

SUOMEN GEOLOGINEN
TOIMIKUNTA

GEOLOGISKA KOMMISSIONEN
I FINLAND

BULLETIN
DE LA
COMMISSION GÉOLOGIQUE
DE FINLANDE

N:o 109

ÜBER DIE MINERALPARAGENESIS DER KIESERZE IN DEN
GEBIETEN VON OUTOKUMPU UND POLVIJÄRVI

VON
HEIKKI VÄYRYNEN

MIT EINER KARTE UND 7 FIGUREN IM TEXT

HELSINKI — HELSINGFORS
FÉVRIER 1935

SUOMEN GEOLOGINEN
TOIMIKUNTA

|| GEOLOGISKA KOMMISSIONEN
I FINLAND

BULLETIN DE LA COMMISSION GÉOLOGIQUE DE FINLANDE N:º 109

ÜBER DIE MINERALPARAGENESIS
DER KIESERZE IN DEN GEBIETEN VON OUTOKUMPU
UND POLVIJÄRVI

VON
HEIKKI VÄYRYNEN

MIT EINER KARTE UND 7 FIGUREN IM TEXT

HELSINKI — HELSINGFORS
FÉVRIER 1935
IMPRIMERIE DE L'ÉTAT

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
5708 SOUTH CAMPUS DRIVE
CHICAGO, ILLINOIS 60637

RESEARCH ASSISTANT
JAMES H. HARRIS
5708 SOUTH CAMPUS DRIVE
CHICAGO, ILLINOIS 60637

APRIL 15 1964

RECEIVED
APR 15 1964
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
UNIVERSITY OF CHICAGO

INHALT.

	Seite
Kiesführende Zonen	5
Gesteine	6
Unterlage der Phyllitformation	6
Phyllite	6
Garbenschiefer	6
Kalksilikatgesteine	7
Quarzite	8
Serpentine	8
Kiesvorkommen	9
Durchsetzende Granite	11
Mineralparagenetische Verhältnisse	11
Kalksilikatgesteine	11
Paragenesis der Kiesminerale	14
Das Kieserz vom Typus Outokumpu	15
Das Kieserz vom Typus Polvijärvi	17
Metasomatische Bildungen	20
Das Gebiet von Outokumpu	20
Das Gebiet von Polvijärvi	21
Zusammenfassung	23
Literatur	24



KIESFÜHRENDE ZONEN¹.

In dem weiten und sonst einheitlichen Phyllitgebiete des nördlichen Kareliens treten einzelne Zonen von einem bedeutend abweichenden Charakter auf. Diese bestehen aus schwarzen, graphithaltigen Phylliten, Amphibolgarbenschiefern, Tremolitschiefern, Diopsid-Tremolitsteinen und Quarziten. Besonders die Quarzite wechsellagern oft mit Phylliten in der Weise, dass sie als primäre sandige Ablagerungen in der Phyllitformation angesehen werden müssen (15). Es sind nun gerade diese Zonen, die Serpentinintrusionen aufweisen.

Eine solche Zone streicht durch Kuusjärvi und Outokumpu und setzt am N-Ufer des Sees Viinijärvi vorbei ca. 20 km vom letzteren Orte in NE-licher Richtung bis zum Dorfe Haapavaara beim Postwege Polvijärvi—Maarianvaara fort. Eine ähnliche Zone erstreckt sich vom E-Ufer und von den Inseln des Sees Viinijärvi, vom Dorfe Sola in nördlicher Richtung durch das Kirchdorf Polvijärvi zum Weiher Viitalampi nördlich des Huutokoski. Weiter finden sich ähnliche Bildungen in einer Zone, die im W-Teil des Kirchspiels Polvijärvi parallel zur W-Grenze der Phyllitformation, ca. 2 km von dieser entfernt, durch die Dörfer Saarivaara, Hanhivaara, Teerivaara bis zu dem kleinen See Miihkalinjärvi verläuft. An die kleinen Phyllitgebiete weiter nordwestlich schliessen sich noch einige andere an.

Beachtenswert ist, dass solche Bildungen in der sonst ähnlichen E-Hälfte des Phyllitgebietes ganz und gar fehlen. Ausserhalb des Phyllitgebietes, nordöstlich desselben z. B. im Dorfe Nunnanlahti treten zwar ähnliche Serpentine auf, sie sind aber ältere Bildungen (18, S. 62).

Besonders die oben angeführten Zonen sind von grösseren oder kleineren Kiesvorkommen reichlich begleitet.

Das grösste und bisher einzige Vorkommen von praktischer Bedeutung, das Outokumpu-Kupfererz, ist seit 1913 im Grubenbetrieb ausgebeutet worden. Um neue Vorkommen zu finden, sind später

¹ Der hauptsächlichliche Inhalt dieses Aufsatzes ist früher finnisch in der Zeitschrift »Teknillinen Aikakauslehti», N:o 1, 1928, Helsinki, erschienen.

in diesem Gebiete umfangreiche Untersuchungen angestellt worden, wodurch ein reichliches Beobachtungsmaterial über sie vorliegt.

GESTEINE.

Die *U n t e r l a g e* der Phyllitformation im nördlichen Karelien besteht aus zwei verschiedenen Formationen; teils liegen sie auf den ältesten archaischen Schiefen und auf den diese durchsetzenden Amphiboliten und gneisigen Graniten, wie auf beiden Seiten des Sees Höytiäinen, teils aber auf einer Quarzitformation, die jünger als der vorige Komplex ist, z. B. nördlich und nordöstlich des Höytiäinen (18, S. 65).

Die *Phyllite* können im allgemeinen in zwei grosse Gruppen, die dunklen und die grauen Phyllite, eingeteilt werden. Die dunklen, glimmerreichen Phyllite sind im allgemeinen unmittelbar über der Unterlage verbreitet. Sie enthalten oft Graphit, gehen bisweilen in dunkle, harte quarzitartige Kieselschiefer über und enthalten hie und da Einlagerungen von Garbenschiefer mit Amphibolgarben. Die letzteren Gesteine sind öfters kiesführend. Die zentralen Teile der Phyllitformation bestehen aus grauen phyllitischen Schiefen mit nur ganz unbedeutenden Abweichungen.

Nach Westen und Südwesten werden die Phyllite allmählich gröber und gehen schliesslich in Biotit-Plagioklasgneise und zuletzt in Adergneise über.

Nach ihrer mineralischen Zusammensetzung sind diese Gesteine in allen ihren Abarten Biotitphyllite. Der Biotit ist immer braun, jedoch in den kiesführenden Schiefen sehr lichtbraun. Ausser Biotit und Quarz enthalten sie immer einen feldspatigen Bestandteil, der in den feinkörnigsten Varietäten als solcher nur durch seine vom Quarz abweichende, stark wechselnde Lichtbrechung erkannt werden kann. In den gröberen Schiefen ist er besser individualisiert und in den Biotit-Plagioklasgneisen zeigt er deutliche Zwillingsstreckung und kann als Oligoklas bestimmt werden. Bisweilen deutet seine hohe Lichtbrechung auf einen bedeutend höheren Anortitgehalt; in einigen Fällen ist auch Kalifeldspat angetroffen worden.

Garbenschiefer. In der Abteilung der dunklen Phyllite werden oft Einlagerungen von Amphibolgarbenschiefer angetroffen. Ihre grösste Verbreitung haben sie aber in den oben angeführten kiesführenden Zonen, die im allgemeinen an der Grenze der dunklen und grauen Phyllite entlang verlaufen. Sie schliessen sich gewöhnlich den kohlenhaltigen Phylliten an und sind auch selbst so kohlenhaltig, dass ihre Farbe oft vollkommen schwarz ist. Trotzdem ist der Amphi-

bol an sich farbloser Tremolit oder Aktionolith. Er ist aber grösstenteils so stark mit schwarzem Pigment ausgefüllt, dass er in den mittleren Partien undurchsichtig ist und makroskopisch schwarz aussieht.

In den kiesarmen Gesteinen ist die Schiefermasse zwischen den Garben oft sehr dicht wie im allgemeinen in den kohlenhaltigen Schiefen. Verf. hat die äusserst feine Verteilung der Kohlensubstanz in ähnlichen Phylliten im Gebiete von Kainuu untersucht und gefunden, dass die vollkommene Durchmischung mit der schwerlöslichen Kohle wahrscheinlich die ganze Schiefermasse vor der Umkristallisierung geschützt hat (16, S. 97). Dadurch erklärt sich ihr geringer Metamorphosengrad, den man oft auf ihr jüngeres Alter zurückzuführen versucht hat.

In den kiesreicheren Garbenschiefern ist das Korn gewöhnlich gröber. Der Glimmer ist oft flogopit- oder sogar serizitähnlich. Er ist jedoch immer optisch einachsigt und in den Schwingungsrichtungen β und γ gelbbraun oder lichtbraun. Er gehört also zur Biotitgruppe. Ausserdem tritt oft ein grünlicher Glimmer, Fuchsit, mit bis zu 4.90 % Cr_2O_3 auf (5).

Bisweilen kann die Menge des Amphibols so gross sein, dass ein amphibolitartiger Amphibolschiefer vorliegt. Auch in diesem ist der Quarz jedoch ein viel häufigerer Bestandteil als der Feldspat, sodass derartige Schiefer mit den magmatischen Amphiboliten niemals verwechselt werden können.

Kalksilikatgesteine. Die Amphibolgarbenschiefer zeigen oft Übergänge in Tremolitschiefer und Diopsid-Tremolitgesteine. Diese haben eine lichtgrüne Farbe und unterscheiden sich dadurch scharf von jenen. Bisweilen trifft man jedoch in ihnen schwarz pigmentierten Kalkspat. Der Diopsid und sogar der Tremolit zeigen bisweilen eine schöne, grüne Farbe, die von Cr_2O_3 herrührt. Seine Menge ist auf 0.44—0.64 % bestimmt worden (7). Ausser in jenen Mineralen ist dieses Element in einem Granat, Uwarowit, mit 27.54 % Cr_2O_3 und 90.2 % der Verbindung $\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ (3), und in einem Spinell, Picotit, enthalten.

Die Kalksilikatgesteine wechsellagern oft mit dem Quarzit. Im Grubengebiet Outokumpu gehen sie andererseits in einen dolomitischen Kalkstein über und vermitteln den Übergang von diesem zu den Quarziten (Fig. 3).

Besonders letzterer Umstand scheint darauf hinzudeuten, dass die Kalksilikatgesteine durch eine Umsetzung alternierender quarz- und karbonatreicher Schichten entstanden sind.

Quarzite. Ausser den dunklen quarzitartigen Kieselschiefern gibt es noch zwei Typen von Quarziten: die feldspat- und biotit-führenden, mit den Phylliten wechsellagernden Quarzite und die reinen, weissen, rötlichen oder licht und dunkel gebänderten Quarzite vom Outokumpu-Typus. Die ersteren treten als unbedeutende Einlagerungen in Phylliten an verschiedenen Stellen auf, z. B. an der Landzunge Jänkäniemi im See Höytiäinen. Der zweite Typus charakterisiert besonders die kiesführenden Zonen und tritt in Outokumpu in grossen Mengen, an mehreren anderen Stellen in kleineren Streifen, auf.

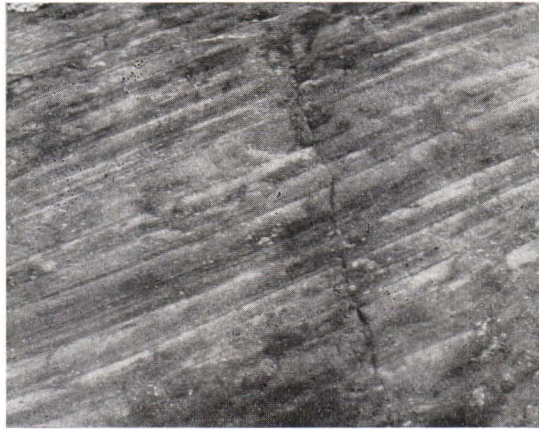


Fig. 1. Geschichteter Quarzit in Jänkäniemi, Höytiäinen.

Er wechsellagert oft mit den Kalksilikatgesteinen und sogar mit den Phylliten. Darum ist es wahrscheinlich, dass er sedimentären Ursprungs ist.

Die **Serpentine** stehen immer in enger Verbindung mit den kiesführenden Zonen. Diese Gesteine sind im allgemeinen dunkelgrün oder vollkommen schwarz und bestehen grösstenteils aus grünem Serpentin mit Netzstruktur. Dieses Mineral ist mit farblosem, stengeligem Amphibol durchwachsen. Aber auch dieser letztere ist oft teilweise serpentiniert. Farbloser Chlorit und Talk treten noch oft hinzu. In den westlichen, am kräftigsten metamorphosierten Teilen des Phyllitgebietes sind Reste von Olivin festgestellt worden. Er ist aber mit Amphibol durchwachsen und es ist darum wahrscheinlich, dass er nicht Reste primären, sondern sekundären Olivins vertritt, der vielleicht bei der Metamorphose wieder neugebildet wurde.

Im hier behandelten Gebiete sind die Serpentine nicht mit Gesteinen von gabbroider Zusammensetzung verbunden, wie weiter nördlich im Gebiete von Kainuu (16). Sie treten wie die ophiolitischen Intrusive in stark bewegten Zonen auf. Sie sind wohl die ersten ultrabasischen Differentiate von Magmas, deren saurere Reste bei den Deckenbewegungen der Schiefer weiter getrieben wurden.

Später sind die Serpentine an manchen Stellen metasomatisch umgewandelt worden, meistens in Topfstein oder Asbest. Der letztere ist aus strahligen Aggregaten von feinfibrigem Amphibol (öfters Anthophyllit) zusammengesetzt. Dieser wird in Paakkilanniemi abgebaut.

Kiesvorkommen. Das Kieserz in Outokumpu besteht aus Pyrit, Magnetkies, Kupferkies und etwas Zinkblende, vermengt mit Quarz. Seine mittlere Zusammensetzung ist:

Unlöslich	40.0 %
Fe	27.5 »
Cu	4.5 »
Zn	1.0 »
S	27.0 »
	<hr/>
	100.0 %

Der Pyrit tritt oft in Form von idiomorphen kubischen Kristallen wie z. B. im Kieserz von Sulitelma (14) auf. Die Zwischenmasse besteht aus Magnetkies und Quarz, während der Kupferkies als letzte Ausfüllung erscheint. Das Erz ist öfters vollkommen massig und homogen und als magmatische Intrusion anzusehen. An einigen Stellen treten aber brekzienartige Bildungen auf. In diesen liegen geschichtete quarzitisches, mit Kiesen stark imprägnierte Fragmente in einer Kiesmasse. Diese Bildungen deuten darauf hin, dass auch metasomatische Prozesse an der Bildung des Erzes beteiligt gewesen sind (Fig. 2 und 7).

Auf einer Strecke von ca. 10 km nordöstlich von Outokumpu ist die kiesführende Zone mit Moräne bedeckt; die kleineren Kiesvorkommen am NW-Ufer des Sees Viinijärvi enthalten keinen Pyrit, nur Magnetkies und etwas Kupferkies. Gleich an der NE-Seite des Flusses Sukkulajoki verschwindet jedoch der Magnetkies und die Kiesvorkommen von da aus nach E hin enthalten überhaupt nur Pyrit. Wo gelegentlich auch Magnetkies auftritt, ist seine Umwandlung in krustierenden, porösen Pyrit gewöhnlich. Solche Bildungen sind aus der Umgebung des Kirchdorfes Polvijärvi und ca. 5 km nordöstlich davon von der Stromschnelle Huutokoski bekannt.



Fig. 2. Kieserz von Outokumpu, entstanden durch Imprägnation von Quarz.

Die durchsetzenden Granite treten in den Kirchspielen Kaavi und Tuusniemi in grossen Mengen auf. Das ausgedehnteste Massiv in der Umgebung des Dorfes Maarianvaara ist wenigstens 250 km² gross. Die Entfernung dieses Massivs von Outokumpu ist in nordwestlicher Richtung nur ca. 6 km. Zu diesem Granit gehörende Pegmatite sind mehrmals in der Grube von Outokumpu, wo sie das Erz quer durchsetzen, angetroffen. Westlich und südwestlich von Outokumpu werden die Pegmatitgänge immer reichlicher und schliesslich geht der Phyllit in Adergneis über, in dem aber die Serpentine ganz in derselben Weise auftreten wie im Phyllit, jedoch nur bis zu einer bestimmten westlichen Grenze. Diese ist eine ausgeprägte Schieferungszone, die durch die Seen Suvasvesi und Kermajärvi streicht (18, S. 72).

Der Granit des Massivs von Maarianvaara ist ein hellgraues richtungslos körniges Gestein mit kleinem Korn. Der Feldspat ist zum überwiegenden Teil Mikroklin, und Biotit kommt öfters reichlich vor. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass zu den durchsetzenden Graniten auch gneisige Typen gehören. Diese sind aber sehr schwer von den älteren Gneisgraniten zu unterscheiden.

MINERALPARAGENETISCHE VERHÄLTNISSE.

KALKSILIKATGESTEINE.

Eine ähnliche Gegensätzlichkeit, wie sie in der Zusammensetzung der Kiesvorkommen zwischen dem östlichen und westlichen Teil der Schieferformation oben festgestellt wurde, ist auch in der Paragenese der Kalksilikatgesteine beobachtet worden. In den westlicheren Gegenden sind die Diopsid-Tremolitfelse allgemein verbreitet, in den östlicheren dagegen die Tremolitschiefer.

In Outokumpu ist der Übergang vom dolomitischen Kalkstein in Quarzit gewöhnlich durch die folgende Gesteinsreihe vermittelt:

dolomitischer Kalkstein
 tremolithaltiger »
 Tremolitfels oder Tremolitschiefer
 Diopsid-Tremolitfels
 diopsidhaltiger Quarzit
 Quarzit

Dieser Übergang ist jedoch nicht immer einfach, sondern zeigt manchmal auch Wiederholungen, aber die Reihenfolge ist immer dieselbe, was wohl dadurch zu erklären ist, dass ursprünglich zwischen dem dolomitischen Kalkstein und dem Quarzit eine variierende

Mischungsreihe entstanden ist und die Kalksilikatgesteine durch Umsetzung des karbonatischen Bestandteils mit Quarz gebildet sind. Bei dieser Reaktion kommen im allgemeinen drei Möglichkeiten in Frage (6):

1. $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 = \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$
2. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 2 \text{SiO}_2 = \text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2 + 2 \text{CO}_2$
3. $3 \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 4 \text{SiO}_2 = \text{CaMg}_3(\text{SiO}_3)_4 + 2 \text{CaCO}_3 + 4 \text{CO}_2$

Die 1. Formel stellt die Bildung von Wollastonit dar. Die Bedingungen dieser Reaktion sind bekannt; sie findet bei niedrigen und mässigen Drucken bei einer Temperatur von 800° — 950° C statt (8). Da jedoch Wollastonit hier nicht angetroffen ist, ist es sicher, dass die Temperatur in unserem Gebiete nicht so hoch gestiegen ist.

Die Bedingungen der 2. Reaktion sind nicht genau bekannt. Aus den bekannten Tatsachen zu schliessen geht diese Umsetzung jedoch bei niedrigeren Temperaturen als die vorige vor sich. Hier ist jedoch zu beobachten, dass sowohl der reagierende Dolomit als auch der entstehende Diopsid Verbindungen darstellen, deren Zusammensetzungen in dem Sinne variabel sind, dass ein Teil des Mg durch Fe substituiert ist. Darum ist die Temperatur dieser Reaktion nicht nur durch den Druck sondern auch durch die Zusammensetzung der Reaktionskomponente bestimmt; sie ist also etwas variabel.

Die 3. Reaktion muss bei noch niedrigeren Temperaturen stattfinden. Ihre Bedingungen können hier noch mehr als im vorigen Falle variieren, weil hier nicht nur Fe anstatt Mg, sondern auch ein etwas variabler Wassergehalt im Tremolit vorhanden sein kann.

Die den Übergang zwischen dem dolomitischen Kalkstein und dem Quarzit vermittelnde Gesteinsreihe kann nun in folgender Weise erklärt werden:

Beim Steigen der Temperatur hat zuerst die Reaktion 3 stattgefunden und zwar so lange, bis aller Dolomit oder Quarz verbraucht war. Beim weiteren Steigen der Temperatur hat dann an den Stellen, wo noch Quarz vorhanden war, eine neue Reaktion eingesetzt:



Man könnte sich nun denken, dass an den Stellen, wo kein Quarz übrig war, etwa folgende Reaktion stattgefunden hätte:

5. $\text{CaMg}_3(\text{SiO}_3)_4 + 2 \text{CaCO}_3 = 2 \text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2 + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$,
denn damit hätten diopsidhaltige Dolomite entstehen können. Dies ist jedoch nicht geschehen, denn solche Gesteine sind in diesem Gebiete nicht bekannt.

Ob dieser Umstand von besonders hohem $MgCO_3$ -Gehalt im Karbonatgestein herrührt, oder ob die Reaktion etwas höhere Temperatur erfordert, ist nicht leicht zu sagen. Wo aber diopsidhaltige Kalksteine auftreten, können sie auch in dieser Weise entstanden sein.

Das Auftreten von Diopsid kann von Outokumpu aus in nordöstlicher Richtung jedoch nur ca. 12 km weit, ungefähr bis zum Flusse Sukkulajoki verfolgt werden, wonach wir weiter östlich bei der Volksschule Kalliola eine Assoziation Tremolit—Quarz—Kalzit antreffen, wo also die Reaktion 4 ausgeblieben ist. Dies gilt für ein Gebiet, das auf der Karte durch eine schwarze Linie gegen Westen begrenzt ist. Diese Grenze bildet eine Einbuchtung um das Dorf Sotkuma herum. Es ist möglich, dass sie noch weiter nach NE,

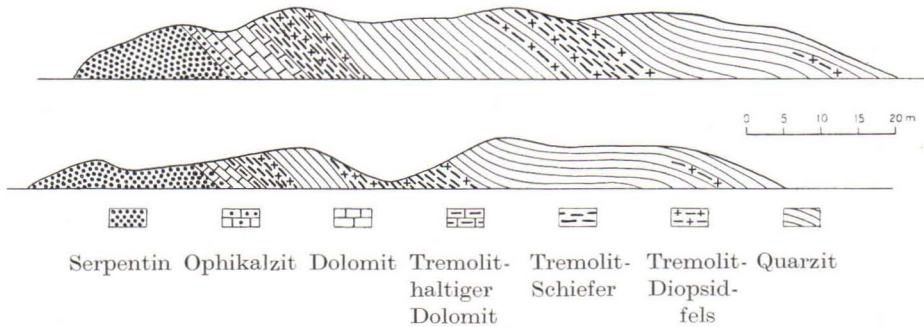


Fig. 3. Lagerwechselung bei der Eisenbahnstation Outokumpu, Felsen auf beiden Seiten der Eisenbahn.

vielleicht bis zum Kirchdorf Polvijärvi reicht. Jedenfalls ist in Polvijärvi in den Kalksilikatgesteinen Diopsid angetroffen worden, aber er kann da auch nur lokal und isoliert auftreten. Das Vorkommen von Diopsid am S-Rande der Kartenskizze in Liperinsalo ist neuerdings von Saksela bestritten worden (13), aber Verf. hat dieses Mineral bei einer Exkursion in Loukonsaari am See Pyhäselkä angetroffen.

In der nordwestlichen Ecke der Karte tritt der Diopsid in den Kalksilikatgesteinen in den folgenden Dörfern auf: in Saarivaara (auf der Karte südlich des Teerivaara) im Kirchspiel Polvijärvi, in Niiniivaara und Kortteinen (a. d. Karte nördlich des Luikonlahti) im Kirchspiel Kaavi, in Halivaara, Petrovaara und Polvela im Kirchspiel Juuka. Südlich des letztgenannten findet sich am NW-Ende des Sees Rauanjärvi wahrscheinlich wieder ein lokales, isoliertes Vorkommen.

Eine ähnliche Grenze würden wir für das etwas spärlichere Auftreten von Skapolith erhalten. Dieser ist im Dorfe Mulo in der Nähe der Eisenbahnstation Niittyalahti an der südlichen Grenze der Karte, dann in den obengenannten Dörfern Saarivaara, Halivaara und Petrovaara, zwischen Halivaara und Polvela, angetroffen worden.

Diese beiden Grenzen verlaufen nicht parallel zum Auftreten der durchsetzenden Granite, wohl aber parallel zu der Grenze der von ihnen hervorgerufenen Metamorphose und Vergneisung der Phyllite, so dass man sie etwa als eine Isotherme der Kontaktwirkung seitens des durchsetzenden Granits auffassen kann. Es ist weiter von Interesse, dass eine ähnliche Grenze die paragenetischen Verhältnisse der Kiesminerale beherrscht.

PARAGENESIS DER KIESMINERALE.

Die amerikanischen Forscher Allen und Lombard haben dargelegt, dass die Gleichgewichtstemperatur zwischen dem Pyrit und dem Magnetkies beim Schwefelgasdruck 1 atm. 665°C ist (2). Nach den von ihnen erhaltenen Daten ist die Gleichgewichtskurve durch folgende Gleichung gegeben:

$$\log p_a = \frac{252.4}{T} - 0.572 \log T + 1.97.$$

In dieser Form ist also die Kombination Pyrit-Magnetkies ein univariantes System, denn sie enthält drei Phasen (Pyrit, Magnetkies und S-Gas) und zwei Bestandteile (Fe und S). Ein solches heterogenes System hat ja nach der Gibbs'schen Phasenregel nur eine Freiheit:

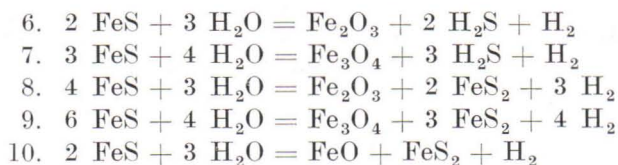
$$\begin{aligned} \text{Phasen} + \text{Freiheiten} &= \text{Bestandteile} + 2 \\ 3 + 1 &= 2 + 2 \end{aligned}$$

Unter diesen Umständen kann diese Assoziation in der Natur nicht auftreten, weil dazu im allgemeinen ein divariantes PT-Gebiet erforderlich ist.

Unter etwas abweichenden Bedingungen haben die amerikanischen Forscher Allen, Grenshaw, Johnston und Larsen das Gleichgewicht von Pyrit und Magnetkies ermittelt (1). Sie erhitzen Pyrit oder Magnetkies in einem offenen Glasrohr, durch welches ein stetiger Strom von Schwefelwasserstoff geleitet wurde. Sie fanden, dass unterhalb der Temperatur 565°C der Magnetkies Schwefel aufnahm unter Bildung von Pyrit, oberhalb dieser Temperatur aber der Pyrit Schwefel abgab und in Magnetkies umgewandelt wurde.

In diesem Falle haben wir drei Bestandteile (Fe, S und H) und bei der Gleichgewichtstemperatur drei Phasen (Pyrit, Magnetkies und Gas). Das Gas ist immer als eine homogene Phase zu betrachten. Es bleiben dann zwei Freiheiten übrig. Das System ist in einem divarianten Gebiete beständig, und die oben angegebene bestimmte Dissoziationstemperatur hängt nur davon ab, dass die Zusammensetzung der Gasphase durch die Versuchsbedingungen genau bestimmt war. Wir können aber noch folgern, dass durch eine Erhöhung des Druckes die Temperatur der Dissoziation, also die Beständigkeit, des Pyrites erhöhet wird. Sollte neben der fluiden oder der Gasphase noch eine Schmelze anwesend sein, dann könnte nur eine feste Phase entstehen. Dies ist wohl der Fall bei der Bildung der Nickel-magnetkiesgruppe aus trockenem Magma.

In der Natur sind jedoch die Verhältnisse öfter noch verwickelter. Wir müssen wenigstens noch das Verhandensein von Wasser in Betracht ziehen. Dadurch werden mancherlei Reaktionen ermöglicht:



Die Teilnahme des Wassers in dem System wird durch Einfuh- rung von Sauerstoff als neuer Komponente ermöglicht. Wir haben dann vier Bestandteile: Fe, S, H, O, und können nun also vier Phasen in einem divarianten System in Betracht ziehen. Ausser dem Pyrit und dem Magnetkies kommen dann zwei nicht mischbare Lösungen in Frage: eine Sulphidschmelzlosung (das Erzmagma) und eine wasser- reiche Lösung. Diese letztere muss wenigstens im Temperaturbereiche 600°—700° C in hyperkritischem Zustande sein. Die kritische Tem- peratur des Wassers ist ja 360° C und die des Schwefelwasserstoffs 400° C. Diese beiden Stoffe müssen die Hauptbestandteile der fluiden Phase bei der Kiesbildung in der Natur darstellen.

DAS KIESERZ VOM TYPUS OUTOKUMPU.

Der Schwefelwasserstoff ist also ein aktiver Bestandteil der die Kieserze bildenden Lösungen und weil seine Dissoziation durch den Wasserstoffdruck wesentlich beeinflusst wird, können einige Eigentümlichkeiten der Mineralparagenese im Outokumpu-Gebiet auf diese Weise erklärt werden.

So besteht das Outokumpu-Erz aus Pyrit und Magnetkies, aber in den Gesteinen der Umgebung tritt im allgemeinen nur der letztere

auf. Man muss dann annehmen, dass der Gasdruck des Schwefels in den erzbildenden Lösungen grösser gewesen ist als in den umgebenden Gesteinen. Das ist auf zwei Ursachen zurückzuführen: erstens ist anzunehmen, dass die Konzentration des Schwefelwasserstoffs vom Erze nach aussen abgenommen und die relative Konzentration des Wasserstoffs wegen seiner grösseren Diffusionsfähigkeit in der Umgebung in Verhältnis zu der des Schwefels grösser geworden ist. Beide Ursachen wirken in derselben Richtung. Beim Sinken des Totaldruckes des Schwefelwasserstoffs muss auch der Partialdruck des Schwefels abnehmen und auch beim konstanten Totaldruck des H_2S muss beim Ansteigen der relativen Konzentration des Wasserstoffs im Verhältniss zum Schwefel, der Partialdruck des letzteren abnehmen. Wir haben ja:

$$\frac{[S] \times [H]^2}{[H_2S]} = k \text{ oder } [S] = \frac{k \times [H_2S]}{[H]^2}$$

wo $[S]$, $[H]$ und $[H_2S]$ die Konzentrationen der betreffenden Ionen bzw. Verbindungen und k eine Konstante bedeuten. Wir haben dann nach dem Vorigen:

$$\frac{[S]}{4} = \frac{k \times [H_2S]}{2^2 [H]^2}$$

Die Konzentration des Schwefels ist also umgekehrt proportional der zweiten Potenz der des Wasserstoffs. Wenn also die Konzentration des Wasserstoffs sich verdoppelt, sinkt die des Schwefels auf ein Viertel.

Einem bestimmten S-Gasdruck bei einem bestimmten Totaldruck entspricht eine bestimmte Dissoziationstemperatur des Pyrits.

Darum hat der Gasdruck des Schwefels nur in der Erzlösung selbst einen so hohen Wert gehabt, welcher zur Ausbildung von Pyrit erforderlich gewesen ist, aber im umgebenden Gestein nicht. Zuletzt hat jedoch der Schwefelgasdruck auch im Erze abgenommen zu Gunsten des Magnetkieses, weil die sogar idiomorphen Pyritkristalle teilweise in Magnetkies umgewandelt worden sind, wie Laitakari (10) beobachtet hat (Fig 4). In den umgebenden Gesteinen muss der Schwefelgasdruck überhaupt zu niedrig gewesen sein, weil hier kein Pyrit angetroffen worden ist.

Nun ist aber ein anderer Umstand, der lange nicht zu erklären war, in Betracht zu ziehen. Es entsteht nämlich die Frage, warum die Kieserzlagstätte von Outokumpu, die ca. 14 % Magnetkies enthält, magnetisch beinahe indifferent ist, während doch die umgebenden Schiefergesteine, die nur kleine Mengen von Magnetkies behen-

bergen, auf die Magnetnadel stark einwirken. Die Untersuchungen des Verfassers haben zu dem Schluss geführt (17), dass dies nicht etwa vom Magnetit herrührt, sondern dass der Magnetkies der umgebenden Schiefergesteine in der Tat viel stärker magnetisch ist als der Magnetkies im Erze. Verf. hat gezeigt, dass die magnetischen Eigenschaften des Magnetkieses überhaupt sich ganz wesentlich mit der Zusammensetzung desselben verändern. Es ist also wahrscheinlich, dass der Magnetkies hier eine andere Zusammensetzung als im Erze hat. Dieser Unterschied kann aber auch auf den Unterschied im Schwefelgasdrucke an beiden Stellen bei der Entstehung der Erzminerale zurückgeführt werden, denn eine feste Phase mit variabler Komposition muss ihre Zusammensetzung gleichzeitig mit der Änderung der flüssigen oder gasförmigen Phase verändern. Weil es sich um Diffusionserscheinung handelt kann man auch vom Gasdruck sprechen.



Fig. 4. Verdrängung von Pyrit (weiss) durch Magnetkies (grau) und Kupferkies (schwarz) im Erze von Outokumpu nach Laitakari.

DAS KIESERZ VOM TYPUS POLVIJÄRVI.

Die magnetkieshaltigen Schiefergesteine können nun von Outokumpu aus in nordöstlicher Richtung als ununterbrochene Zone magnetometrisch verfolgt werden. Ein Stück östlich des Flusses Sukkulajoki werden die Kiesbildungen magnetisch inaktiv. Hier haben wir aber einen anderen Sachverhalt als in Outokumpu, denn hier verschwindet der Magnetkies völlig und die Kieserze bestehen (S. 9) von hier aus nach Osten hin nur aus Pyrit. An der Grenze und an einzelnen Stellen weiter östlich, wo der Magnetkies noch angetroffen wird, ist noch seine unvollkommene Umwandlung in Pyrit zu beobachten. Der Magnetkies ist mit einer Kruste von Pyrit

umhüllt und sieht etwas zersetzt aus. Hier ist also die Umwandlung in der entgegengesetzten Richtung als im Outokumpu-Erze vor sich gegangen. Alle reichlicheren Kieserzorkommen in einem Gebiete, dessen westliche Grenzlinie nahe der obenbesprochenen Diopsidgrenze gelegen ist (siehe die Karte), bestehen aus Pyrit, daneben tritt bis-

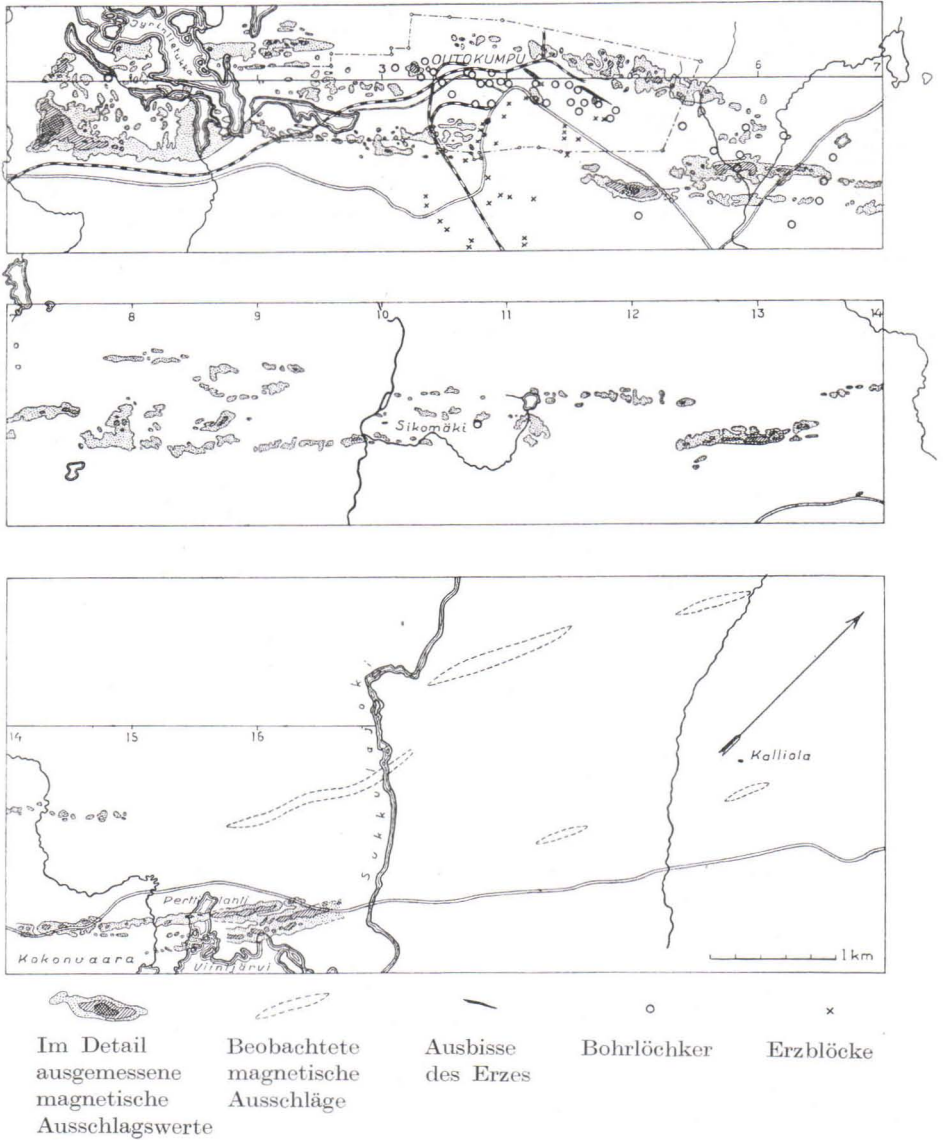


Fig. 5. Die kiesführende Zone von Outokumpu.

weilen etwas Kupferkies, aber selten Magnetkies auf. Wo der letztgenannte in einigen kleinen Vorkommen lokal vorkommt, wurde in ihm bei mikroskopischer Untersuchung eine krustale Umwandlung in Pyrit beobachtet.

Die Erklärung dieses Kieserz-Typus vom Standpunkt des physikochemischen Gleichgewichts ist nicht so einfach wie die des Typus von Outokumpu. Warum ist in jenem Typus der Magnetkies verschwunden? Warum haben wir hier um eine Phase weniger als im vorigen Typus? Jedenfalls bedeutet dieses eine gründliche Umgestaltung der Gleichgewichtsbedingungen.

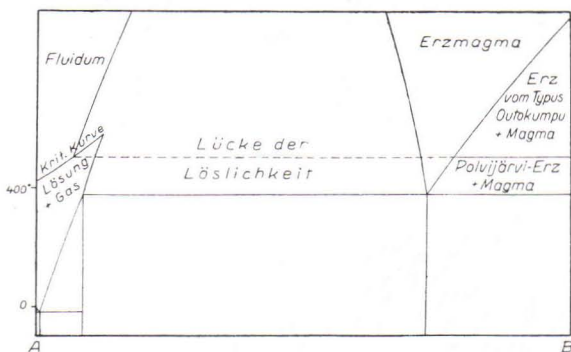


Fig. 6. Ungefähre Gleichgewichte in den Kieserz-bildenden Magmen, als ein System von zwei Komponenten dargestellt.

Eigentlich ist eine bedeutende Änderung der Verhältnisse eine Notwendigkeit, denn wir haben oben vorausgesetzt, dass die andere amorphe Phase im hyperkritischen, fluiden Zustand (S. 15) war. Ist die kritische Temperatur dieser Lösung so hoch, dass eine vollständige Kristallisation der letzten Spuren des Erzmagmas noch nicht stattgefunden hat, so können unterhalb dieses Punktes noch zwei amorphe Phasen: Erzmagma und wasserreiche Lösung vorhanden sein, aber das Auftreten einer Gasphase ist wohl im allgemeinen unmöglich. Dann wären in einem divarianten heterogenen Gleichgewicht zwei feste Phasen möglich. Die Entstehung von nur einer festen Phase muss dann durch die Zusammensetzung der Restlösung bedingt sein und die maximale Anzahl der Phasen wird nicht erreicht. Bei genauer mikroskopischer Untersuchung findet man indessen, dass die letzten Lücken zwischen den Pyritkörnern manchmal von winzigen Magnetkieskörnern eingenommen sind.

Über die Bildungstemperatur lässt sich mit einiger Sicherheit soviel sagen, dass sie vielleicht etwas über 400° C betragen muss

(S. 15) und dass sie in den einzelnen Fällen, je nach der Zusammensetzung der Lösung, verschieden gewesen sein mag.

Die Gleichgewichtsverhältnisse, d. h. Temperatur und Zusammensetzung, dürften annäherungsweise aus der Fig. 6 hervorgehen.

METASOMATISCHE BILDUNGEN.

DAS GEBIET VON OUTOKUMPU.

Vergleicht man die Mengen der Quarzite vom Outokumpu-Typus und die der Kiesvorkommen von mehreren Orten innerhalb des Phyllitgebietes von N-Karelien mit einander, so fällt eine deutliche Paralleli-



Fig. 7. Brekziebildung im Erze von Outokumpu im Tagebau.

tät ihrer Menge ins Auge. Man könnte darum annehmen, dass die Quarzite in diesem Gebiete aus den Phylliten durch metasomatische Umwandlung im Zusammenhang mit der Bildung der Erze entstanden seien. Bei eingehender Untersuchung wird jedoch eine solche Annahme sehr unwahrscheinlich, da die Wechsellagerung der Quarzite mit den Phylliten und Kalksilikatgesteinen nur schwer damit zu vereinbaren ist.

Doch steht fest, dass ein Teil des Erzes durch Metasomatose entstanden ist. An mehreren Stellen sind im Erze deutliche Spuren eines geschichteten Gesteins sichtbar (Fig. 2). Bei der Imprägnation sind dann mehrmals Brekzienbildungen entstanden, wie beim Schacht

Kumpu B (Fig. 7, siehe auch 4, Fig. 9). Vom imprägnierten Gestein ist nur Quarz erhalten und es ist nicht mehr zu bestimmen, welche seine ursprüngliche Zusammensetzung gewesen ist. Bisweilen sind jedoch in einer solchen Imprägnation grösstenteils zersetzte Reste von Diopsid festgestellt worden. Man kann somit annehmen, dass der verdrängte Bestandteil Diopsid gewesen ist.

Im Grubenfeld Outokumpu ist in Raiviomäki jedenfalls eine sicher metasomatische Bildung, ein Cordierit-Antophyllit-Fels angetroffen. Dieses Gestein hat durchaus dasselbe Aussehen wie das von Orijärvi, mit strahligen Aggregaten von Anthophyllit, die in grosse Cordieritindividuen eingewachsen sind, wie von Eskola neulich hervorgehoben worden ist (5). Dazu kommen Staurolith, Almandin, Picotit, Ilmenit, Rutil und Kiesminerale vor.

Dieses Gestein ist teilweise umgewandelt, indem der Cordierit durch farblosen Chlorit und lichten Glimmer ersetzt ist. Ähnliche umgewandelte Bildungen sind auch sehr oft in den Bohrkernen bei Diamantbohrungen in verschiedenen Teilen des Grubenfeldes beobachtet worden.

Wie in Orijärvi so zeigt auch in Outokumpu der Cordierit-Anthophyllit-Fels eine deutliche Verbindung mit dem Erze. Dadurch, dass mit dem Erzmagma so tonerereiche Lösungen eingedrungen sind, wird es erklärlich, dass sich die Erze wenigstens teilweise durch einen metasomatischen Austausch Platz in diopsid- und tremolithhaltigen Quarziten haben schaffen können. Die Kalksilikatgesteine haben ja nicht im Gleichgewicht mit solchen Lösungen gestanden.

DAS GEBIET VON POLVIJÄRVI.

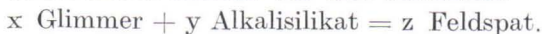
Die aus Pyrit bestehenden Kiesvorkommen des Gebietes von Polvijärvi sind ebenfalls mit metasomatischen Bildungen verbunden. Diese haben jedoch einen ganz anderen Charakter als die oben aus dem Outokumpu-Gebiet beschriebenen. Die Pyritvorkommen sind sowohl in diesem Gebiete wie in Karhunsaaari und Ahmovaara im östlichen Teile des Phyllitgebietes als auch die ähnlichen Vorkommen ausserhalb desselben in Otravaara und Jalonvaara mit Serizitschiefern verbunden. Vorkommen von diesem Typus sind von M. Saksela in zwei Abhandlungen beschrieben worden (12, 13). Nach ihm wird der Feldspat in der unmittelbaren Nähe des Pyriterzes durch Serizit ersetzt, in weiterer Entfernung geht jedoch eine Feldspatisierung vor sich. Er schliesst daraus, dass die metasomatischen Prozesse bei der Bildung solcher Kiesvorkommen in drei Phasen nacheinander vor sich gegangen sind:

1. Die Natron-Aluminium-Kieselsäure-Metasomatose.
2. Die Kalium-Aluminium-Titan-Bor-Chrom-Metasomatose.
3. Die Schwefel-Kohlen-Metasomatose.

V. M. Goldschmidt hat die physiko-chemischen Bedingungen einerseits der Serizitbildung auf Kosten von Feldspat und andererseits die Feldspatitisation eingehender behandelt (9). Er geht von der folgenden Formel aus:



Schematisch können wir also schreiben:



Dann haben wir:

$$\frac{[\text{G}]^x \times [\text{A}]^y}{[\text{F}]^z} = \text{K}, \text{ und daraus folgt: } [\text{A}] = \sqrt[y]{\frac{[\text{F}]^z \times \text{K}}{[\text{G}]^x}}$$

wo [G] und [F] die betr. Löslichkeiten von Glimmer und Feldspat sind, [A] die Konzentration des Alkalisilikats und K eine Konstante bedeuten.

Weil nun in der letzten Gleichung alle Grössen auf der rechten Seite bestimmte positive Zahlen sind, muss eine Lösung, die im Gleichgewicht mit Feldspat und Muskovit stehen soll, eine bestimmte Konzentration von Alkalisilikat enthalten und darum alkalisch sein. Aus der letzten Gleichung sehen wir weiter, dass der Feldspat zersetzt und Glimmer gebildet wird, sobald die Konzentration des Alkalisilikats kleiner wird als dieser Grenzwert.

Nach dem vorigen müssen wir nun beachten, dass bei der Bildung der Kieserze immer bedeutende Mengen von Schwefelwasserstoff vorhanden sind. Es scheint darum ohne weiteres natürlich, dass der alkalische freie Alkalisilikat dabei, zusammen mit dem sauren Schwefelwasserstoff, nicht existieren kann. Darum muss eine Lösung, die freien Schwefelwasserstoff enthält, zersetzend auf Feldspat einwirken. Dringen aber solche Lösungen so weit in ein umgebendes Gestein ein, dass alles in ihnen enthaltene S durch den Eisengehalt der Silikat- oder Erzminerale als Sulphid ausgefällt wird, kann sich aus ihnen wieder Feldspat absetzen. An der äussersten Grenze des Wirkungsfeldes wird auch die Hornblende durch die alkalischen Restlösungen in dunklen, alkalireichen Amphibol umgebildet.

Diese Deutung erklärt aber, dass die zeitliche Aufeinanderfolge der verschiedenen Phasen der Metasomatose umgekehrt der von Saksela angenommenen ist. Zuerst wird der Feldspat zersetzt, dann wieder abgesetzt und zuletzt finden die randlichen Umbildungen

unter dem Einfluss des überschüssigen Alkalis statt. Es muss aber manchmal eintreffen, dass ein Teil des zuerst feldspatisierten Gesteines später bei der Weiterentwicklung des Prozesses der Serizitisierung anheim fällt. An einer bestimmten Stelle kann dann die zeitliche Reihenfolge der Umwandlungen so sein wie sie von Saksela beschrieben ist. Eigentlich ist es aber so, dass nach dem Beginn des Prozesses alle Phasen desselben an verschiedenen Stellen gleichzeitig stattfinden. Nur im Beginn kann von einer zeitlichen Reihenfolge die Rede sein.

ZUSAMMENFASSUNG.

In der vorliegenden Arbeit werden zwei Typen von Kiesvorkommen beschrieben. Diese beiden Gruppen, die Kieserze vom Typus Outokumpu und vom Typus Polvijärvi, weisen so bedeutende Verschiedenheiten sowohl in Hinsicht der Mineralparagenesis des Erzes selbst als auch hinsichtlich der mit ihnen verbundenen metasomatischen Bildungen auf, dass sie in verschiedenen physiko-chemischen Verhältnissen entstanden gedacht werden müssen. Diesen Bedingungen wird eine eingehende Erörterung gewidmet und dabei gezeigt, dass der Typus Outokumpu in höherer Temperatur, wahrscheinlich oberhalb der kritischen Temperatur der wasserreichen Lösungen, also unter pneumatolytischen Bedingungen, jedoch unterhalb der Gleichgewichtstemperatur der Reaktion $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 = \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$ entstanden ist. Dagegen scheint der Typus Polvijärvi, dem auch die Kieserze von Otravaara, Karhunsaaari und Jalonvaara zuzurechnen sind, unterhalb der kritischen Temperatur der wasserreichen Lösungen, also unter hydrothermalen Bedingungen, nicht weit über 400°C , entstanden zu sein.

Dieser letztere Typus von Kieserzen, die beinahe reinen Pyrit-erze, haben praktische Bedeutung durch ihren hohen Schwefelgehalt, der in einer Generalprobe bis zu 47.75 % steigt, erhalten. Auch die paragenetischen Verhältnisse haben praktisches Interesse, weil vom Dorfe Selkie (in der südöstlichen Ecke der Karte) Erzgeschieben gefunden worden sind, die ca. 3 % Kupfer enthalten und ausser dem Kupferkies nur Pyrit als Erzminerale führen. Nach dem obengesagten ist es wahrscheinlich, dass diese Geschieben aus dem Gebiete von Polvijärvi herkommen.

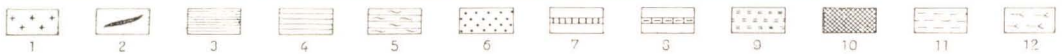
LITERATUR.

1. E. T. ALLEN, J. L. CRENSHAW, J. JOHNSTON und ESPER LARSEN, Die mineralischen Eisensulphide. *Z. für anorg. Chem.* 76, 1912, S. 201.
2. ——— und ROBERT LOMBARD, A Method for the Determination of Dissociation Pressures of Sulphides and its Application to Covellite (CuS) and Pyrite (FeS)₂. *Am. Journ. Sci.* (4) 43, 1917, 175—195.
3. LEON H. BORGSTRÖM, Mineralogiska notiser. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 23, 1901, 560—563.
4. E. L. BRUCE, The Outokumpu Copper Mine, Finland, and its Discovery. *Canad. Min. Met. Bull.* 1931.
5. PENTTI ESKOLA, On the Chrome Minerals of Outokumpu. *Bull. Comm. géol. Finlande* N:o 103, 1933, 26—44.
6. ———, VICTOR HACKMAN, AARNE LAITAKARI und W. W. WILKMAN, Suomen kalkkikivi. With an english Summary of the Contents Limestones in Finland. *Geologinen toimikunta, Geoteknillisiä tiedonantoja* N:o 21, 1919.
7. BENJ. FROSTERUS und W. W. WILKMAN, Vuorilajikartan selitys, lehti D 3, Joensuu. *Geologinen toimikunta, Suomen geologinen yleiskartta*, 1920.
8. V. M. GOLDSCHMIDT, Die Gesetze der Gesteinsmetamorphose, mit Beispiel aus der Geologie des südlichen Norwegens. *Vidensk. selsk. Skrifter. I. Mat.-naturv. Kl.* 1912, N:o 22.
9. ——— Metasomatosen i silikatbergarter. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 43, 1921, 463—468.
10. AARNE LAITARARI, Über den Schwefelkies von Outokumpu. *Bull. Comm. géol. Finlande*, N:o 85, 1929, 42—43.
11. ——— Veränderungen in Sulphidmineralien von Pitkäranta und Outokumpu. *Bull. Comm. géol. Finlande*, N:o 93, 1931, 55—63.
12. MARTTI SAKSÉN (SAKSELA), Über die Petrologie des Otravaaragebietes im östlichen Finnland. *Bull. Comm. géol. Finlande*, N:o 65, 1923.
13. MARTTI SAKSELA, Die Kieslagerstätte von Karhunsaaari in Nordkarelien, Finnland. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 55, 1933, 29—58.
14. TH. VOGT, Bidrag till Sulitelmakisernas geologi. *Geol. Fören. Stockholm Förh.* 43, 1921, 480—486.
15. HEIKKI VÄYRYNEN, Malmitutkimuksista Pohjois-Karjalassa. *Vuosikertomus — Årsberättelse 1923*, Suomen geologinen toimikunta, 36—44.
16. ——— Geologische und petrographische Untersuchungen im Kainuugebiete. *Bull. Comm. géol. Finlande*, N:o 78, 1928.
17. ——— Über die magnetischen Eigenschaften des Magnetkieses. *Fennia* 50, N:o 41, 1928.
18. ——— Über die Stratigraphie der karelischen Formationen. *Bull. Comm. géol. Finlande*, N:o 101, 1933, 54—78.

Geologische Karte des Nord-Karelischen Phyllitgebietes.

masstab 1 : 600 000

Zusammengestellt von Heikki Väyrynen.



Zeichenerklärung:

- 1 Durchbrechender Granit
- 2 Serpentin
- 3 Dunkler Phyllit
- 4 Grauer »
- 5 Ädergneis
- 6 Quarzit

- 7 Kalkstein und Dolomit
- 8 Kalksilikatgestein
- 9 Augengneis
- 10 Metabasit
- 11 Ältere Schiefer
- 12 Gneisgranit

- Ausgezogene Linie = Diopsidgrenze
- Gestrichelte Linie = Magnetkiesgrenze

Fascicules parus du Bulletin de la Commission géologique de Finlande.

N:o 1.	Cancrinitenyt und einige verwandte Gesteine aus Kuolajärvi, von WILHELM RAMSAY und E. T. NYHOLM. Mit 4 Figuren im Text. Mai 1896	15: —
N:o 2.	Ueber einen metamorphosirten präcambrischen Quarzporphyr von Karvia in der Provinz Åbo, von J. J. SEDERHOLM. Mit 12 Figuren im Text. Dec. 1895	15: —
N:o 3.	Till frågan om det senglaciala hafvets utbredning i Södra Finland, af WILHELM RAMSAY, jemte Bihang 1 och 2 af VICTOR HACKMAN och 3 af J. J. SEDERHOLM. Med en karta. Résumé en français: La transgression de l'ancienne mer glaciaire sur la Finlande méridionale. Febr. 1896	25: —
N:o 4.	Ueber einen neuen Kugelgranit von Kangasniemi in Finland, von BENJ. FROSTERUS. Mit 2 Tafeln und 11 Figuren im Text. April 1896	20: —
N:o 5.	Bidrag till kännedom om Södra Finlands kvartära nivåförändringar, af HUGO BERGHELL. Med 1 karta, 1 plansch och 16 figurer i texten. Deutsches Referat: Beiträge zur Kenntnis der quartären Niveauschwankungen Süd-Finnlands. Mai 1896	30: —
* N:o 6.	Über eine archaische Sedimentformation im südwestlichen Finnland und ihre Bedeutung für die Erklärung der Entstehungsweise des Grundgebirges, von J. J. SEDERHOLM. Mit 2 Karten, 5 Tafeln und 96 Figuren im Text. Febr. 1899	75: —
N:o 7.	Über Strandbildungen des Litorinameeres auf der Insel Mantsinsaari, von JULIUS AILIO. Mit 1 Karte und 8 Figuren im Text. April 1898	25: —
N:o 8.	Studier öfver Finlands torfmossar och fossila kvartärflora, af GUNNAR ANDERSSON. Med 21 figurer i texten och 216 figurer å 4 taflor. Deutsches Referat: Studien über die Torfmoore und die fossile Quartärflora Finnlands. Dec. 1899	60: —
N:o 9.	Esquisse hypsométrique de la Finlande, par J. J. SEDERHOLM. Avec 1 carte. Nov. 1899	25: —
N:o 10.	Les dépôts quaternaires en Finlande, par J. J. SEDERHOLM. Avec 2 figures dans le texte et 1 carte. Nov. 1899	25: —
* N:o 11.	Neue Mitteilungen über das Ijolithmassiv in Kuusamo, von VICTOR HACKMAN. Mit 2 Karten, 12 Figuren im Text und 4 Figuren auf einer Tafel. März 1900	25: —
* N:o 12.	Der Meteorit von Bjurböle bei Borgå, von WILHELM RAMSAY und L. H. BORGSTRÖM. Mit 20 Figuren im Text. März 1902	20: —
* N:o 13.	Bergbyggnaden i sydöstra Finland, af BENJ. FROSTERUS. Med 1 färglad karta, 9 taflor och 18 figurer i texten. Deutsches Referat: Der Gesteinsaufbau des südöstlichen Finnland. Juli 1902	70: —
N:o 14.	Die Meteoriten von Hvittis und Marjalahti, von LEON. H. BORGSTRÖM. Mit 8 Tafeln. April 1903	25: —
N:o 15.	Die chemische Beschaffenheit von Eruptivgesteinen Finnlands und der Halbinsel Kola im Lichte des neuen amerikanischen Systemes, von VICTOR HACKMAN. Mit 3 Tabellen. April 1905	30: —
N:o 16.	On the Cancrinite-Syenite from Kuolajärvi and a Related Dike rock, by I. G. SUNDELL. With one plate of figures. August 1905	15: —
N:o 17.	On the Occurrence of Gold in Finnish Lapland, by CURT FIRCKS. With one map, 15 figures and frontispiece. Nov. 1906	20: —
N:o 18.	Studier öfver Kvartärsystemet i Fenno-Scandias nordliga delar. I. Till frågan om Ost-Finmarkens glaciation och nivåförändringar, af V. TANNER. Med 23 bilder i texten och 6 taflor. Résumé en français: Études sur le système quaternaire dans les parties septentrionales de la Fenno-Scandia. I. Sur la glaciation et les changements de niveau du Finmark oriental. Mars 1907	50: —
* N:o 19.	Die Erzlagerstätten von Pitkäranta am Ladoga-See, von OTTO TRÜSTEDT. Mit 1 Karte, 19 Tafeln und 76 Figuren im Text. November 1907	120: —
N:o 20.	Zur geologischen Geschichte des Kilpisjärvi-Sees in Lappland, von V. TANNER. Mit einer Karte und zwei Tafeln. April 1907	15: —

* Epuisée.
Out of print.

N:o 21.	Studier öfver kvartärsystemet i Fennoskandias nordliga delar. II. Nya bidrag till frågan om Finnmarkens glaciation och nivåförändringar, af V. TANNER. Med 6 taflor. Résumé en français: Études sur la système quaternaire dans les parties septentrionales de la Fenno-Scandia. II. Nouvelles recherches sur la glaciation et les changements de niveau du Finnmark. Juni 1907	50: —
N:o 22.	Granitporfyr von Östersundom, von L. H. BORGSTRÖM. Mit 3 Figuren im Text und einer Tafel. Juni 1907	15: —
N:o 23.	Om granit och gneis, deras uppkomst, uppträdande och utbredning inom urberget i Fennoskandia, af J. J. SEDERHOLM. Med 8 taflor, en planteckning, en geologisk öfversiktskarta öfver Fennoskandia och 11 figurer i texten. English Summary of the Contents: On Granite and Gneiss, their Origin, Relations and Occurrence in the Pre-Cambrian Complex of Fenno-Scandia. With 8 plates, a coloured plan, a geological sketch-map of Fenno-Scandia and 11 figures. Juli 1907	50: —
N:o 24.	Les roches préquaternaires de la Fenno-Scandia, par J. J. SEDERHOLM. Avec 20 figures dans le texte et une carte. Juillet 1910	25: —
N:o 25.	Über eine Gangformation von fossilienführenden Sandstein auf der Halbinsel Långbergsöda-Öjen im Kirchspiel Saltvik, Åland-Inseln, von V. TANNER. Mit 2 Tafeln und 5 Fig. im Text. Mai 1911	15: —
N:o 26.	Bestimmung der Alkalien in Silikaten durch Aufschliessen mittelst Chlorkalzium, von EERO MÄKINEN. Mai 1911	10: —
N:o 27.	Esquisse hypsométrique de la Finlande, par J. J. SEDERHOLM. Avec une carte et 5 figures dans le texte. Juillet 1911	20: —
* N:o 28.	Les roches préquaternaires de la Finlande, par J. J. SEDERHOLM. Avec une carte. Juillet 1911	20: —
N:o 29.	Les dépôts quaternaires de la Finlande, par J. J. SEDERHOLM. Avec une carte et 5 figures dans le texte. Juillet 1911	20: —
* N:o 30.	Sur la géologie quaternaire et la géomorphologie de la Fenno-Scandia, par J. J. SEDERHOLM. Avec 13 figures dans le texte et 6 cartes. Juillet 1911	30: —
N:o 31.	Undersökning af porfyrblock från sydvästra Finlands glaciala aflagringer, af H. HAUSEN. Mit deutschem Referat. Mars 1912	20: —
N:o 32.	Studier öfver de sydfinska ledblockens spridning i Ryssland, jämte en översikt af is-recessionens förlopp i Ostbaltikum. Preliminärt meddelande med tvänne kartor, af H. HAUSEN. Mit deutschem Referat. Mars 1912	20: —
N:o 33.	Kvartära nivåförändringar i östra Finland, af W. W. WILKMAN. Med 9 figurer i texten. Deutsches Referat. April 1912	25: —
N:o 34.	Der Meteorit von St. Michel, von L. H. BORGSTRÖM. Mit 3 Tafeln und 1 Fig. im Text. August 1912	25: —
N:o 35.	Die Granitpegmatite von Tammela in Finland, von EERO MÄKINEN. Mit 23 Figuren und 13 Tabellen im Text. Januar 1913	30: —
N:o 36.	On Phenomena of Solution in Finnish Limestones and on Sandstone filling Cavities, by PENTTI ESKOLA. With 15 figures in the text. February 1913	25: —
N:o 37.	Weitere Mitteilungen über Bruchspalten mit besonderer Beziehung zur Geomorphologie von Fennoskandia, von J. J. SEDERHOLM. Mit einer Tafel und 27 Figuren im Text. Juni 1913	35: —
N:o 38.	Studier öfver Kvartärsystemet i Fennoskandias nordliga delar. III. Om landisens rörelser och afsmältning i finska Lappland och angränsande trakter, af V. TANNER. Med 139 figurer i texten och 16 taflor. Résumé en français: Études sur le système quaternaire dans les parties septentrionales de la Fenno-scandia. III. Sur la progression et le cours de la récession du glacier continental dans la Laponie finlandaise et les régions environnantes. Oktober 1915	150: —
N:o 39.	Der gemischte Gang von Tuutijärvi im nördlichen Finnland, von VICTOR HACKMAN. Mit 4 Tabellen und 9 Figuren im Text. Mai 1914	20: —
N:o 40.	On the Petrology of the Orijärvi region in Southwestern Finland, by PENTTI ESKOLA. With 55 figures in the text, 27 figures on 7 plates and 2 coloured maps. October 1914	75: —
N:o 41.	Die Skapolithlagerstätte von Laurinkari, von L. H. BORGSTRÖM. Mit 7 Figuren im Text. August 1914	15: —
N:o 42.	Über Camptonitgänge im mittleren Finnland, von VICTOR HACKMAN. Mit 3 Figuren im Text. Aug. 1914	15: —
N:o 43.	Kaleviska bottenbildningar vid Mölönjärvi, af W. W. WILKMAN. Med 11 figurer i texten. Résumé en français. Januari 1915	20: —

* Epuisée.
Out of print.

N:o 44.	Om sambandet mellan kemisk och mineralogisk sammansättning hos Orijärvi-traktens metamorfa bergarter, af PENTTI ESKOLA. Med 4 figurer i texten. With an English Summary of the Contents. Maj 1915	30:—
N:o 45.	Die geographische Entwicklung des Ladogasees in postglazialer Zeit und ihre Beziehung zur steinzeitlichen Besiedelung, von JULIUS AILIO. Mit 2 Karten und 51 Abbildungen. Dezember 1915	50:—
N:o 46.	Le gisement de calcaire cristallin de Kirmonniemi à Korpo en Finlande, par AARNE LAITAKARI. Avec 14 figures dans le texte. Janvier 1916	20:—
N:o 47.	Översikt av de prekambrisk bildningarna i mellersta Österbotten, av EERO MÄKINEN. Med en översiktskarta och 25 fig. i texten. English Summary of the Contents. Juli 1916	50:—
N:o 48.	On Synantetic Minerals and Related Phenomena (Reaction Rims, Corona Minerals, Kelyphite, Myrmekite, & c.), by J. J. SEDERHOLM. With 14 figures in the text and 48 figures on 8 plates. July 1916	60:—
N:o 49.	Om en prekalevisk kvartsitformation i norra delen av Kuopio socken, af W. W. WILKMAN. Med 7 figurer i texten. Résumé en français. Oktober 1916	15:—
N:o 50.	Geochronologische Studien über die spätglaziale Zeit in Südfinnland, von MATTI SAURAMO. Mit 4 Tafeln und 5 Abbildungen im Text. Januar 1918	30:—
N:o 51.	Einige Albitepidotgesteine von Südfinnland, von AARNE LAITAKARI. Mit 5 Abbildungen im Text. Januar 1918	15:—
N:o 52.	Über Theralit und Ijolit von Umptek auf der Halbinsel Kola, von TH. BRENNER. Mit 4 Figuren im Text. März 1920	15:—
N:o 53.	Einige kritische Bemerkungen zu Iddings' Classification der Eruptivgesteine, von VICTOR HACKMAN. Mit 3 Tabellen. September 1920	15:—
N:o 54.	Über die Petrographie und Mineralogie der Kalksteinlagerstätten von Parainen (Pargas) in Finnland, von AARNE LAITAKARI. Mit 3 Tafeln und 40 Abbildungen im Text. Januar 1921	30:—
N:o 55.	On Volcanic Necks in Lake Jänisjärvi in Eastern Finland, by PENTTI ESKOLA. With 1 figure. Januar 1921	15:—
N:o 56.	Beiträge zur Paläontologie des nordbaltischen Silurs im Ålandsgebiet, von ADOLF A. TH. METZGER. Mit 2 Abbildungen im Text. Oktober 1922	15:—
N:o 57.	Petrologische Untersuchungen der granito-dioritischen Gesteine Süd-Ostbothniens, von HEIKKI VÄYRYNEN. Mit 20 Figuren im Text und 1 Karte. Februar 1923	25:—
N:o 58.	On Migmatites and Associated Pre-Cambrian Rocks of Southwestern Finland, I. The Pellingie Region, by J. J. SEDERHOLM. With one map, 64 figures in the text and 31 figures on VIII plates. November 1923	60:—
N:o 59.	Über den Quarzit von Kallinkangas, seine Wellenfurchen und Trockenrisse. Nach hinterlassenen Aufzeichnungen von HUGO BERGHELL zusammengestellt und ergänzt von VICTOR HACKMAN. Mit 19 Figuren im Text. April 1923	15:—
N:o 60.	Studies on the Quaternary Varve Sediments in Southern Finland, by MATTI SAURAMO. With 22 figures in the text, 12 figures, 1 map and 2 diagrams on 10 plates. September 1923	50:—
N:o 61.	Der Pyroxengranodiorit von Kakskerta bei Åbo und seine Modifikationen, von VICTOR HACKMAN. Mit 2 Figuren und 1 Karte im Text. April 1923	15:—
N:o 62.	Tohmajärvi-konglomeratet och dess förhållande till kaleviska skifferformationen, av W. W. WILKMAN. Med 15 figurer och en karta. Deutsches Referat. September 1923	20:—
N:o 63.	Über einen Quarzsyenitporphyr von Saariselkä im finnischen Lappland, von VICTOR HACKMAN. Mit 2 Figuren im Text. Mai 1923	15:—
N:o 64.	Die jatulischen Bildungen von Suojärvi in Ostfinnland, von ADOLF A. TH. METZGER. Mit 38 Abbildungen im Text, 1 Taf. u. 1 Karte. Januar 1924	30:—
N:o 65.	Über die Petrologie des Otravaaragebietes im östlichen Finnland, von MARTTI SANÉN. Mit zwei Karten, 13 Abbildungen im Text und 5 Figg. auf 1 Tafel. Dezember 1923	30:—
N:o 66.	On Relations between Crustal Movements and Variations of Sea-Level during the Late Quaternary Time, especially in Fennoscandia, by WILHELM RAMSAY. With 10 figures in the text. February 1924	20:—
N:o 67.	Tracing of Glacial Boulders and its Application in Prospecting, by MATTI SAURAMO. With 12 figures in the text. March 1924	20:—
N:o 68.	Jordskredet i Jaarila, av V. TANNER. Med 2 figurer och 10 Bilder. Résumé en français. Juni 1924	15:—

N:o 69.	Die postglaziale Geschichte des Vanajavesisees, von VÄINÖ AUER. Mit 10 Textfiguren, 10 Tafeln und 11 Beilagen. Juli 1924	50:—
N:o 70.	The Average Composition of the Earth's Crust in Finland, by J. J. SEDERHOLM	20:—
N:o 71.	Om diabasgångar i mellersta Finland, av W. W. WILKMAN. Med 8 figurer och en karta. Deutsches Referat. November 1924	20:—
N:o 72.	Das Gebiet der Alkaligesteine von Kuolajärvi in Nordfinnland, von VICTOR HACKMAN. Mit 6 Figuren im Text, 12 Tabellen und einer Tafel. Februar 1925	30:—
N:o 73.	Über das jotnische Gebiet von Satakunta, von AARNE LAITAKARI. Mit einer Karte und 14 Abbildungen im Text. Juli 1925	30:—
N:o 74.	Die Kalksteinlagerstätten von Ruskeala in Ostfinnland, von ADOLF A. TH. METZGER. Mit 9 Abbildungen und 2 Karten im Text. Aug. 1925	20:—
N:o 75.	Ueber die kambrischen Sedimente der karelischen Landenge, von BENJ. FROSTERUS. Mit 1 Figur und 9 Tabellen im Text. Sept. 1925	30:—
N:o 76.	Über die präquartäre Geologie des Petsamo-Gebietes am Eismeere, von H. HAUSEN. Mit einer geologischen Übersichtskarte und 13 Figuren im Text sowie 2 Tafeln mit 12 Mikrophotographien. Juni 1926	30:—
N:o 77.	On Migmatites and Associated Pre-Cambrian Rocks of Southwestern Finland. Part II. The Region around the Baröunds fjärd W. of Helsingfors and Neighbouring Areas, by J. J. SEDERHOLM. With one map, 57 figures in the text and 44 figures on IX plates. Dec. 1926	60:—
N:o 78.	Geologische und petrographische Untersuchungen im Kainuugebiet, von HEIKKI VÄYRYNEN. Mit 37 Figuren im Text, 12 Figuren auf 2 Tafeln und 2 Karten. Februari 1928	40:—
N:o 79.	Studien über den Gesteinsaufbau der Kittilä-Lappmark, von VICTOR HACKMAN. Mit 2 Tafeln, 2 Karten und 23 Figuren im Text. Dec. 1927	40:—
N:o 80.	Über die spätglazialen Niveaushiftungen im Nordkarelien, Finnland, von MATTI SAURAMO. Mit 8 Figuren im Text; 11 Figuren, 1 Karte und Profildia-gramm auf 7 Tafeln. Juni 1928	15:—
N:o 81.	On the Development of Lake Höytiäinen in Carelia and its Ancient Flora, by MATTI SAURAMO and VÄINÖ AUER. With 20 figures in the text and 4 plates. März 1928	14:—
N:o 82.	Über Wiikit, von LAURI LOKKA. Mit 12 Abbildungen und 21 Tabellen im Text. März 1928	30:—
N:o 83.	On Orbicular Granites, Spotted and Nodular Granites etc. and on the Rapakivi Texture, by J. J. SEDERHOLM. With 19 figures in the text and 50 figures on 16 plates. September 1928	50:—
N:o 84.	Über das Verhältnis der Ose zum höchsten Strand, von MATTI SAURAMO. Mai 1928	10:—
N:o 85.	Suomen Geologisen Seuran julkaisu — Meddelanden från Geologiska Sällskapet i Finland — Comptes rendus de la Société géologique de Finlande, 1. Avec 1 stéréogramme. Février 1929	40:—
N:o 86.	The Quaternary Geology of Finland, by MATTI SAURAMO. With 39 figures in the text, 42 figures on 25 plates and 1 map. January 1929	60:—
N:o 87.	Suomen Geologisen Seuran julkaisu — Meddelanden från Geologiska Sällskapet i Finland — Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande, 2. Avec 48 figures dans le texte et 6 planches. Juin 1929	70:—
N:o 88.	Studier över kvartärsystemet i Fennoskandias nordliga delar. IV. Om nivåförändringarna och grundragen av den geografiska utvecklingen efter istiden i Ishavsfinland samt om homotaxin av Fennoskandias marina avlagringar, av V. TANNER. Med 84 figurer i texten och 4 tavlor. Résumé en français. September 1930	150:—
N:o 89.	Beiträge zur Kenntnis der Svecofenniden in Finnland. I. Übersicht über die Geologie des Felsgrundes im Küstengebiet zwischen Helsingfors und Onas, von C. E. WEGMANN. II. Petrologische Übersicht des Küstengebietes E von Helsingfors, von E. H. KRANCK. Mit 32 Fig. auf 16 Taf., 4 Textfiguren und einer Übersichtskarte im Masstabe 1 : 75 000. Juni 1931	40:—
N:o 90.	Geologie des Soanlahtigebietes im südlichen Karelien. Ein Beitrag zur Kenntnis der Stratigraphie und tektonischen Verhältnisse der Jatulfornation, von H. HAUSEN. Mit 23 Figuren im Text, 12 Figuren auf 4 Tafeln und einer geologischen Übersichtskarte im Masstab 1 : 80 000. April 1930	50:—
N:o 91.	Pre-Quaternary rocks of Finland. Explanatory notes to accompany a general geological map of Finland, by J. J. SEDERHOLM. With a map and 40 figures in the text. August 1930	30:—

N:o 92.	Suomen Geologisen Seuran julkaisuja — Meddelanden från Geologiska Sällskapet i Finland — Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande, 3. Avec 29 figures dans le texte et 3 planches. Novembre 1930	50:—
N:o 93.	Suomen Geologisen Seuran julkaisuja — Meddelanden från Geologiska Sällskapet i Finland — Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande, 4. Avec 12 figures dans le texte et 6 planches. Avril 1931	40:—
N:o 94.	Mineraljorderternas fysikaliska egenskaper, av THORD BRENNER. Med 22 textfigurer. Deutsches Referat. Juin 1931	70:—
N:o 95.	On the Sub-Bothnian Unconformity and on Archæan Rocks Formed by Secular Weathering, by J. J. SEDERHOLM. With one map and 62 figures in the text. November 1931	50:—
N:o 96.	On the Physiography and Late-Glacial Deposits in Northern Lapland, by ERKKI MIKKOLA. With 25 figures in the text and 5 plates. May 1932	50:—
N:o 97.	Suomen Geologisen Seuran julkaisuja — Meddelanden från Geologiska Sällskapet i Finland — Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande, 5. Avec 15 figures dans le texte. Mai 1932	40:—
N:o 98.	On the Geology of Fennoscandia, by J. J. SEDERHOLM. With a map and a table. May 1932	30:—
N:o 99.	The Problems of the Eskers. The Esker-like Gravel Ridge of Čahpatoaiv, Lapland, by V. TANNER. With 2 plates and 1 map. September 1932	15:—
N:o 100.	Über die Bodenkonfiguration des Päijänne-Sees, von J. J. SEDERHOLM. Mit einer Tiefenkarte und 3 Figuren im Texte. Juni 1932	50:—
N:o 101.	Suomen Geologisen Seuran julkaisuja — Meddelanden från Geologiska Sällskapet i Finland — Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande, 6. Avec 17 figures dans le texte. Avril 1933	50:—
N:o 102.	Compte rendu de la Réunion internationale pour l'étude du Précambrien et des vieilles chaînes de montagnes, rédigé par C. E. WEGMANN et E. H. KRANCK, publié par J. J. SEDERHOLM. Mai 1933	30:—
N:o 103.	Suomen Geologisen Seuran julkaisuja — Meddelanden från Geologiska Sällskapet i Finland — Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande, 7. Avec 2 figures dans le texte. Août 1933	25:—
N:o 104.	Suomen Geologisen Seuran julkaisuja — Meddelanden från Geologiska Sällskapet i Finland — Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande, 8. Avec 33 figures dans le texte. Mai 1934	55:—
N:o 105.	Neuere chemische Analysen von finnischen Gesteinen, von LAURI LOKKA. September 1934	30:—
N:o 106.	Das Rapakiwiranagebiet der Gegend von Lappeenranta (Willmanstrand), von VICTOR HACKMAN. Mit 15 Textfiguren, 6 Figuren auf 2 Tafeln, einer Analysentabelle und einer Karte in Farbendruck. October 1934	35:—
N:o 107.	On Migmatites and Associated Pre-Cambrian Rocks of Southwestern Finland. Part III. The Åland Islands, by J. J. SEDERHOLM †. With two maps and 43 figures in the text. December 1934	40:—
N:o 108.	Paraitra prochainement	
N:o 109.	Über die Mineralparagenesis der Kieserze in den Gebieten von Outokumpu und Polvijärvi, von HEIKKI VÄYRYNEN. Mit 7 Textfiguren und 1 Karte. Mai 1935	20:—
N:o 110.	Über den geologischen Bau Süd-Ostbothniens, von MARTTI SAKSELA. Mit 1 Titelbild, 11 Textfiguren, 4 Fig. auf 1 Tafel und 1 Karte. Avril 1935	25:—







