sowie ca. 1 % Eudialyt, Astrophyllit, Monsandrit, Perowskit, Aenigmatit und Pektolith. Das Apatitkonzentrat enthält im Mittel 39,4 % P_2O_5 (Parchmann 1991a, s. Tab. 5-14). Die Rückstände der Apatit-Flotation enthalten nach MEYER (1988): 6,2 % Apatit, 60,8 % Nephelin (vgl. Nephelin), 13,0 % Aegirin, 2,2 % Titanit, 2,8 % Titanomagnetit, 8,2 % Feldspat, 1,4 % Hydroglimmer und 5,1 % Schlämme und Verwachsungen.

Die Möglichkeiten der Abtrennung weiterer Erzkomponenten, wie Titanomagnetit (Konzentrat: 94 – 95 % Titanomagnetit, 1,9 – 2,2 % Aegirin, 1,3 – 2,1 % Nephelin, 1,1 – 1,5 % Titanit, 0,8 – 1,0 % Apatit), Aegirin (für Glas- und Mineralwolle) und Titanit (Konzentrat: 28,5 % TiO_2) wird seit langem erforscht (MEYER 1988, vgl. Tab. 5-14). Grundsätzliche Nutzungsmöglichkeiten der Flotationsabgänge liegen in der Herstellung von Soda, Pottasche und Zement sowie in der Abtrennung von Gallium. In Versuchsanlagen konnten im Salpetersäure-Verfahren aus 1 t Apatit-Flotationsrückständen 190 – 200 kg Tonerde, 270 – 290 kg Natronsalpeter,

90 – 100 kg Kalisalpeter oder 70 – 80 kg Pottasche, 100 – 120 kg Phosphor-Kali-Dünger (20 – 25 % P_2O_5 , 20 – 28 % K_2O) und 200 – 300 kg amorphe Kieselerde erzeugt werden (MEYER 1988).

Im Südwesten des Kovdor-Komplexes (s. Eisen) bilden Apatit-Forsterit-Gesteine zusammen mit eingeschlossenen Magnetiterzen (> 13 % Fe) einen eigenständigen, ca. 1,3 km langen und 100 bis 800 m mächtigen „Erzkörper“. Dieser Erzkörper besteht aus Apatit-Forsterit-, Forsterit-Magnetit- und Apatit-Forsterit-Magnetit-Erz mit Tetraferrophlogopit und Clinogumit, wie auch Dolomit-Magnetit-Erz mit grünem Phlogopit. Der zentrale Teil des Vorkommens besteht aus dolomitischem Karbonatit. Das Magnetiterz enthält 38 % Magnetit und 16 % Fluor führenden Apatit (6 – 7 % P_2O_5 , ca. 1 % F, s. Tab. 5-15), zusammen mit Forsterit (22 %) und Karbonaten (14 %). Die Vorräte an „Apatiterz“ im Kovdor-Erzkörper betragen rund 54 Mio. t Erz mit Gehalten von durchschnittlich 17 – 18 % P_2O_5 und < 15 % Fe (PARCHMANN 1991b). Zudem treten bauwürdige Konzentrationen an V, Nb, Zr, Mn, Ti, Co und Ni auf (ILYIN 1989).

Der Kovdor-Komplex steht seit 1961 auf Eisenerz im Abbau. Im Jahr 2007 wurden 5,24 Mio. t Eisenerzkonzentrat erzeugt. Der entstandene Zhelezny-Tagebau ist 2,3 km breit und 300 m tief. Aus den Aufbereitungsabgängen werden zudem seit 1975 Apatit und seit 1976 Baddeleyit flotativ gewonnen. Im Jahr 2007 belief sich die Produktion von Apatitkonzentrat auf 2,5 Mio. t. Die Apatit-Konzentrate bestehen zu rund 90 % aus Apatit, der Rest setzt sich im Wesentlichen aus Calcit, Dolomit und Forsterit zusammen. Die verbliebenen Eisenerzvorräte im Kovdor-Komplex zum Ende des Jahres 2002 betragen rund 487 Mio. t mit durchschnittlich 7 – 8 % P_2O_5 , was umgerechnet ca. 70 Mio. t Apatiterz entspricht. Da der Apatit aus Kovdor jedoch hohe Gehalte von durchschnittlich 4,5 % MgO enthält, wird er kaum zur Düngemittelproduktion, sondern lieber als Viehfutterbeimischung genutzt (Ilyin 1989).

5.2.2.2 Nephelin

Bei der Flotation der Apatiterze der in Abbau stehenden Lagerstätten des Khibiny-Komplexes, fallen seit 1939 große Mengen (ca. 60 % der Abgänge) an Nephelin an. Nur rund 10 % der jährlich anfallenden Mengen, ca. 1,6 Mio. t, werden davon zur Herstellung von Tonerde genutzt. Der Umfang der im Laufe der Jahrzehnte akkumulierten Aufbereitungsabgänge kann auf 450 – > 500 Mio. t geschätzt werden (Meyer 1988). Die Nephelinkonzentrate von Khibiny enthalten 90 – 93 % Nephelin und haben folgende mittlere Zusammensetzung: 28,5 % Al_2O_3 , 0,3 % P_2O_5 , 43,9 – 4,6 % SiO_2 , 0,5 – 0,6 % TiO_2 , 3,1 – 3,5 % Fe_2O_3 , 1,8 % CaO, 11,0 – 12,5 % Na_2O und 7,3 – 7,8 % K_2O . Die Verarbeitung des Nephelinkonzentrats zu Tonerde (99,39 % Al_2O_3) erfolgt seit 1949 bzw. 1959 in den Oxidwerken Volkhov und Pikalevo, beide östlich von St. Petersburg, wo ausreichend große Vorkommen an für den Herstellungsprozess benötigten Kalkstein zur Verfügung stehen (DALHEIMER et al. 1988). Der bei der Herstellung der Tonerde anfallende Schlamm wird in der Zementindustrie eingesetzt. Aus der Tonerde wird in einem Werk in Kandalaksha Aluminium hergestellt (ERLER & JUNG 1984).

Große Mengen von Nephelin reichen Sanden mit 60 – 70 Vol.-% Nephelin lagern auch am Ostufer des Imandra-Sees, angrenzend an das Khibiny-Massiv.

Auch der Fluss Belaja, in dem jahrzehntelang die Aufbereitungsrückstände der Apatitflotation eingeleitet wurden, stellt zwischenzeitlich eine große Nephelinlagerstätte dar. In diesem Fluss wurden durch natürliche Dichtesortierung Titanomagnetit, Aegirin und andere schwere Minerale im oberen Flussabschnitt, der leichte Nephelin aber in seinem Mündungsbereich und in der Belaja-Bucht abgelagert (ANONYM 1943).

5.2.2.3 Feldspat

Viele der zahlreichen Pegmatite der Kola-Halbinsel führen Feldspäte unterschiedlicher Mineralogie und Qualität, aber teils in großen Kristallen. Nach ANONYM (1943) sind die wichtigsten Vorkommen:

- Bezirk Yena – Babinskaja Imandra: große Feldspatvorkommen in Fortsetzung der Pegmatitsuite Nordkareliens. In der Loivova Tundra im Quellgebiet des Flusses Yena existiert eine qualitativ hochwertige Lagerstätte aus saurem, weißem Plagioklas.
- Kandalaksha-Porja Guba und die Inseln des Kandalaksha-Fjords: zahlreiche Vorkommen aus häufig mit Biotit verunreinigtem Feldspat. Vorwiegend weißer Oligoklas und rosa Mikroklin.
- Flüsse Streljna und Sljudjanka: viele Feldspatvorkommen in Mikroklin- und Pegmatitgraniten.
- Sapadnaja Liza und Kola-Fjord: große Vorkommen von Feldspat keramischer Qualität, die an verschiedene Gneisarten gebunden sind.
- Zentrales Gebiet nördlich der Khibiny-Intrusion: Am Fluss Petscha und in der Nähe von Jageljnya-Bor sind mehr als 200 Pegmatitgänge vorhanden.

Zum Zuständigkeitsbereich des Bergbau- und Anreicherungskombinats Kovdorsljuda gehören auch die Pegmatitlagerstätten von Kuru-Vaara und Otradnoje. Hier wird der Pegmatit unter Tage abgebaut und als Rohstoffbasis für die Porzellan-, Steingut- und elektrotechnische Industrie genutzt. Die Vorräte in beiden Lagerstätten gemeinsam betragen rund 40 Mio. t Pegmatit (MEYER 1988).

5.2.2.4 Baddeleyit

Aus den Abgängen der Aufbereitung der Apatitreichen Magnetiterze in Kovdor wird seit 1976 auch Baddeleyit flotativ abgetrennt. Zudem werden die Halden von Kovdor, die seit 1962 entstanden sind, seit 1995 ebenfalls auf Baddeleyit hin aufbereitet. Aufgrund der fein- bis feinstkörnigen Ausbildung des Baddeleyits beträgt das Ausbringen nur ca. 50 %.

Im Roherz beträgt der Baddeleyitgehalt durchschnittlich 0,14 %. Die in Kovdor produzierten Baddeleyitkonzentrate zeichnen sich durch hohe Reinheitsgrade aus, der kombinierte Gehalt an Fe-, Mg-, Si-, Ti- und Ca-Oxiden übersteigt 2 – 2,5 % nicht. Die mittlere Zusammensetzung des häufigsten Konzentrats beträgt 98 % ZrO_2+HfO_2 , 0,6 % SiO_2 , 0,47 % MgO , 0,3 % CaO , 0,2 % Fe_2O_3 , 0,18 % P_2O_5 und 0,14 % TiO_2 (DALHEIMER et al. 1988; WILLIAMS 1996). Zudem werden aber auch höher angereicherte Baddeleyitkonzentrate mit 99,2 – 99,4 % ZrO_2 und 2- bis 5-fach geringeren Anteilen an Fe, Mg, Al, Ti, P, S, Ca, U und Th produziert. 2007 betrug die Gesamtproduktion an Baddeleyitkonzentraten 7.136 t.

5.2.2.5 Fluorit

Von der Kola-Halbinsel sind keinerlei bauwürdige Lagerstätten oder auch nur größere Anreicherungen von Fluorit bekannt. Fluor ist jedoch ein häufiges Element in den Apatiten des Khibiny-Komplexes

sowie im Villiaumit des Lovozero-Massivs (ANONYM 1943)

5.2.2.6 Strontium

In verschiedenen Mineralen des Khibiny-Plutons ist der Sr-Gehalt deutlich erhöht. So führt bereits der durchschnittliche Apatit 2 – 3 % SrO und die Modifikation Saamit bis zu 12 % SrO (und zusätzlich 3 – 5 % SrO). Der Loparit der Lovozero-Intrusion enthält bis zu 3 % SrO (GUNDLACH 1941). Eine Aufbereitung findet, soweit bekannt, nicht statt.

5.2.2.7 Dolomit

Die beiden Dolomitsteinvorkommen der Kola-Halbinsel, bei Warsuga (Dolomitowaja-Waraka) und auf der Insel Kildin, sind beide sehr klein (je 110.000 m³) und von geringer Qualität (ANONYM 1943).

5.2.2.8 Disthen und Sillimanit

Hochmetamorphe Schiefer mit Disthen (bis 30 cm lange Aggregate), Sillimanit, Andalusit und Stauroolith (Kristalle bis 15 cm Durchmesser) sind auf der Kola-Halbinsel in den Kejwy Bergen bekannt. Das Kejwy-Hochland liegt im Osten der Halbinsel, verläuft parallel zur Nordostküste und besteht aus den kristallinen Schiefen der oberarchaischen Kejwy-Serien. Der Horizont der „produktiven“ Disthenschiefer ist bei einer Mächtigkeit von 80 – 150 m und einer Breite von 1 – 4 km, gelegentlich sogar 10 km, über 160 km streichende Länge zu verfol-

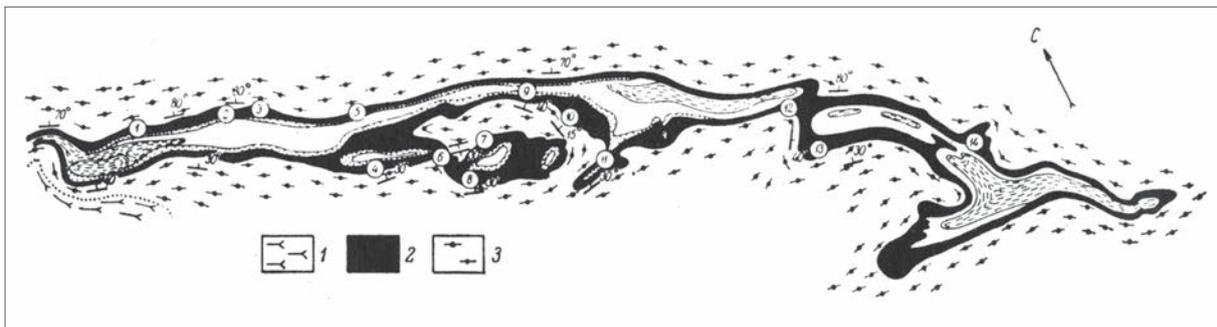


Abb. 5-110: Geologische Karte des Kejwy-Lagerstättengebietes, aus DALHEIMER et al. (1988). 1: Alkaligranit 2: produktive Disthenschiefer 3: Biotit-, Granat-Biotit- und Amphibolitgneise. Lagerstätten von Disthenerz (Nr. 1-14): 1-Vorgelurta, 2-Tavurta, 3-Tjanysh-Manjuk, 4-Chervurta, Lysturta, 5-Besimjannaja, 6-Bolschoi-Rov, 7-Kipurta, 8-Jagelurta, 9-Shuururta, 10-Novaja Shurrurta, 11-Malurdav, 12-Nuusa 1, 13-Nuusa, 14-Manjuk.

gen. Insgesamt können 23 Einzelvorkommen unterschieden werden, von denen vier hochgradiges Erz (37 – 40 % Disthen), zwölf mittelgradiges Erz und sieben niedriggradiges Erz führen. Die größte Lagerstätte (900 Mio. t) mit dem höchsten Disthengehalt (38 – 40 Vol.-%) ist Novaja Shuururta (vgl. Abb. 5-110).

Nach ANONYM (1943) besitzen die reichsten Stellen der hochgradigen Lagerstätten Gehalte von 41 – 54 Vol.-% Disthen; an einzelnen Lokationen wurden sogar Gehalte bis 75 – 80 Vol.-% Disthen ermittelt.

Die Gesamtvorräte in den Kejwy-Bergen betragen mehrere Mrd. t Disthenerz. Es handelt sich damit vermutlich um das größte Disthenvorkommen der Erde. Obwohl die ersten Einzelvorkommen 1928 entdeckt und bereits seit den 1930er Jahren gut bekannt sind, wurden erst wenige von ihnen näher erkundet. Von diesen könnte zurzeit nur Novaja Shuururta in Produktion gebracht werden. Ein großes Hindernis bei einer Erschließung wäre zudem auch die völlig unzureichende Infrastruktur in diesem Bereich der Halbinsel (DALHEIMER et al. 1988).

Am Nordkontakt der Lovozero-Intrusion, am Fluss Tuloma, ist ein größeres Vorkommen von proterozoischen Sillimanitschiefern bekannt, die sich hier über 2 km streichende Länge bei einer Mächtigkeit von 30 – 40 m erstrecken. Örtlich wurden Gehalte bis 33 Vol.-% Sillimanit analysiert. Der Sillimanitinhalt beträgt > 1 Mio. t (GUNDLACH 1942, ANONYMOUS 1943).

5.2.2.9 Industriegranat

Unterschiedlich große Vorkommen an Industriegranat sind von verschiedenen Stellen der Kola-Halbinsel bekannt, so z. B. in der Umrandung des Lovozero-Plutons am Berg Beresowaja.

Die größte Lagerstätte befindet sich jedoch in der Mitte der Halbinsel, nahe des Seijawr-Sees und des Flusses Sacharjok, am Kontakt einer Alkalisyenit-intrusion mit der Kejwy-Serie. Die größten Einzelvorkommen liegen am Berg Maksabak, bei Tachlintuaw und Rowosersk. Es handelt sich um Granatgneise mit bis zu 40 Vol.-% Granat. Einzel-

ne Schollen bis 5 m³ Größe sollen fast ausschließlich aus Granat bestehen. Einzelkristalle sollen bis zu 6 cm, maximal 15 cm Durchmesser und 6 kg Gewicht erreichen. Die Granatgneislagen sind in einigen Vorkommen bis 10 m, gelegentlich sogar bis 50 m mächtig (GUNDLACH 1941, ANONYM 1943).

5.2.2.10 Glimmer (Phlogopit, Vermikulit, Muskovit)

Im Kovdor-Komplex treten Phlogopit reiche Gesteine in einer halbrunden, bis 1 km breiten Zone auf, die sich nördlich an den zentralen ultrabasischen Kern anschließt. Die phlogopitreichen Gesteine bestehen aus Oliviniten, grobkörnigen Olivinpyroxeniten und Pyroxeniten, die sich in verschiedenen Stadien der Umwandlung zu Phlogopit und Diopsid befinden. Phlogopit tritt als isolierte plattige Kristalle, Körner, Gänge und Linsen auf. Im Nordwesten der halbrunden Zone wurde 1960 ein bauwürdiges Phlogopit-Vorkommen mit Gehalten von 50 bis > 600 kg Phlogopit/m³ Gestein (PARCHMANN 1991b) entdeckt, das seit 1963 unter Tage und seit 1979 auch im Tagebau abgebaut wird. Es wird durch einen Pegmatit repräsentiert, der eine Phlogopit-Diopsid-Forsterit-Mineralisation und einen „Apatitkern“ besitzt (s. Abb. 5-111). Dieser ist durch Einschlüsse von Thorianit stark radioaktiv. Der Pegmatit besitzt 250 x 100 m Größe, eine ellipsoide Form und fällt steil nach Norden ein. Bauwürdiger Phlogopit ist an Nester gebunden, in denen Riesenkristalle von Diopsid > 2 m bzw. Phlogopittafeln > 15 m gefunden wurden (KRASNOVA 2001). In der Vergangenheit wurden jährlich rund 25 – 29.000 t Phlogopiterz gefördert und daraus zwölf verschiedene Phlogopit-Sorten unterschiedlicher Blattqualität in einer Gesamtmenge von jährlich 7.500 – 8.000 t produziert (PARCHMANN 1991b) (vgl. Tab. 5-16).

Häufiger im zentralen Bereich des Kovdor-Komplexes, in den Oliviniten nahe dem Kontakt zu den Pyroxeniten, tritt auch Vermikulit auf, der aus alterierten Olivin-Phlogopit-Gesteinen hervorgegangen ist. Die Alterationszone reicht 20 – 30 m tief und enthält durchschnittlich 15 Vol.-%, maximal 50 Vol.-% Vermikulit. In ihrem Liegenden wurden Phlogopit reiche Gesteine durch Bohrungen bis in 800 m Teufe nachgewiesen. Die Vorräte an Vermikulit werden

	Phlogopit			
	Generation 1 (braun-grün)	Generation 2 (smaragdgrün)	Generation 3 (braun-roter Tetraferriphlogopit)	
SiO ₂	37,90	39,08	41,30	38,42
TiO ₂	1,11	0,38	0,46	0,44
Al ₂ O ₃	15,61	15,56	9,35	0,88
Fe ₂ O ₃	2,14	2,11	4,13	14,51
FeO	4,14	1,50	3,32	2,47
MnO	0,09	0,02	0,12	0,14
MgO	23,60	25,95	26,40	25,03
CaO	n. b.	0,04	n. b.	0,49
BaO	0,98	0,30	-	-
Na ₂ O	0,75	0,93	0,58	0,59
K ₂ O	9,51	9,06	9,93	10,40
H ₂ O ⁺	4,12	4,43	3,72	6,47
H ₂ O ⁻	n.b.	0,42	n. b.	0,24
F ⁻	0,22	0,34	1,04	0,09
Total	100,21	100,12	100,35	100,17

Tab. 5-16: Chemische Zusammensetzung (in M.-%) von Phlogopit verschiedener Wachstumsgenerationen aus dem Kovdor-Komplex, gekürzt nach KRASNOVA (2001). n. b. = nicht bestimmt.

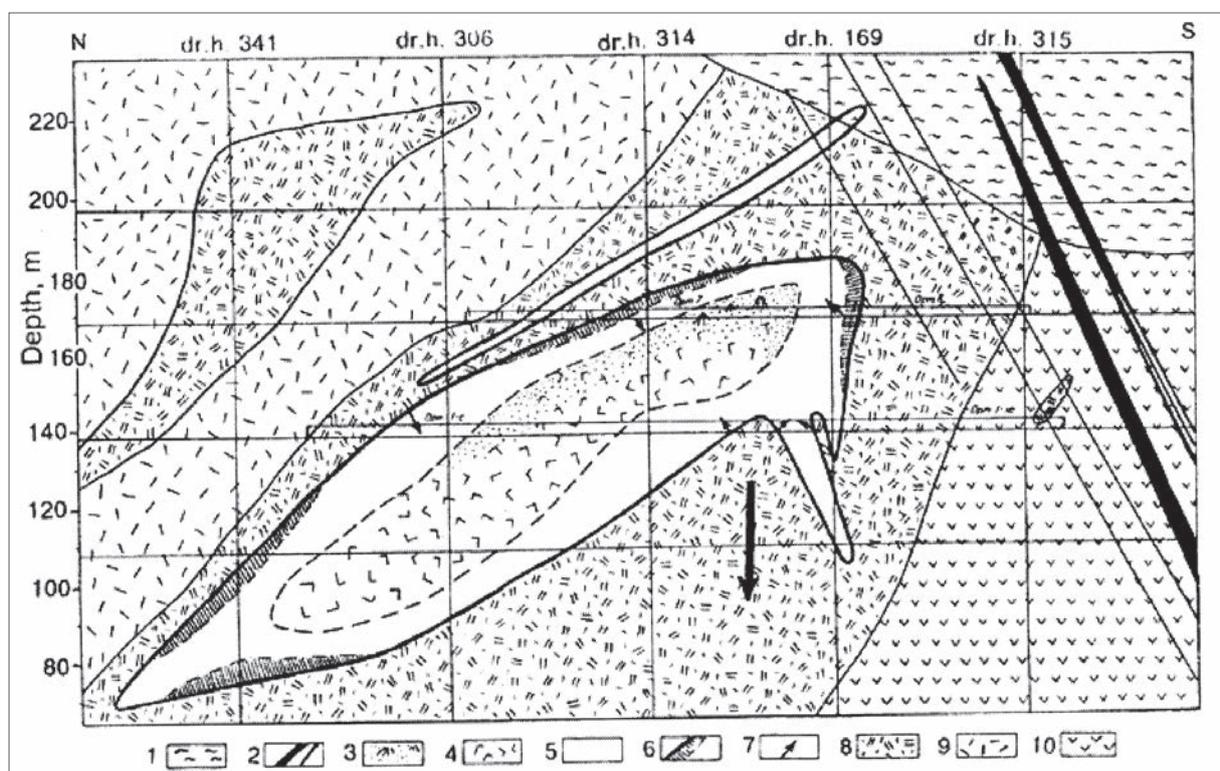


Abb. 5-111: Profilschnitt durch den Hauptphlogopitkörper von Kovdor, aus KRASNOVA (2001).

1: zersetzte Gesteine 2: Gänge und Dykes aus Feldspat führendem Jolith 3: Absonderungen von Apatit 4: Forsterit 5: pegmatitisches Forsterit-Phlogopit-Gestein 6: pegmatitisches Diopsid-Gestein 7: Projektionen der Vektoren der größten Wachstumsraten von Phlogopitkristallen (Durchschnitt) 8: grobkörniges und 9: mittelkörniges Diopsid-Phlogopit-Olivin-Gestein 10: Olivinit, großer Pfeil: vermutete Richtung des Absinkens des Blockes.

auf rund 50 Mio. t geschätzt (DALHEIMER et al. 1988, MITROFANOV et al. 1995).

Vermikulit-Erze treten in Kovdor in drei Abarten auf: Vermikulit-Erz, Vermikulit-Singulit-Erz und Hydrophlogopit-Erz, die einen komplexen Rohstoff bilden und in verschiedenen Anteilen Olivin, Diopsid, Apatit, Calcit, Phlogopit u. a Mineralien enthalten. Der Gehalt an Vermikulit im Erz liegt bei 8,5 – 14 %, im Konzentrat bei 85 – 90 %. Das Konzentrat enthält keinen Asbest.

Bereits im Jahr 1964 wurden die Vermikulite von Kovdor in einer Pilotanlage untersucht. Die Inbetriebnahme einer Aufbereitung mit einer Kapazität von 450.000 t Erz/J. bzw. 56.000 t Konzentrat/J. im Kombinat Kovdorsljuda erfolgte 1974. Auch der Phlogopit im Liegenden des im Tagebau gewonnenen Vermikulits wird herein gewonnen und im Kombinat Kovdorsljuda verarbeitet (MEYER 1988; DALHEIMER et al. 1988).

Von den zahlreichen Muskovitlagerstätten auf der Kola-Halbinsel sind zu nennen:

- Yena (Lejwojwa Tundra), rund 30 km östlich von Kovdor, wo seit 1934 Muskovit gewonnen wird, der in über 60 Pegmatitgängen auftritt. Diese setzen in Biotitgranitschiefern, Biotitschiefern und Gneisen des Präkambriums auf. Die Gänge streichen N-S und NW-SE. Auf einem „produktiven Gebiet“ von 2 km² Fläche waren 1937 mehr als 30 Gänge mit Vorräten von 221 t (B-Kategorie) bzw. 614 t (C1-Kategorie) Glimmerinhalt nachgewiesen. Der Muskovit ist zum Teil stark verschmutzt und von vielen Spalten durchsetzt, zum Teil aber auch rein und höherwertig. Rohglimmer-Kristalle besitzen bis 20 x 25 cm Größe. Der Gehalt an bauwürdigem Glimmer liegt bei 1 %, örtlich auch 1,5 % (KOLBE 1941). Beim Abbau fallen auch gewinnbare Mengen von Niob, Tantal und Beryll an.
- Kyoskoe, mit einer Abbaustelle ca. 13 km südlich von Kovdor,
- Bezirk Tersk, mit hochwertigen und teils abbauwürdigen Glimmervorkommen in Mikroklingraniten an den Flüssen Pulonga und Strelna und ihren zahlreichen Nebenflüssen.

- Ensker und Stelninger mit ursprünglichen Vorräten von insgesamt 18.886 t (B+C-Vorräte).
- Probeabbauten fanden bereits 1934 im SW-Ausläufer des Kejwy-Gebirges, im Tuarwid-Maksabak-Massiv sowie bei Sljadjanyje Sopki statt. Die Qualität ist unzureichend – bei Rohglimmergehalten von 0,5 – 4 % im Gestein können nur 1,5 – 2 % dieses Rohglimmers als Tafelglimmer verwendet werden (KOLBE 1941).

5.2.2.11 Diatomit

Ähnlich wie auf Island bildete sich in den zahlreichen Seen der Kola-Halbinsel Diatomit, der für verschiedene, auch hochwertige Zwecke nutzbar ist. Der Kieselgehalt schwankt jeweils zwischen 50 – 95 %, wobei der Gehalt an aktiver Kieselsäure 80 % übersteigt. Der Fe-Gehalt liegt unter 3 %. Die jüngsten Teile der Lagerstätten enthalten große Mengen an Sapropel. Nach Ausglühen ergeben diese Ablagerungen eine Kieselgur von besonderer Aktivität mit einem sehr hohen Absorptionsvermögen. In den topografisch höher gelegenen Seen sind die Kieselgurablagerungen sehr rein, während der Diatomit aus den niedriger gelegeneren Seen mehr mit klastischen Feinanteilen, aber auch Sapropel verunreinigt ist. Die Mächtigkeit der Ablagerungen beträgt maximal 4 m, die ermittelten Gesamtreserven übersteigen 50 Mio. m³ Diatomit.

Als bedeutendste Vorkommen nach ANONYM (1943) sind zu nennen:

- Einzugsgebiet des Flusses Kola: Zwischen der Station Laplandia und dem Dorf Kitza sind in unmittelbarer Nähe der Eisenbahnlinie 16 Kieselgurvorkommen bekannt, von denen das von Murdosero am besten erforscht ist. Die Vorkommen Murdosero und Pulosero beinhalten zusammen Vorräte von 3,7 Mio. m³ Diatomit.
- Einzugsgebiet des Imandra-Sees: Im Einzugsgebiet des Flusses Petscha sind über zehn relativ große Kieselgurvorkommen mit Gesamtreserven von 3 Mio. m³ Diatomit nachgewiesen. Nördlich des Imandra-Sees

befinden sich elf weitere Vorkommen mit Gesamtvorräten von 8 Mio. m³ Diatomit, unter denen das von Njudosero das am besten explorierte ist. Im Süden des Imandra-Sees schließen sich zehn und an der Babinskaja Imandra weitere fünf Kieselgurvorkommen mit Gesamtvorräten von 2,1 Mio. m³ Diatomit an. Hierunter ist das von Sembosero am besten bekannt.

- Einzugsgebiet des Umbosero: Am Fluss Tschudi und an anderen Stellen existieren zahlreiche Diatomitvorkommen mit Gesamtvorräten von 3,5 Mio. m³ Kieselgur.
- Einzugsgebiet des Lovozero: Hier gruppieren sich zahlreiche Seen mit Kieselgurvorkommen um die Flüsse Sergewanj und Seidosero. Die Gesamtvorräte betragen 12 Mio. m³ Diatomit.
- Im Einzugsgebiet der Seen Kolwizkoje und Kanosero sind 13 Diatomitvorkommen mit Gesamtvorräten von 10 Mio. m³ Diatomit bekannt. Weitere Vorkommen wurden an der Küste von Tersk und in der Nähe von Woroninski Pogost entdeckt.

5.2.2.12 Olivin

Auf der Kola-Halbinsel treten an vielen Stellen basische bis ultrabasische Gesteine, auch Olivinite, auf. ANONYM (1943) nennen die evtl. abbauwürdigen Vorkommen von Lesnaja-Waraka (Olivinite und Olivinit-Pegmatite), Monchegorsk (Peridotite „am Rand“ der Sulfiderze) und Padostundra (Olivinite in Pyroxeniten). Über eine Nutzung ist nichts bekannt.

5.2.3 Edel- und Naturwerksteine

5.2.3.1 Diamant

Im Süden der Kola-Halbinsel, am Küstenabschnitt von Terskii und bei der Stadt Kandalaksha wurden kleinere Intrusionen von Kimberliten und Meliliten nachgewiesen. Ähnlich den Alkaligesteinen der Kola-Halbinsel besitzen sie K-Ar-Alter von 382 bis 365 Ma. Nur die Kimberlite von Terskii sind Diamant führend, jedoch nicht abbauwürdig (vgl. Abb. 5-112).



Abb. 5-112: Übersichtskarte der bisher gefundenen Diamant führenden Kimberlite auf dem Karelischen Kraton. Quelle: GEOLOGISCHER DIENST VON FINNLAND.



Abb. 5-113: Amazonit (Feldspat) aus dem Kejwy Massiv, Kola-Halbinsel. Quelle: JENTSCH MINERALIEN

5.2.3.2 Naturwerksteine

Auf der Kola-Halbinsel sollen an vielen Stellen verschiedenste Arten von Naturwerksteinen in Abbau stehen. Einzelheiten sind jedoch nicht bekannt.

ANONYM (1943) beschreiben aus dem Gebiet der Seen Kanosero und Seijawr Pegmatite mit hochwertigem, dunklen, blaugrünen Amazonit, der an Alkaligranit gebunden sind.

	kleinere Vorkommen	bauwürdige Vorkommen	bedeutende Vorkommen	Vorkommen von Weltrang
Eisen			x	
Titan und Vanadium			x	
Blei/Zink/Silber	x			
Nickel				x
Kupfer	x		x ¹⁾	
Kobalt		x ¹⁾		
Molybdän		x		
Chrom		x		
Gold		x		
Platingruppenmetalle			x	
Niob und Tantal		x		
Lithium und Beryllium	x			
Seltene Erden			x	
Thorium	x			
Apatit				x
Nephelin				x ¹⁾
Feldspat		x		
Baddeleyit				x ¹⁾
Fluorit	x			
Strontium		x		
Dolomit	x			
Disthen				x
Sillimanit			x	
Industriegranat		x		
Glimmer				x
Diatomit			x	
Olivin		x		
Diamant	x			
Naturwerksteine		x		

Tab. 5-117: Zusammenfassende Bewertung des Rohstoffpotenzials der Kola-Halbinsel - soweit derzeit bekannt.

* = beibrechend

5.2.4 Zusammenfassung und Bewertung

Der Kola-Halbinsel ist sehr reich an Mineralvorkommen, wobei im Metallbereich im Wesentlichen nur die Nickellagerstätten (beibrechend Kupfer, Kobalt und PGM) von mehr als regionaler Bedeutung sind. Anders verhält es sich mit den Industriemineralen, wo einige der größten Vorkommen der Erde von Apatit, Nephelin, Baddeleyit, Phlogopit, Vermikulit und Disthen auf der Kola-Halbinsel zu

finden sind und größtenteils auch schon seit vielen Jahrzehnten in Abbau stehen.

Die gegenwärtige Exploration konzentriert sich auf die nähere Untersuchung von weiteren Nickel-, aber auch Eisenerz- und Molybdänvorkommen. Daneben stehen, wie in ganz Nordskandinavien, Gold und PGM im Fokus der Aufmerksamkeit. Ähnlich wie in Finnland hängt die Entdeckung weiterer bauwürdiger Mineralvorkommen nicht von einer möglichen zukünftigen Klimaerwärmung sondern dem Einsatz

moderner geophysikalischer Explorationsmethoden ab. Zudem wird die Gewinnung von niedrigpreisigen Rohstoffen im Osten der Halbinsel immernoch von der dortigen schlechten Infrastruktur behindert. Einen Überblick über das Rohstoffpotenzial der Kola-Halbinsel gibt Tabelle 5-17.

5.3 Svalbard

5.3.1 Metallische Rohstoffe

5.3.1.1 Gold

Bei Svansen, rund 18 km nördlich der internationalen Forschungsstation und nördlichsten Siedlung Spitzbergens, Ny-Ålesund, wurden 1988 in Bodenproben über weite Flächen Konzentrationen bis 10 ppm Au entdeckt. Um herauszufinden, ob diese oberflächennahen Anreicherungen mit einer im Untergrund vermuteten „11 km langen Struktur“ (Scherzone?) in Verbindung stehen, wurde 2003 von einem norwegischen Kohlebergbauunternehmen die Erlaubnis auf Abteufung von fünf Erkundungsbohrungen beantragt. Aufgrund der Ergebnisse von Umweltverträglichkeitsstudien wurden die Bohrungen vom Sysselelmannen von Svalbard genehmigt, nach Protesten der ortsansässigen Forschungsinstitute die Genehmigung dann aber vom norwegischen Umweltminister wieder zurückgezogen. Begründet wurde dies im Wesentlichen mit der zu erwartenden Luftverschmutzung beim Transport der Bohrgeräte, die im Widerspruch zu der unberührten und sauberen Natur stünde, die die Forschungsstation auszeichnete.

Ein Jahr später suchte das gleiche Kohleunternehmen jedoch auch nach Gold am St. Jonsfjord und wurde dort ebenfalls fündig. Explorationskampagnen in den Jahren 2008/09 bestätigten die Ergebnisse, so dass im Jahr 2010 Erkundungsbohrungen niedergebracht werden sollten.

Noch ohne Einsprüche ging zwischen 1908 und 1912 ein britischer Ingenieur bei Millarodden am Bellsund einem Hinweis auf Gold nach, jedoch blieben die damaligen Explorationskampagnen erfolglos (s. Abb. 5-114, HJELLE 1993).



Abb. 5-114: Alter Schachteingang mit Gleisen nahe dem Goldexplorationsgebiet von Millarodden, aus HJELLE (1993).

5.3.1.2 Eisen

Bei Martinfjella, auf der Ostseite des Recherchefjords, wurde 1911 in einer Abfolge von Kalk- und Dolomitsteinen ein vermeintlich großes Eisenerzvorkommen aus Magnetit und Hämatit submariner Genese entdeckt. In den folgenden Jahren wurde das Vorkommen durch verschiedene Firmen mit sehr widersprüchlichen Ergebnissen exploriert, bis dann 1919 endlich feststand, dass das dortige Erzvorkommen nicht wirtschaftlich gewinnbar ist. Auch ein Kilometer südwestlich von Berzeliustinden, östlich von Antoniabreen, wurden geringe Mengen an Eisenerz nachgewiesen (HJELLE 1993).

Ebenfalls stratiforme Eisenerzablagerungen finden sich auf Bouréefjellet, auf der NE-Seite von Prinz Karl Vorland. Dieses Vorkommen wurde bereits 1920 erkundet, u. a. aufgrund seiner Unzugänglichkeit jedoch ebenfalls nicht als wirtschaftlich gewinnbar eingestuft.

An der Nordspitze der Hamnetangen Halbinsel auf Spitzbergen, westlich von Farmhamna, tritt in einer Abfolge aus steil einfallenden Kalksteinhorizonten eine mehrere Meter mächtige Brekzie auf, deren Matrix reich an sehr feinkörnigen Eisenmineralen (1 – 5 µm) ist. An der Nordspitze der Halbinsel sind sogar einzelne Hämatitkörper bis 1 m³ Volumen ausgebildet. Die Brekzienzone lässt sich über 350 m streichende Länge bis unter Geröllbedeckung verfolgen. Die Eisenmineralisation in ihr ist nicht durchhaltend, sondern an unregelmäßige Linsen bis 20 m Länge und durchschnittlich 1,5 m Breite



Abb. 5-115: Brekziertes Zinkblendeerz von Sinkholmen. Honigbraune Zinkblende in Calcitmatrix, Foto: NATURHISTORISCHES MUSEUM, OSLO.

gebunden. Obwohl der größte Eisenerzkörper offensichtlich nur ca. 5 t Inhalt umfasst, wurde das Vorkommen gut erkundet und in der Vergangenheit sogar ein Claim abgesteckt (SIGGERUD 1962).

Auf Heer Land in Ostspitzbergen sind innerhalb der jurassischen und unterkretazischen Abfolgen zahlreiche, meist nur bis 30 cm mächtige Bänke mit Siderit mineralisiert. An der Jurabasis, über einem Phosphoritknollen führenden Konglomerat, existiert aber auch eine bis 3 m mächtige Bank aus sandigem Siderit. Dieser Siderit lieferte bei einer Analyse Gehalte von 10,6 % SiO_2 , 2,04 % Al_2O_3 , 47,8 % $\text{FeO}^{\text{total}}$, 4,46 % CaO , 4,6 % MgO und 30,5 % CO_2 , entsprechend umgerechnet 77,23 % FeCO_3 (PAVLOV & PANOV 1980).

5.3.1.3 Blei und Zink

Auf der im Bellsund gelegenen Inselgruppe Reinisøyane, speziell auf der südlichsten Insel Sinkholmen, sind die dort anstehenden Kalk- und Dolomitsteine mit Metallsulfiden, v. a. Zinkblende, mineralisiert (Abb. 5-115). Daneben treten Pyrit, Tetraedrit, Bleiglanz sowie untergeordnet Chalkopyrit, Bornit und andere Kupferminerale auf. Die dortige Vererzung wurde 1913 entdeckt und ab 1920 Sinkholmen, die Hauptinsel Bellsundholmen sowie das Festland nördlich bis Orustelva exploriert. Zwar wurden keine bauwürdigen Vorkommen entdeckt, doch im Zuge der Exploration, zwischen 1924 und 1926, insgesamt 260 t (andere Quellen 386 t) reiches Zinkerz mit einem Gehalt von 63 % Zn abgebaut (HJELLE 1993, HJELLE et al. 1986).

Nahe Höferpynten, an der Südküste des Hornsunds, finden sich Metallsulfide in Klüften, Gängen und in dolomitisierten Brekzien. Die Vorkommen sind durch Arsenopyrit charakterisiert; Pyrit, Bleiglanz und Zinkblende treten als Nebenbestandteile auf. Auch zwischen Austre Torellbreen und dem Eingang des Hornsunds treten Vererzungen auf und zwar als Gänge und Adern von Siderit und Pyrit, aber auch Chalkopyrit, Zinkblende und Bleiglanz (HJELLE 1993).

Ein kleines Vorkommen von Bleiglanz in devonischen Sandsteinen existiert bei Kapp Auguste Viktoria auf der Ostseite des Woodfjords.

Am Kapp Mineral sind Zinkblende und Bleiglanz Bestandteile in cm-breiten Calcitgängen, die einen brekzierten karbonatischen Phyllit durchziehen. Auch auf der Ostseite von Martinfjella, auf der Ostseite des Recherchefjords, sind Vererzungen mit Bleiglanz und Zinkblende beschrieben.

Auf der Bäreninsel, um Russehamna und Sørhamna, genauer bei Russehamna, Blyhatten und Russeelva, treten in Dolomit- und Kalksteinen bis 30 cm breite Gänge aus Baryt auf, die zudem Bleiglanz sowie untergeordnet Zinkblende, Pyrit und Chalkopyrit führen. Zwischen 1927 und 1930 wurden diese Gänge versuchsweise im Bergwerk „Gruben“ nördlich von Antarcticfjellet auf Bleiglanz abgebaut. Die unregelmäßige Verbreitung der Gänge, ihre geringe Größe und die hohen Gewinnungskosten führten jedoch nach Abbau von rund 500 t Erz, aus dem 305,5 t Bleierz gewonnen wurden, zu einer Einstellung des Betriebes (HJELLE 1993).

5.3.1.4 Kupfer

Auf der Südseite des St. Jonsfjords, bei Copper Camp, finden sich Chalkopyrit und andere Kupferminerale entlang einer Störung in Kalksteinen, ca. 300 m von der Küste entfernt.

Unmittelbar nördlich des Halvdanpiggen streicht über 2 km Länge ein 2 – 3 m breiter Gang aus, der neben Baryt, Quarz und Hämatit auch Kupferminerale wie Chalkosin, Bornit und Azurit führt.



Abb. 5-116: Gips- und Anhydritstein der Minkinfjellet-Formation im Billefjord, aus RAMBERG et al. (2008).

Sigurdffjell ist ein 4,5 km langer Rücken aus Pyroklastiten und einzelnen Alkalibasalten im quartären Bockfjord-Vulkanitkomplex in Nordostspitzbergen. Das dortige Mineralvorkommen tritt an der Südflanke eines Stratovulkans auf und umfasst Cu-impregnierte Gerölle mit geringen Gehalten an Chalkopyrit, Tennantit, Bornit, Chalkosin, Digenit und Covellin.

5.3.1.5 Uran

Das Uranpotenzial Spitzbergens wurde im Rahmen einer umfangreichen Prospektionskampagne im Sommer 1976 durch die ehemalige Urangesellschaft erkundet. Hierbei wurden nur im Triungen Berg-



Abb. 5-117: Anhydritknollen in Dolomitmatrix in den Klippen südlich Ebbadalen, Billefjord, aus HOLLIDAY (1966).

zug, auf der Westseite am Ende des Dicksonfjordes, deutlich erhöhte U-Gehalte gemessen. Es handelt sich um eine Tonstein-Kohlen-Wechselfolge des Kulm, in der einzelne, bis sechs Meter mächtige Schwarzschieferbänke Gehalte von durchschnittlich 100 – 350 ppm, maximal 850 ppm U aufweisen. Die geschätzten abbaubaren Erzvorräte betragen 30 Mio. t.

Die abbaubaren Kohlevorräte in den bis zu 4,7 m mächtigen Flözen im Triungen Bergzug werden auf 20 Mio. t Kokskohle geschätzt. Die Urangelhalte der Kohleaschen erreichen 2.000 ppm (HILGER & THOSTE 1976).

5.3.2 Industriemineralien

5.3.2.1 Asbest

Bei Asbestodden, am Eingang nach Chamberlindallen, treten in Gängen und Adern in metamorph überprägten Basalten und Aschen so große Mengen an Asbest auf, dass diese zwischen 1917 und 1919 versuchsweise abgebaut wurden. Eine genauere Untersuchung im Jahr 1919 ergab einen Gehalt von 4,97 kg reinen Asbest pro Kubikmeter Gabbro. Aufgrund der Verunreinigung mit anderen Mineralen,

v. a. Calcit, war die Unternehmung jedoch nicht profitabel (HJELLE 1993).

5.3.2.2 Gips/Anhydrit

Im Billejord-Sassenfjord-Distrikt im nördlichen Zentralspitzbergen lagern Gesteine der bis 800 m mächtigen permokarbonischen Gipsdalen-Gruppe. Diese besteht aus einer Abfolge von Areniten und Karbonaten, der unzählige, 1 mm bis 1 m große Gips- und Anhydritsteinknollen in wenige Zentimeter bis 50 m mächtigen Lagen eingeschaltet sind (s. Abb. 5-116 und 5-117). Gips- und Anhydritstein macht rund 2/3 der Gipsdalen-Abfolge aus (HOLLIDAY 1966).

Schon ab 1911/12 startete hier die Gewinnung von Gipsstein und zwar auf beiden Seiten des Billefjords bei Bjonahamna, Gipsvika und Anservika. Im Jahr 1918 begann auf der Westseite des Billefjords, bei Skansbukta, die kommerzielle Gewinnung von Gipsstein für eine Zementfabrik. Da der Gipsstein jedoch mit zunehmender Teufe sehr schnell in Anhydritstein übergeht, wurde der Abbau schon im folgenden Jahr wieder eingestellt, aber in den 1930er Jahren ebenso kurzfristig und für kurze Zeit wieder aufgenommen (HJELLE 1993).

5.3.2.3 Phosphat

Das 1 – 2 m mächtige Brentskardhaugen-Bett an der Jurabasis ist der an Phosphat reichste lithostratigraphische Horizont auf Svalbard. Er besteht hauptsächlich aus bis 10 cm großen Phosphoritknollen, aber auch Koprolithen, organischen Resten (Knochen, Gräten, Zähne) und Phosphoritkörnern (Kollophan) mit unterschiedlichen Anteilen an Kieselgesteinen und Quarzgeröllen in einer durch Karbonate (Dolomit, untergeordnet Calcit) zementierten sandigen Matrix (EL-KAMMAR & NYSÆTHER 1980).

Auf Heer Land in Ostspitzbergen wurde das Brentskardhaugen-Bett näher untersucht. Es ist dort als Konglomerat ausgebildet und besitzt dort durchschnittlich nur 10 bis 30 cm Mächtigkeit, kann aber auch bis 1,5 m Mächtigkeit anschwellen. Der Gehalt an Phosphorit beträgt 40 – 60 Vol.-%. Der Durchmesser der braunen bis bräunlich grauen, feinkörnigen und festen Phosphoritknollen variiert zwischen

3 und 7 cm. Der P_2O_5 -Gehalt liegt zwischen 4,3 und 15,5 % (PAVLOV & PANOV 1980).

Der Botneheia Member der mitteltriassischen Sassenfjord-Gruppe ist zwischen 90 und 110 m mächtig. Er besteht aus bituminösen und Kalkhaltigen Siltsteinen, siltreichen Tonsteinen sowie tonigen Sandsteinen. Das Phosphat befindet sich hauptsächlich in partienweise angereicherten Knollen von wenigen mm bis 5 cm Durchmesser. Selten treten auch bis 15 cm mächtige Lagen aus konkretionären Phosphoritknollen auf. In einem näher untersuchten Gebiet in Westzentralspitzbergen (Agardhfjellet) betragen die P_2O_5 -Gehalte 13,8 – 21,3 % in den Knollen, 14,7 – 21,3 % in den Lagen und 2,3 – 20,2 % im Nebengestein. Der durchschnittliche P_2O_5 -Gehalt liegt bei 9,35 % (MILOSLAVSKIJ et al. 1993).

Der Mangel an Dünger in den Jahren des 1. Weltkrieges veranlasste das norwegische Landwirtschaftsministerium eine Expedition nach Kapp Thorsen in NW-Spitzbergen zu entsenden, um die von dort im Botneheia Member ebenfalls auftretenden Phosphatanreicherungen näher zu untersuchen. Bald darauf wurden dort auch Bergwerke angelegt, aufgrund der geringen Vorratsgröße jedoch nur für kurze Zeit betrieben. Überreste der Bergbauaktivitäten sind noch heute sechs Kilometer nordwestlich von Kapp Thorsen und auch 5,5 m ostnordöstlich des Kaps an der Südseite des Saurieberget zu finden (HJELLE 1993).

5.3.2.4 Bentonit

Der tertiäre Vulkanismus auf Svalbard führte auch zur Ablagerung von Aschen, die heute im zentralen Spitzbergenbecken als dünne Bentonitlagen von bis maximal 50 cm Mächtigkeit in einem bis 350 m mächtigen Horizont aus dunklen Tonsteinen, untergeordnet Siltsteinen, vorliegen (Basilika-Formation). Illit/Smektit-Wechselagerungen machen rund 80 % der Bentonitlagen aus, die zudem 10 – 20 % Quarz und Feldspat sowie 2 % Gesteinsfragmente enthalten. Aufgrund der geringen Mächtigkeit der Bentonitlagen haben diese keine wirtschaftliche Bedeutung (DYPVIK & NAGY 1979).

	kleinere Vorkommen	bauwürdige Vorkommen	bedeutende Vorkommen	Vorkommen von Weltrang
Gold		?		
Eisen	x			
Blei/Zink	x			
Kupfer	x			
Uran	x			
Asbest	x			
Gips/Anhydrit	x			
Phosphat	x			
Bentonit	x			
Baryt	x			
Naturwerksteine	x			
Kohle			x	

Tab. 5-18: Zusammenfassende Bewertung des Rohstoffpotenzials Svalbards - soweit derzeit bekannt.

5.3.2.5 Baryt

Baryt ist Hauptbestandteil vieler Gänge auf der Westseite des Woodfjords auf Spitzbergen.

Auch auf der Bäreninsel sind zahlreiche Gänge mit Baryt, aber auch Calcit, Dolomit, Zinkblende, Fluorit, Chalkopyrit, Witherit und Strontianit, jedoch nur untergeordnet mit Quarz hydrothermal mineralisiert.

5.3.2.6 Naturwerksteine

Auf der Halbinsel Blomstrandhalvøya und der Insel Juttaholmen, nördlich des Kongsfjords, stehen



Abb. 5-118: Mineralvorkommen auf Island
 1 = Cu-Pb-Zn-Mo 2 = Schwermineraleisen
 3 = Phosphat (nur mineralogisch von Interesse)
 4 = aluminiumhaltiger Ton 5 = Perlit 6 = Bims
 7 = Schwefel, aus JANKOVIĆ (1984).

Bänke aus teils quarzreichem Marmor an, die zwischen 1910 und 1920, mit Unterbrechung durch den 1. Weltkrieg, versuchsweise im Abbau standen. Trotz hoher Investitionen in Gewinnungs- und Verarbeitungsbetriebe sowie Vertrieb unter klingvollen Handelsnamen wie Arctic Grand Antique oder Queens Bay war dem Marmor kein Erfolg beschieden, da er bei Verarbeitung und Einbau in wärmeren Klimaten teilweise zu Spannungsrissen neigt und die Firma schlichtweg pleite ging (SIGGERUD 1963). Die auch nördlich Blomstrandhalvøya und auf Mitrahallvøya anstehenden dicken, größtenteils stark tektonisch beanspruchten Marmorbänke wurden seitdem immer wieder näher untersucht, ohne dass jedoch erneut ein Abbau in Gang kam (HJELLE 1993).

5.3.3 Zusammenfassung und Bewertung

Svalbard wird dominiert durch mächtige terrestrische Sedimentabfolgen, denen an zahlreichen Stellen bauwürdige Kohlenflöze eingelagert sind. Im Gegensatz hierzu ist das Potenzial an metallischen und nichtmetallischen mineralischen Rohstoffen sehr gering. Hinweisen auf evtl. interessante Goldmineralisationen durfte aus Umweltschutzgründen bisher nicht nachgegangen werden.

Da Svalbard bereits jetzt geologisch relativ gut erforscht ist, ist auch bei einer weiteren Klimaerwär-

mung nicht mit dem Freiwerden bisher unbekannter und zudem bauwürdiger Mineralvorkommen zu rechnen. Einen Überblick über das spezifische Rohstoffpotenzial, wie es sich heute abzeichnet, gibt Tabelle 5-18.

5.4 Island

5.4.1 Metallische Rohstoffe

Auf Island sind nur wenige Areale mit Metallvererzungen bekannt, die alle eine geringe Größe besitzen und deshalb nicht wirtschaftlich gewinnbar sind (vgl. Abb. 5-118).

5.4.1.1 Kupfer, Blei, Zink und Molybdän

In der Reydara-Granophyrintrusion in Südost-Island kommen in vulkanischen Quarz-Calcit-Schlotbrekzien und auch in dünnen Quarzgängen Mineralisationen von Chalkopyrit, Bleiglanz und Zinkblende, teils auch Pyrit und Markasit sowie teils mit Mo-Gehalten zwischen 30 bis > 500 ppm vor. Die Erzmengen und -gehalte (0,5 – 1,0 % Cu) sind gering (JANKOVIČ 1972, 1984).

5.4.1.2 Aluminium

Am Onundarfjord ist den dortigen mächtigen Basaltschichten eine 0,5 bis 12 m mächtige Bank aus

aluminiumhaltigem Ton eingeschaltet, der sich in einer Pause vulkanischer Aktivität durch die Verwitterung älterer Basaltlagen entwickelte. Die Verbreitung dieser Bank kann über mehrere Kilometer verfolgt werden. Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung des Tones ist: 30 – 37 % Al_2O_3 , 40 – 45 % SiO_2 , 1,5 – 15 % Fe_2O_3 , 1 – 3 % TiO_2 und bis 1,5 % $\text{CaO}+\text{MgO}$ (JANKOVIČ 1984).

5.4.1.3 Eisen

Ostwärts der aluminiumhaltigen Tone am Onundarfjord gehen diese in sedimentäre Tone über, die einen 5 – 8 m mächtigen eisenreichen Ton beinhalten, aus dem sich wiederum ein bis maximal 1,5 m mächtiges Goethiterz entwickelt. Dieses enthält zwar Fe_2O_3 -Gehalte bis 57 %, jedoch auch bei einer Schmelze störende TiO_2 -Gehalte bis 1,4 %. Im Mittel enthält das Erz 39,8 % Fe, 13 % SiO_2 , 11,4 % Al_2O_3 , 0,47 % P, 0,22 % Mn, 0,06 % S und 0,83 % Ti (ZITZMANN 1976a)

In ähnlicher stratigrafischer Position wurden auch am Patreksfjord und Isafjord Eisenerze gefunden, die schon vor dem 2. Weltkrieg Gegenstand erster Untersuchungen waren (RICHTER 1958). Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung dieser Erze beträgt 58,64 % Fe_2O_3 , 0,70 % CaO, 0,55 % P_2O_5 , 9,86 % geb. H_2O sowie 15,66 % Rückstand (unveröff. Analysen BGR-Archiv). ZITZMANN (1976a) nennt eine chemische Zusammensetzung



Abb. 5-119: Die Diatomitfabrik bei Reykjahlíð am Myvatn, Foto: WIKIPEDIA

von 36 – 44 % Fe, 12 – 18 % SiO₂, 0,1 – 0,3 % P und 0,2 – 0,5 % CaO.

5.4.1.4 Schwerminerale

Nichtbauwürdige Seifenlagerstätten, teils litoral, teils glazifluviatiler Genese, sind auf Island sehr häufig. Besonders an der Südküste Islands, um Vik, finden sich Vorkommen größerer Tonnage. Die mineralogische und chemische Zusammensetzung aller Vorkommen ist relativ homogen und wird von vulkanischem Glas (42 – 75 %), sowie Pyroxenen dominiert. Der Gesamt-TiO₂-Gehalt des Sandes, der nicht an die klassischen Ti-Schwerminerale gebunden ist, schwankt zwischen 2 und 3 %, in Mýrdalssandur liegt er zwischen 3,90 und 4,84 %, bei Thykkvibaer (560 Mio. m³ Sand) bei ca. 2,2 % (14 % Fe₂O₃) (BOSSE 1978).

5.4.2 Industriemineralien

5.4.2.1 Diatomit

Zwischen 1967 und 2004 produzierte Island Diatomit, der vom Grund des Myvatn (Mückensee) im Norden der Insel gefördert und in einer nahen Anlage bei Reykjaflíð mittels Dampf aus dem benachbarten Geothermalgebiet Námaskarð getrocknet wurde. Die geförderte Kieselgur war sehr hochwertig; ab 1968 wurde Diatomit für Filterzwecke hergestellt. Hauptkunde dieses Diatomits war bis zur Schließung der Fabrik Deutschland. Der Abbau wurde vor wenigen Jahren eingestellt, teils weil die Diatomitvorräte zu Neige gingen, teils weil die Nassbaggerarbeiten den Fischbestand zunehmend beeinträchtigten. Insgesamt wurden rund 850.000 t Diatomit hergestellt.

Bei Nes im Adaldalur befindet sich ein weiteres Diatomitvorkommen mit abgebohrten Vorräten von 3,6 Mio. m³ Rohgur, von den ca. 1,8 – 2,0 Mio. m³ bauwürdig sind (RICHTER 1958).

Kleinere Kieselgurvorkommen existieren zudem an vielen Stellen Islands, so am Südende des Thingvallavatn, bei Natthagamyri unweit Reykjavik (beide geringe Vorräte), und weitab jeglicher Infrastruktur



Abb. 5-120: Blick auf den Prestahnúkur von der Kaldidalurpiste aus, Foto: JOHANN DRÉO/WIKIPEDIA.

bei Tvidaegra, nordwestlich vom Langjökull (RICHTER 1958).

5.4.2.2 Perlit

Auf Island sind zwei große Vorkommen von Perlit bekannt. Das größte, mit Rhyolithen verknüpfte Perlitvorkommen am Prestahnúkur liegt im Inneren des Landes an der Westseite des großen Langjökull-Gletscherschildes, 100 km nordöstlich von Reykjavik bzw. 60 km vom nächsten Hafen entfernt. Die einzelnen Teilbereiche des Perlitvorkommens erstrecken sich am Fuß des Prestahnúkur von 620 m ü. NN bis zum Gipfel in 1.220 m ü. NN. Von diesen Teilbereichen sind drei bauwürdig. Sie enthalten Perlit, der bei 1.220 °C schmilzt und bei 1.170 °C seine optimale Blähfähigkeit (25 – 30-fach) besitzt. Hauptsächlich treten zwei Perlitvarietäten auf: hochwertiger, dichter, glasiger Perlit und leichter Perlit mit Bimsstruktur. Der Anteil an nicht blähbarem Obsidian im Rohperlit wechselt von 5 bis 50 %. (BOSSE 1978).

Konservative Berechnungen der geologischen Vorräte belaufen sich auf ca. 48 Mio. t Rohperlit, von denen mindestens 2 – 3 Mio. t bauwürdig sind. Zusätzliche große Mengen gewinnbaren Rohperlits lagern in angrenzenden, für sich allein nicht bauwürdigen Satellitenvorkommen. Aufgrund der Abgeschlossenheit des Vorkommens, des ungünstigen Klimas, der Investitionskosten sowie der relativ hohen Beimischungen von Obsidian wurde das ansonsten qualitativ hochwertige und quantitativ interessante Vorkommen bisher nicht abgebaut.

Für den Abbau noch etwas günstiger liegt das Perlitvorkommen am Lodmundarfjord im Nordosten

des Landes. In der dortigen Hügellandschaft sind zahlreiche Hügel und auch ein gangartiger Zug von 50 – 60 m Breite aus Perlit aufgebaut. Im Osten und Westen wird der Perlit im Gangzug qualitativ ungünstiger, was durch Solifluktion in den Außenbereichen hervorgerufen worden sein dürfte. Insgesamt liegen ca. 1,8 Mio. t leicht gewinnbaren Rohperlits mit 10 – 15-facher Blähfähigkeit vor, der vom nur 3 km entfernt liegenden Fjord aus verschiffbar wäre (RICHTER 1960).

5.4.2.3 Schwefel

Vorkommen von natürlichem Schwefel sind von verschiedenen Stellen auf Island bekannt und stehen in Zusammenhang mit den Aktivitäten der rezenten Fumarolen und Solfatoren. Das größte Vorkommen liegt bei Námaskarð in Nordost-Island als 20 bis 50 cm mächtige Kruste vor und erstreckt sich über rund 60.000 m² Fläche. Unterhalb der Kruste finden sich die hydrothermalen Alterationsprodukte des unterlagernden Basalts. Zusätzlich zum reinen Schwefel lagern daher im Gebiet um Námaskarð auch große Mengen mit Verwitterungstonen verunreinigten Schwefels (JANKOVIČ 1984).

5.4.3 Naturwerksteine

Island besitzt mehrere große Vorkommen potenziell interessanter Naturwerksteine. Es sind dies in West-Island:

- hellblaue, grobkristalline Anorthosite auf der Insel Hrappsey am Breidafjord,
- weißer Liparit vom Drapuhlidarfjall bzw. in Südost-Island,
- roter, rosa, bläulicher, braun-gelblicher Liparit von Raudaskrida am Alftafjord,
- blaugrüner Tuff vom Berufjord.
- hellgrüner Tuff von Hofsdalur am Alftafjord

Näheres ist leider nicht bekannt.

5.4.4 Zusammenfassung und Bewertung

Die Geologie Islands wird dominiert durch mächtige Abfolgen vulkanischer Gesteine, die häufig als Rohstoffe für die lokale Steine-und-Erden-Industrie geeignet sind, aber sonst keine weiteren interessanten Mineralisationen beinhalten. Bauwürdige Metallvorkommen sind daher auf Island nicht vorhanden und auch nicht zu erwarten. Von den anderen nicht-energetischen Mineralvorkommen besitzen nur Diatomit (größtenteils abgebaut) und Perlit zumindest theoretisch größere wirtschaftliche Bedeutung. Durch das quasi unbegrenzte hydroelektrische und geothermische Potenzial bietet sich Island zudem als Standort für besonders energieintensive Verarbeitungsindustrien an.

Einen Überblick über das spezifische Rohstoffpotenzial Islands gibt Tabelle 5-19:

	kleinere Vorkommen	bauwürdige Vorkommen	bedeutende Vorkommen	Vorkommen von Weltrang
Kupfer-Blei-Zink	x			
Aluminium	x			
Eisen	x			
Schwerminerale	x			
Diatomit		x		
Perlit		x		
Naturwerksteine		?		
Schwefel	x			

Tab. 5-19: Zusammenfassende Bewertung des Rohstoffpotenzials Islands (1978).

6 LITERATUR

- ABZALOV, M. Z., BOTH, R. A. & BREWER, T. S. (1995): Geochemistry and sulphur isotope characteristics of the sulphidic black shales from the Pechenga Group, Kola Peninsula, Russia: Implications for genesis of the sulphide mineralisation. – In: ROBERTS, D. & NORDGULEN, Ø. (eds.): *Geology of the eastern Finnmark – western Kola Peninsula region.* – Proc. 1st Int. Barents Symposium „Geology and minerals in the Barents region“, Kirkenes, Norway, Oct. 1993, *Nor. Geol. Unders. Special Publ.*, 7: 357 – 369, 17 Abb., 3 Tab.; Trondheim.
- ADAMEK, P. M. (1975): *Geology and mineralogy of the Kopparåsen uraninite-sulphide mineralization, Norbotten County, Sweden.* – SGU, Ser. C, 712: 69 S., 43 Abb., 7 Tab., 4 Karten; Stockholm.
- AKHMEDOV, A. M. & CHEKUSHIN, V. A. (1978): Copper content of Precambrian volcanogenic-sedimentary formations on the Kola peninsula. – *Inter. Geol. Rev.*, 20, 5: 593 – 600, 2 Abb., 1 Tab.; Falls Church, VA.
- ALAPIETI, T. T. (2005): Early Paleoproterozoic (2.5-2.4 Ga) Tornio-Näränkävaara layered intrusion belt and related chrome and platinum-group element mineralization, northern Finland. – In: ALAPIETI, T. T. & KÄRKI, A. J. (eds.): *Early Paleoproterozoic (2.5-2.4 Ga) Tornio-Näränkävaara layered intrusion belt and related chrome and platinum-group element mineralization, northern Finland.* – Guidebook prepared for the 10th Platinum Symposium in Oulo Finland 2005, *Geol. Surv. Finl., Guide*, 51a: 5 – 11, 1 Abb.; Espoo.
- ANONYM (ca. 1940): *Die Lagerstätten Schwedens und Norwegens.* – Reichsstelle für Bodenforschung, BGR-Archiv-Nr: 0062386: zahlr. S., 1 Karte; Berlin (unveröff.).
- ANONYM (ca. 1943): *Lagerstätten-Kartei der Halbinsel Kola.* – Reichsamt für Bodenforschung, BGR-Archiv-Nr: 2026386: 90 S., zahlr. Abb.; Berlin (unveröff.).
- ANONYM (1975): *Some Norwegian producers.* – *Industrial Minerals*, 88 (January 1975): 42 – 49; London.
- ANONYM (2002): *Arctic pollution 2002: Persistent Organic Pollutants, Heavy Metals, Radioactivity, Human Health, Changing Pathways.* – Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP): xii + 112 S.; zahlr. Abb. und Tab.; Oslo.
- ANONYM (2007): *World platinum mine supply.* – Strategic Report, 20, 3: 1 – 14, 3 Abb., 3 Tab.; Halifax.
- ANONYM (2009): *Norilsk-Nickel backs out from eco-deal.* – BarentsObserver.com, 2009-12-08: 1 Abb.; Kirkenes.
- ARMANDS, G. (1967): *Geochemical prospecting of an uraniferous bog deposit at Masugnsbyn, northern Sweden.* – In: KVALHEIM, A. (ed.): *Geochemical prospecting in Fennoscandia: 127 – 154, 13 Abb., 10 Tab.*; New York, London, Sydney (Wiley & Sons).
- BERGMAN, S. (2007): *Apatite iron ore and old Cu-mines at Gruvberget.* – In: OJALA V. J., WEIHED P., EILU P. & ILJINA, M. (eds.): *Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Field trip guidebook.* *Geol. Surv. Finl., Guide*, 54: S. 77; Espoo.
- BERGMAN, S., WEIHED, P., MARTINSSON, O., EILU, P. & ILJINA, M. (2007): *Geological and tectonic evolution of the northern part of the Fennoscandian Shield.* – In: OJALA V. J., WEIHED P., EILU P. & ILJINA, M. (eds.): *Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Field trip guidebook.* *Geol. Surv. Finl., Guide*, 54: 6 – 15, 1 Abb.; Espoo.
- BINNS, R.-E. (1978): *Caledonian nappe correlation and orogenic history in Scandinavia north of lat 67°N.* – *GSA Bull.*, 89, 10: 1475 – 1490, 3 Abb., 1 Tab.; Boulder, CO.
- BOSSE, H.-R. (1978): *Rohstoffvorkommen der Industriemineralien, Steine und Erden in Island. Dienstreise nach Island vom 23.8. – 5.9.1978 zur Begutachtung des Projektes „Nutzungsmöglichkeiten isländischer Bims- und Basaltvorkommen“.* – BGR, Vermerk, Archiv-Nr.: 0081599: 14 S., 1 Anl.; Hannover (unveröffentlicht).

- BOYD, R. & NIXON, F. (1985): Norwegian nickel deposits: a review. – In: Papunen, H. & Gorbunov, G. I. (eds.): Nickel-copper deposits of the Baltic Shield and Scandinavian Caledonides, *Geol. Surv. Finl., Bull.*, 333: 363 – 394, 12 Abb., 3 Tab.; Espoo.
- BRITVIN, S. N., IVANJUK, G. J., JAKOVENCHUK, V. N. & WILKE, H.-J. (1996): Seltene Mineralien aus Alkaligesteinen: Das Chibiny-Massiv auf der russischen Kola-Halbinsel. – *Lapis*, 21, 4: 13 – 30, 54 Abb., 1 Tab.; München.
- BUGGE, J. A. W. (1978): Norway.– In: BOWIE, S. H. U., KVALHEIM, A. & HASLAN, H. W. (eds.): Mineral deposits of Europe, Vol. 1: Northwest Europe. – *Inst. Min. Metall. & Min. Soc.*: 199 – 249, 20 Abb., 9 Tab.; London.
- BUSCH, K. (1977): Rohstoffe zur Stahlveredelung in Finnland, Norwegen, Schweden. – *BGR, Rohstoffwirtschaftliche Länderberichte*, XI: 113 S., 9 Abb., 52 Tab., 2 Anl.; Hannover.
- DALHEIMER, M., KRUSZONA, M. & SCHMIDT, H. (1988): UdSSR. Kola-Halbinsel. – *BGR, Rohstoffwirtschaftliche Länderberichte*, XXXII: 62 S., 27 Abb., 8 Tab., 3 Anl.; Hannover.
- DUDKIN, O. B. & TYAPINA, V. N. (1997): Apatite-nepheline deposit of Mt. 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?– 4th Biennial SGA Meeting, Aug. 11 – 13, 1997, Turku, Finland, excursion guidebook B4, *Geologian tutkimuskeskus, Opas – Geol. Surv. Finl., Guide* 45: 41 – 45, 3 Abb., 1 Tab.; Rovaniemi.
- DYPVIK, H. & NAGY, J. (1979): Early Tertiary bentonites from Svalbard. – *Geol. Mag.*, 116, 6: 457 – 468, 6 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Cambridge.
- EILU, P. (2007): Fingold: Brief descriptions of all drilling-indicated gold occurrences in Finland – the 2007 data. – *Geol. Surv. Finl., Rep. Invest.*, 166: 35 S., 1 Abb., 2 Tab., 1 Anl.; Espoo.
- EILU, P., HALLBERG, A., BERGMAN, T., FEOKTISTOV, V., KORSKOVA, M., KRASOTKIN, S., KUOSMANEN, E., LAMPIO, 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. – *Geol. Surv. Finland, Geol. Surv. Norway, Geol. Surv. Sweden, Fed. Agency Use Min. Res. Min. Nat. Res. Russian Fed.*
- EL-KAMMAR, A. M. & NYSÆTHER, E. (1980): Petrography and mineralogy of phosphatic sediments, Svalbard. – In: Geological and geophysical research in Svalbard and on Jan Mayen.– *Norsk Polarinstittutt, Skrifter*, 172: 169 – 181, 7 Abb., 1 Tab.; Oslo.
- FOSTER, J. G. (2003): The Pechenga Ore Deposits: Russia. – In: *New Frontiers in Research on Magmatic NiS-PGE Mineralisation*. – Centre for Global Metallogeny, University of Western Australia: 129 – 163, 1 Abb.; Perth.
- FRIETSCH, R. (1976): The iron ore deposits in Sweden.– In: ZITZMANN, A. (ed., 1977, 1978): The iron ore deposits in Europe and adjacent areas. – Explanatory notes to the International Map of Iron Ore Deposits in Europe 1:2,500,000 in two volumes; I: 279 – 293, 6 Abb., 1 Tab., II: 168 – 196; Hannover.
- FRIETSCH, R. (1980): Metallogeny of the copper deposits in Sweden.– In: JANKOVIĆ, S. & SILLITOE, R. H. (ed.): European copper deposits. – *Proc. Int. Symp., Bor, Yugoslavia*, 18 – 22 Sept. 1979: 166 – 179, 3 Abb.; Belgrad.
- GAUTNEB, H. (2008): Graphite at Skaland, Senja.– In: Ramberg, I. N., Bryhni, I., Nottvedt, A. & Rangnes, K. (eds.): The Making of a Land – Geology of Norway: S. 88, 2 Abb.; Trondheim.
- GEIJER, P. (1960): The Kiruna iron ores.– In: GRIP, E., QUENSEL, P., GEIJER, P. & LJUNGGREN, S. (1960): Sulphide and iron ores of Västerbotten and Lapland, northern Sweden. – *Int. Geol. Congress, XXI Session, Guide to excursions nos A27 and C22*: 24 – 38, 3 Abb.; Oslo.

- GERASIMOVSKY, V. I., VOLKOV, V. P., KOGARKO, L. N. & POLYAKOV, A. I. (1974): Kola Peninsula. – In: SØRENSEN, H. (ed.): *The Alkaline Rocks*: 206 – 221, 5 Abb., 3 Tab.; London, New York, Sydney, Toronto (Wiley).
- GERVILLA, F., KOJONEN, K. & MERKLE, R. K. W. (2005): Platinum-group minerals in the Proterozoic Keivitsa mafic-ultramafic intrusion, Sodankylä, northern Finland. – In: 10th International Platinum Symposium: ‘Platinum-group elements – from genesis to beneficiation and environmental impact’, August 8 – 11, 2005, Oulu, Finland: extended abstracts. *Geol. Surv. Finl.*: 345 – 348, 5 Abb.; Espoo.
- GIERTH, E. (1979): *Der Bergbau Norwegens. – Glückauf*, 115, 13: 649 – 654, 4 Abb., 5 Tab.; Essen.
- GORBUNOV, G. I., YAKOVLEV, V. N., GONCHAROV, Y. V., GORELOV, V. A. & TEL’NOV, V. A. (1985): The nickel areas of the Kola Peninsula. – In: PAPONEN, H. & GORBUNOV, G. I. (eds.): *Nickel-copper deposits of the Baltic Shield and Scandinavian Caledonides*, *Geol. Surv. Finl., Bull.*, 333: 41 – 109, 32 Abb., 10 Tab.; Espoo.
- GORYAINOV, P. M. & IVANYUK, G. Y. (1998): On genesis of banded iron-formation of the Kola Peninsula (Russia) – synergetic aspects. – *Theophrastus’ Contributions*, II: 249 – 267, 10 Abb., 1 Tab.; Athens.
- GORYAINOV, P. M., IVANYUK, G. I. & GOLIKOV, N. N. (1997): Banded iron formations. – 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?* 4th Biennial SGA Meeting, Aug. 11 – 13, 1997, Turku, Finland, excursion guidebook B4, *Geologian tutkimuskeskus, Opas – Geol. Surv. Finl., Guide 45*: 21 – 24, 5 Abb.; Rovaniemi.
- GRIP, E. (1978): Sweden. – In: BOWIE, S. H. U., KVALHEIM, A. & HASLAN, H. W. (eds.): *Mineral deposits of Europe*, Vol. 1: Northwest Europe. – *Inst. Min. Metall. & Min. Soc.*: 93 – 198, 35 Abb., 15 Tab.; London.
- GRIP, E. (1989): Proterozoic-Cambrian phosphate resources in Sweden. – In: NOTHOLT, A. J. G., SHELDON, R. P. & DAVIDSON, D. F. (eds.): *Phosphate deposits of the world*. Vol. 2: *Phosphate rock resources*: 387 – 393, 5 Abb., 3 Tab.; Cambridge.
- GUNDLACH, K. (1941): Kola-Halbinsel und Karelien. – *Reichsamt für Bodenforschung*: 23 S., 2 Anl.; Berlin (unveröffentlicht).
- GUNDLACH, K. (1942): *Neuere Lagerstätten-Untersuchungen auf der Kola-Halbinsel. – Z. prakt. Geol.*, 7: 4 S.; Halle.
- HAGEN, R. (1982): The Bidjovagge copper-gold deposits of western Finnmark, Norway. – *Geol. Rd.*, 71, 1: 94 – 103, 8 Abb.; Stuttgart.
- HARLAND, W. B. (1997): Svalbard. – In: Harland, W. B. (ed.): *The Geology of Svalbard. – Geol. Soc. London, Memoir*, 17: 3 – 15, 11 Abb., 1 Tab.; Oxford.
- HELDAL, T. & LUND, B. (2000): *Fabrics and structure of metamorphic flagstones and implications for industrial quality. – Norges geol. under., Bull.*, 436: 137 – 146, 14 Abb.; Trondheim.
- HILGER, W. & THOSTE, V. (1976): *Reisebericht Spitzbergen. – Urangesellschaft GmbH & Co.*: 89 S., zahlr. Abb. und Tab.; Frankfurt (unveröffentlicht).
- HJELLE, A. (1993): *Geology of Svalbard. – Norsk Polarinstitut, Polarhandbok*, 7: 162 pp., 77 Abb., 1 Karte; Oslo.
- HJELLE, A., LAURITZEN, Ø., SALVIGSEN, O. & WINSNES, T.S. (1986): *Van Mijenfjorden. Geological Map of Svalbard 1:100.000 – B10G. – Norsk Polarinstitut, Temarkart*, 2: 37 pp., 5 Abb., 2 Tab., 1 Karte; Oslo.
- HOLLIDAY, D. W. (1966): *Nodular gypsum and anhydrite rocks in the Billefjorden region, Spitsbergen. – Norsk Polarinstitut, Årbook 1965*: 65 – 73, 4 Abb.; Oslo.
- HOLTEDAHL, O., FOYN, S., REITAN, P. H. & BUGGE, J. A. W. (1960): *Aspects of the geology of northern Norway. – Int. Geol. Congress, XXI Session, Guide to excursion no A3*: 66 S., 13 Abb., 3 Taf.; Oslo.

- 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.
- INFOMINE RESEARCH GROUP (2006): Zircon in the CIS. – *Industrial Minerals*, 463 (April 2006): S. 101, 1 Abb.; London.
- ISOKANGAS, P. (1978): Finland.- In: BOWIE, S. H. U., KVALHEIM, A. & HASLAN, H. W. (eds.): Mineral deposits of Europe, Vol. 1: Northwest Europe. – *Inst. Min. Metall. & Min. Soc.*: 39 – 92, 18 Abb., 10 Tab.; London.
- IVANJUK, G. J., JAKOVENCHUK, V. N., BRITVIN, S. N. & WILKE, H.-J. (1997): Seltene Mineralien aus Alkaligesteinen (II). Das Lovozero-Massiv auf der russischen Kola-Halbinsel. – *Lapis*, 22, 4: 13 – 29, 50 Abb., 1 Tab.; München.
- JAKOBSSON, S. P. (1979): Outline of the petrology of Iceland. – *Jökull*, 29: 57 – 73, 14 Abb., 3 Tab.; Reykjavik.
- JANKOVIČ, S. (1972): The origin of base-metal mineralization on the mid-Atlantic ridge (based upon the pattern of Iceland). – In: Gill, J.E. (ed.): Proceedings of the 24th session of the Int. Geol. Cong., Sect. IV: Mineral Deposits: 326 – 334, 3 Abb., 2 Tab.; Montreal.
- JANKOVIČ, S. (1984): The mineral occurrences in Iceland. – In: UNESCO: Explanatory memoir of the metallogenic map of Europe and neighbouring countries 1:2 500 000: 2 – 3, 2 Abb.; Paris.
- JUNG, W. & ERLER, K. (1984): Bericht über eine Auslandsdienstreise nach Apatity, Halbinsel Kola, UdSSR vom 15. – 20.10.1984. – Bericht des IfR Dresden für das Ministerium für Geol., BGR-Archiv-Nr.: 2024842: 24 S.; Dresden (unveröffentlicht).
- KARLSEN, T. A., RIAN, E. & OLESEN, O. (2000): Overview of talc resources and reserves in the Altermark talc province, northern Norway and possible uses of the talc ore. – *Norges geologiske undersøkelse, Bull.*, 436: 93 – 102, 10 Abb., 2 Tab.; Trondheim.
- KIJKOWSKA, R. (1983): Recovering rare earth elements from Kola apatite and Moroccan phosphate rock. – *Phosphorus & Potassium*, 127: 24 – 26, 3 Abb., 6 Tab.; London.
- KOGARKO, L. N. & KHAPAEV, V. V. (1987): The modelling of formation of apatite deposits of the Khibiny Massif (Kola Peninsula). – In: Parsons, I. (ed.): Origins of igneous layering.– NATO ASI Series C, 196: 589 – 611, 14 Abb., 2 Tab., Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo.
- KOJONEN, K., VÄLIMAA, J., PARKKINEN, J. & GERVILLA, F. (2004): Platinum-group element mineralization pipes of the Early Proterozoic Keivitsa mafic-ultramafic intrusion, northern Finland. – Presentation 32nd IGC, Florence, Italy, Aug. 20 – 28, 2004: 70 S., zahlr. Abb. und Tab.; Florenz.
- KOLBE, H. (1941): Glimmerbergbau in Karelien und auf der Halbinsel Kola. – Stellungnahme des Reichsamtes für Bodenforschung vom 18.11.1941: 2 S., 2 Anl., 1 Karte; Berlin (unveröffentlicht).
- KORKALO, T. (2006): Gold and copper deposits in Central Lapland, northern Finland, with special reference to their exploration and exploitation. – *Acta Universitatis Oulouensis, A Scientiae Rerum Naturalium*, 461: 122 S., 26 Abb., 9 Tab.; Oulo.
- KRASNOVA, N. (2001): The Kovdor phlogopite deposit, Kola Peninsula, Russia. – *Can. Min.*, 39: 33 – 44, 8 Abb., 4 Tab.; Montreal.
- KRUSE, A. (1979): Geology and ore deposits of the area around Mo i Rana.– In: JUVE, G. & REINBAKKEN, A. (eds.): Guide book for pre-symposium excursion to Caledonian ore deposits in Norway and Sweden 2nd – 9th September 1979. – Caledonian-Appalachian stratabound sulphides, Symp. (10 – 12th Sept.) Trondheim, Norway: 26 – 43, 5 Abb.; Trondheim.
- LAITAKARI, A. (1942): Hauptzüge der Erzforschung in Finnland und ihre Ergebnisse. – *Finnlandheft der Geol. Rundschau*, 32, 4/5: 435 – 451, 2 Abb.; Hannover.

- LESCH, L. (1978): Studie zum Stand und zur Perspektive der Nutzung von Seltenerelementen unter spezieller Berücksichtigung der Kola-Apatite. – Studie des IfR Dresden für das Ministerium für Geologie, BGR-Archiv-Nr.: 2018956: 49 S., 6 Abb., 9 Tab.; Dresden (unveröffentlicht).
- LINDAHL, I. & NILSSON, L. P. (2008): Geology of the soapstone deposits of the Linnajarvi area, Hamarøy, Nordland, north Norwegian Caledonides – Norway's largest reserves of soapstone. – In: Slagstad, T. (ed.): Geology for Society, Geological Survey of Norway Special Publication, 11, pp. 19 – 35.
- LINTINEN, P. & AL-ANI, T. (2005): The Vittanjänkä kaolin deposit, Salla, Finnish Lapland. – In: AUTIO, S. (ed.): Current Research 2003 – 2004. – Geol. Surv. Finl., Spec. Pap., 38: 41 – 47, 5 Abb., 1 Tab.; Espoo.
- LJUNGGREN, S. (1960): Geology of the Gällivare iron ore field. – In: GRIP, E., QUENSEL, P., GEIJER, P. & LJUNGGREN, S. (1960): Sulphide and iron ores of Västerbotten and Lappland, northern Sweden. – Int. Geol. Congress, XXI Session, Guide to excursions nos A27 and C22: 39 – 45, 1 Abb.; Oslo.
- LKAB (2009): Annual Report and Sustainability Report 2008: 172 S., zahlr. Abb. und Tab.; Luleå.
- MARTINSSON, O. & BERGMAN, S. (2007): Regional geology of Norrbotten, Sweden, Skarn iron ores and the Kirunavaara apatite Fe-deposit. – In: OJALA V. J., WEIHED P., EILU P. & ILJINA, M. (eds.): Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Field trip guidebook. Geol. Surv. Finl., Guide, 54: 71 – 76, 4 Abb.; Espoo.
- MARTINSSON, O., WEIHED, P. & EILU, P. (2007): Stratiform-stratabound sulphide deposits. – In: METALLOGENY AND TECTONIC EVOLUTION OF THE NORTHERN FENNOSCANDIAN SHIELD: field trip guidebook, Geol. Surv. Finl., Guide, 54: 18 – 19; Espoo.
- MELEZHIK, V. A., ROBERTS, D., FALIOCK, A. E., GOROKHOV, I. M. & KUSNETZOV, A. B. (2005): Geochemical preservation potential of high-grade calcite marble versus dolomite marble: implication for isotope chemostratigraphy. – Chem. Geol., **216**, 3/4: 203 – 224, 13 Abb., 2 Tab.; Amsterdam.
- MILOSLAVSKIJ, M. J., DALLMANN, W. K., DYPVIK, H., KRASIL'SČIKOV, A. A., BIRKELAND, Ø. & SALVIGSEN, O. (1993): Agardhfjellet. Geological Map of Svalbard 1:100.000 – D9G. – Norsk Polarinstitut, Temarkart, 21: 41 S., 15 Abb., 3 Tab., 1 Karte; Oslo.
- MITCHELL, R. H. & CHAKHMOURADIAN, A. R. (1996): Compositional variation of loparite from the Lovozero alkaline complex, Russia. – Can. Min., 34: 977 – 990, 7 Abb., 5 Tab.; Montreal.
- MITROFANOV, F. P. (ED.), POZHILENKO, V. I., SMOLKIN, V. F., ARZAMASTSEV, A. A., YEVZEROV, V. Y., LYUBTSOV, V. V., SHIPLEV, E. V., NIKOLAYEVA, S. B. & FEDOTOV, Z. A. (1995): Geology of the Kola Peninsula (Baltic shield). – Russian Acad. Sciences: 145 pp., num fig. and tab.; Apatity.
- MUTANEN, T. (1997): Geology and petrology of the Akanvaara and Koitelainen mafic layered intrusions and the Keivitsa-Satovaara layered complex, northern Finland. – Geol. Surv. Finl., Bull., 35: 233 S., 88 Abb., 11 Tab., 5 Karten; Espoo.
- NEGRUTSA, V. Z., BASALAEV, A. A. & CHIRIKEV, I. V. (1995): Phosphorites of the Upper Proterozoic sediments of the Sredni, Rybachi und Varanger Peninsulas. – In: ROBERTS, D. & NORDGULEN, Ø. (eds.): Geology of the eastern Finnmark – western Kola Peninsula region. – Proc. 1st Int. Barents Symposium „Geology and minerals in the Barents region“, Kirkenes, Norway, Oct. 1993, Nor. geol. unders. Special Publ., 7: 297 – 305, 14 Abb., 3 Tab.; Trondheim.
- NEYNABER, K. (1960): Bericht über die Untersuchung der Torfvorkommen in Island. – Bundesanstalt für Bodenforschung, Archiv-Nr.: 0023728: 14 S., 2 Anl.; Hannover (unveröffentlicht).

- NIIRANEN, T. & EILU, P. (2007): The Pahtavaara gold mine and Kevitsa Ni-PGE deposits. Stop 2 Hannukainen, Kolari. – In: OJALA V. J., WEIHED P., EILU P. & ILJINA, M. (eds.): Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Field trip guidebook. Geol. Surv. Finl., Guide, 54: 64 – 69, 5 Abb., 1 Tab.; Espoo.
- NORDIN, R., WANHAINEN, C. & AALTONEN, R. (2007): Aitik Cu-Au-Ag Mine. – In: OJALA V. J., WEIHED P., EILU P. & ILJINA, M. (eds.): Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Field trip guidebook. Geol. Surv. Finl., Guide, 54: 78 – 84, 5 Abb.; Espoo.
- NUUTILAINEN, J. & PAAKKOLA, J. (1976): The iron ore deposits in Finland. – In: ZITZMANN, A. (ed., 1977, 1978): The iron ore deposits in Europe and adjacent areas. – Explanatory notes to the International Map of Iron Ore Deposits in Europe 1:2,500,000 in two volumes; I: 135 – 142, II: 49 – 53; Hannover.
- OFTEN, M. (2008): Gold in Finnmark – fever, myths and reality. – In: RAMBERG, I. N., BRYHNI, I., NØTTVEDT, A. & RANGNES, K. (eds.): The Making of a Land – Geology of Norway: S. 80, 3 Abb.; Trondheim.
- OJALA, V. J., PATISON, N. & EILU, P. (2007): The Pahtavaara gold mine and Kevitsa Ni-PGE deposits. Stop 1 Pahtavaara Au mine. – In: OJALA V. J., WEIHED P., EILU P. & ILJINA, M. (eds.): Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Field trip guidebook. Geol. Surv. Finl., Guide, 54: 45 – 47, 2 Abb.; Espoo.
- OLEERUD, S. (1995): Norway's industrial minerals. – Industrial Minerals, 339 (December 1995): 23 – 31, 2 Abb., 3 Tab.; London.
- PARÁK, T. (1973): Rare earths in the apatite iron ores of Lapland together with some data about the Sr, Th and U content of these ores. – Economic Geology, 68: 210 – 221, 8 Abb., 6 Tab.; New Haven, CT.
- PARCHMANN, J. (1991a): Die Apatit-Nephelin-Erze des Chibiny-Alkaligesteinsmassivs der Kola-Halbinsel. – BGR, Archiv-Nr.: 2024212: 43 S., 4 Abb., 3 Tab.; Berlin (unveröffentlicht).
- PARCHMANN, J. (1991b): Die Erze des Alkali-Ultrabazitmassivs Kovdor auf der Kola-Halbinsel. – BGR, Archiv-Nr.: 2024213: 24 S., 6 Abb., 8 Tab.; Berlin (unveröffentlicht).
- PAVLOV, A. V. & PANOV, A. I. (1980): Geologie und Kohleführung des Herr Landes auf Spitzbergen (in russ.). – In: SEMEVSKIJ, D. V. (Hrsg.): Geologija osadočnogo čechla archipelago Sval'bard. – Sbornik naučnych trudov: 81 – 94, 2 Abb., 1 Tab.; Leningrad.
- PRAST, W. G. (1972): Scope for expanded use of Iceland's resources. – Mining Magazine, 127, 5: 465 – 468, 3 Abb.; London.
- PRIESEMAN, F.-D. & KRAUSE, H. (1985): The Selvåg Deposit: A Proterozoic Magmatic Fe-Ti-V Occurrence on Vesterålen; Northern Norway. – Nor. geol. unders. Bull., 402: 51 – 64, 13 Abb., 3 Tab., 2 Taf.; Oslo, Bergen, Stavanger, Tromsø.
- RAMBERG, I. B., BRYHNI, I., NØTTVEDT, A. & RANGNES, K. (eds.) (2008): The Making of a Land – Geology of Norway. Norsk Geologisk Forening, 619 p.; Trondheim
- RICHTER, K. (1958): Zwischenbericht über technische Hilfeleistungen für Island bezüglich isländischer Lagerstätten und deren Nutzungsmöglichkeiten. – Amt für Bodenforschung, Bericht, Archiv-Nr.: **0023724**: 26 S.; Hannover (unveröffentlicht).
- Richter, K. (1960): Über Perlite mit besonderer Berücksichtigung isländischer Vorkommen. – ZDGG, 112: 197 – 207, 9 Abb.; Hannover.
- ROBINS, B. (1985): Disseminated Fe-Ti-Oxides in the Seiland Magmatic Province of Northern Norway. – Nor. geol. unders. Bull., 402: 79 – 91, 7 Abb.; Oslo, Bergen, Stavanger, Tromsø.
- SALTIKOFF, B., PUUSTINEN, K. & TONTII, M. (2006): Metallogenic Zones and Metallic Mineral Deposits of Finland. Explanation to the Metallogenic Map of Finland. – Geol. Surv. Finland, Spec. Pap., 35: 66 S., 19 Abb., 2 Tab.; Espoo.
- SHAIKH, N. A. (1972): Geology of the Lauttakoski soapstone deposit, northern Sweden. – SGU, Ser. C, 676: 32 S., 16 Abb., 6 Tab., 1 Karte; Stockholm.

- SIGGERUD, T. (1962): The iron occurrence at Farmhamna, Vestspitsbergen. – Norsk Polarinstitut, Årbook 1960: 86 – 89, 2 Abb.; Oslo.
- SIGGERUD, T. (1963): On the marble-beds at Blomstrandhalvøya in Kongsfjorden. – Norsk Polarinstitut, Årbook 1962: 44 – 49, 2 Abb.; Oslo.
- SMOLKIN, V. F., YAKOVLEV, Y. N. & SOKOLOV, S. V. (1997): Sulphide Cu-Ni deposits of the Pechenga ore field. – 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? 4th Biennial SGA Meeting, Aug. 11 – 13, 1997, Turku, Finland, excursion guidebook B4, Geologian tutkimuskeskus, Opas – Geol. Surv. Finl., Guide 45: 11 – 17, 4 Abb., 1 Tab.; Rovaniemi.
- SØRRENSSEN, H. (1970): Internal structures and geological setting of the three agpaitic intrusions – Khibiny and Lovozero of the Kola Peninsula and Ilimaussaq, South Greenland. – *Can. Min.*, 10, 3: 299 – 334, 9 Abb., 6 Tab.; Montreal.
- SRK CONSULTING (2008): Audit of Mineral Resources. Technical Report for the Souker Ni-Cu Deposit, Murmansk Oblast, Russian Federation. – Report prepared for Kola Mining Corporation: 97 S., 18 Abb., 15+ii. Tab., 4 Anl.; Toronto.
- STRIBRNY, B. (1985): The Conglomerate-hosted Repparfjord Copper Ore Deposit Finnmark, Norway. – Monograph Ser. Min. Dep., 24: 75 S., 58 Abb., 3 Tab., 1 Anl.; Stuttgart.
- STUPP, H. D. (2007): Gutachten zur Beurteilung der vier Uranvorkommen Labbas, Björklund, Märsviken und Staverberget in Schweden. – Gutachten der Dr. Stupp Consulting GmbH für die Trans Atlantic Metals AG, Projekt-Nr. P 950: 48 S., 1 Abb., 3 Tab., 9 Anl.; Bergisch Gladbach.
- SVINNDAL, S. (1976): The iron ore deposits of Norway. – In: Zitzmann, A. (ed., 1977, 1978): The iron ore deposits in Europe and adjacent areas. – Explanatory notes to the International Map of Iron Ore Deposits in Europe 1:2,500,000 in two volumes; I: 237 – 244, 1 Tab., II: 124 – 132; Hannover.
- TÖRMÄNEN, T. & ILJINA, M. (2007): The Kevitsa intrusion and associated Ni-Cu-PGE deposit. – In: Ojala V. J., Weihed P., Eilu P. & Iljina, M. (eds.): Metallogeny and tectonic evolution of the Northern Fennoscandian Shield: Field trip guidebook. *Geol. Surv. Finl., Guide 54*: 48 – 54, 6 Abb., 1 Tab.; Espoo.
- TOROKHOV, M. P., FEDOTOV, G. A., KARZHAVIN, V. K. & SHOLOKHNEV, V. V. (1997): The Imandra layered complex and related mineralization. – 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? 4th Biennial SGA Meeting, Aug. 11 – 13, 1997, Turku, Finland, excursion guidebook B4, Geologian tutkimuskeskus, Opas – Geol. Surv. Finl., Guide 45: 33 – 38, 3 Abb., 3 Tab.; Rovaniemi.
- VARTIAINEN, H. (1989): The phosphate deposits of the Sokli Carbonatite Complex, Finland. – In: Notholt, A. J. G., Sheldon, R. P. & Davidson, D.F. (eds.): Phosphate deposits of the world. Vol. 2: Phosphate rock resources: 398 – 402, 3 Abb., 7 Tab.; Cambridge.
- VERHULST, A.; BALAGANSKAYA, E.; KIRNARSKY, Y. & DEMIAFFE, D. (2000): Petrological and geochemical (trace elements and Sr-Nd isotopes) characteristics of the Paleozoic Kovdor ultramafic, alkaline and carbonatite intrusion (Kola Peninsula, NW Russia). – *Lithos*, 51: 1 – 25, 6 Abb., 5 Tab.; Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo.
- WALL, F. (2003): Kola Peninsula: minerals and mines. – *Geology Today*, 19, 6: 206 – 211, 10 Abb., 1 Tab.; London.
- WALSER, G. & EINARSSON, Ö. (1982): The geological context of molybdenum occurrences in the Southern Norrbotten Region, Northern Sweden. – *Int. J. Earth Sc.*, 71, 1: 213 – 229, 5 Abb., 1 Tab.; Heidelberg.

- WILLIAMS, C. T. (1996): The occurrence of niobian zirconolite, pyrochlore and baddeleyite in the Kovdor carbonatite complex, Kola Peninsula. – *Min. Mag.*, 60: 639 – 646, 2 Abb., 3 Tab.; London.
- WORSLEY, D., AGA, O. J., DALLAND, A., ELVERHØI, A. & THON, A. (1986): The Geological History of Svalbard, Evolution of an Arctic Archipelago: 121 S.; Stavanger (Statoil).
- YAKOVLEV, Y. N., DISLER, V. V., MITROFANOV, F. P., RAZHEV, S. A., GROKHOVSKAYA, T. L. & VESELOVSKY, N. N. (1991): Mineralogy of PGE in the mafic-ultramafic massifs of the Kola Region. – *Min. and Pet.*, 43: 181 – 192, 2 Abb., 2 Tab.; Wien, New York.
- VERHULST, A., BALAGANSKAYA, E., KIRNARSKY, Y. & DEMAIFFE, D. (2000): Petrological and geochemical (trace elements and Sr-Nd isotopes) characteristics of the Paleozoic Kovdor ultramafic, alkaline and carbonatite intrusion (Kola Peninsula, NW Russia). – In: *Lithos: An international journal of mineralogy, petrology an geochemistry* - **51**, 1-2 (2000), S. 1 – 25.
- YUDIN, B. A. & ZAK, S. I. (1971): Titanium deposits of northwestern USSR (eastern part of Baltic Shield). – *Intern. Geol. Rev.*, 13, 6: 864 – 872, 2 Abb., 3 Tab.; Washington D.C.
- ZITZMANN, A. (1976a): The iron ores of Iceland.– In: Zitzmann, A. (ed., 1977): The iron ore deposits in Europe and adjacent areas. – Explanatory notes to the International Map of Iron Ore Deposits in Europe 1:2,500,000 in two volumes; I: S. 197; Hannover.
- ZITZMANN, A. (1976b): The iron ore deposits of the western U.S.S.R.– In: Zitzmann, A. (ed., 1977): The iron ore deposits in Europe and adjacent areas. – Explanatory notes to the International Map of Iron Ore Deposits in Europe 1:2,500,000 in two volumes; I: 325 – 391, 22 Abb., 12 Tab., II: 218 – 283; Hannover.
- ZITZMANN, A. (1976c): Bericht über eine Dienstreise nach Skandinavien vom 9. August bis 4. September 1976. – BGR, Bericht, Archiv-Nr: 0076020: 46 S.; Hannover (unveröff.)

DERA Deutsche
Rohstoffagentur
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Deutsche Rohstoffagentur in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Federal Institute for Geosciences and Natural Resources
Stilleweg 2
30655 Hannover
Germany

Tel: +49 (0)511 643 – 3200
Fax: +49 (0)511 643 – 533200
E-Mail: kontaktbuero-rohstoffe@bgr.de
Internet: www.deutsche-rohstoffagentur.de

ISSN: 2193-5319