

## Beiträge zur Mineralogie und Geochemie der Pegmatite des St. Radegunder Kristallins und der Gleinalpe

Von FRIEDRICH KOLLER, MICHAEL A. GÖTZINGER, RICHARD NEUMAYER & GERHARD NIEDERMAYER\*

Mit 13 Abbildungen und 8 Tabellen

Steiermark  
Mittelostalpin  
Altkristallin  
Pegmatite  
Beryll  
Spodumen  
Geochemie

Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blätter 132, 133, 134, 162, 163, 164

### Inhalt

Zusammenfassung, Summary	47
1. Einleitung und Problemstellung	48
2. Geologische Stellung und regionale Übersicht	48
2.1. Das Kristallin von St. Radegund	48
2.2. Das Kristallin der Gleinalpe	50
3. Beschreibung und Mineralogie der Pegmatite	50
4. Geochemische Untersuchungen	53
4.1. Beryllium und Lithium	53
4.2. Fluor	62
5. Diskussion und Schlußfolgerung	63
Literatur	64

### Zusammenfassung

Die Pegmatite des St. Radegunder Kristallins und des Gleinalm-Kristallins (Stmk., Österreich; Bestandsaufnahme, Abb. 1 und 2) werden auf ihre Mineralführung, besonders auf Lithium- und Beryllium-Mineralien untersucht. Die Pegmatite (Gänge und Linsen) sind Schiefergneiskomplexen, Glimmerschiefern sowie den Hüllgesteinen des Gleinalpenkernes eingelagert. Auffällig ist die Ähnlichkeit der Pegmatite beider Gebiete bezüglich ihres Auftretens, der metamorphen Überprägung und des Mineralinhaltes (Kalifeldspat, Albit, Quarz, Muskovit, Turmalin, Granat; Spodumen, Beryll, selten Apatit).

Die Gesamtgesteins-Lithiumgehalte liegen beim Großteil der Proben unter 20 ppm ( $\bar{x} = 9 \pm 5$ ), dies entspricht dem Untergrundwert der untersuchten Pegmatite. Weitere zwei Häufigkeitsmaxima liegen bei  $70 \pm 50$  ppm und  $8275 \pm 763$  ppm; der letztere Wert stammt von Spodumenpegmatiten.

Die Gesamtgesteins-Berylliumgehalte gipfeln in zwei Häufigkeitsmaxima. Der Untergrundwert beträgt  $\bar{x} = 2,6 \pm 1,8$  ppm; einzelne Pegmatite, darunter die Spodumenpegmatite, enthalten zwischen 150 und 200 ppm, Spitzen bis 800 ppm Be. Reine Beryllpegmatite fehlen in beiden Untersuchungsgebieten.

Der hauptsächliche Lithiumeinbau erfolgt im Muskovit (bis 650 ppm Li), in den Muskoviten der Spodumenpegmatite bis 2500 ppm Li. In Kalifeldspat-Albit-Paaren ist Kalifeldspat immer Li-reicher ( $Li_{Ab}/Li_{Kfs} = 0,53$ ).

Die Berylliumgehalte in den Mineralen sind sehr niedrig. In Kalifeldspat-Albit-Paaren ist der Albit Be-reicher ( $Be_{Ab}/Be_{Kfs} = 3,5$ ). Die Spurenelementgehalte aller untersuchten Pegmatite sind gering, sodaß mit wirtschaftlich interessanten Mineralanreicherungen (Xenotim, Zirkon, Columbit, U-Th-Mineralien) nicht gerechnet wird.

Die Gesamtgesteins-Fluorgehalte liegen im Mittel bei  $160 \pm 82$  ppm. Hauptsächlichster Fluorträger ist Muskovit; hingegen ist Apatit sehr selten. In Li-armen Pegmatiten enthalten die Muskovite durchschnittlich  $1044 \pm 365$  ppm F, in Li-reichen Pegmatiten durchschnittlich  $2400 \pm 571$  ppm F, damit ist eine positive Korrelation zwischen Fluor und Lithium (im Muskovit) nachgewiesen.

Einzelne Pegmatite erscheinen in ihrer Spodumenführung Aussicht auf eine mögliche wirtschaftliche Nutzung zu besitzen.

### Summary

Pegmatites (map of occurrences fig. 1 & 2) of the St. Radegund- and the Gleinalpe crystalline complexes (Styria, Austria) are investigated for Li- and Be-bearing minerals. The pegmatites are in form of veins and lenses intercalated in foliated gneisses, mica schists and in the enclosing rocks of the Gleinalm core. Remarkable are the similarities of these pegmatites in occurrence, metamorphic deformation and mineral contents (K-feldspar, albite, quartz, muscovite, tourmaline, garnet; spodumene, beryll and sometimes apatite).

The Li-content in the majority of the pegmatite-samples is below 20 ppm (av.  $9 \pm 5$ ), which can be regarded as background level for the investigated pegmatites. The Li-maxima in the pegmatites are bimodally distributed containing  $70 (\pm 50)$  and  $8275 (\pm 763)$  ppm. The latter one corresponds with the spodumene-pegmatites.

The Be-distribution of the samples is bimodal as well, but the mean-background value is  $2,6 \pm 1,8$  ppm. Some pegmatite-

\*) Anschriften der Autoren: Dr. FRIEDRICH KOLLER (Projektleiter), Institut für Petrologie der Universität Wien, Dr. Karl Lueger-Ring 1, A-1010 Wien; Dr. MICHAEL A. GÖTZINGER, Institut für Mineralogie und Kristallographie der Universität Wien, Dr. Karl Lueger-Ring 1, A-1010 Wien; Dr. RICHARD NEUMAYER, Taubstummengasse 3/31, A-1040 Wien; Dr. GERHARD NIEDERMAYER, Naturhistorisches Museum, Mineralogisch-Petrographische Abteilung, Burgring 7, A-1014 Wien.

tes, including the spodumene bearing ones, contain 150–200 ppm Be; highest contents are up to 800 ppm Be, but pure Be-pegmatites are missing in both areas investigated.

Most of the Li is found in muscovites (up to 650 ppm), in muscovites of spodumene-pegmatites even up to 2500 ppm Li. In adjacent K-feldspar-albite the Kfsp generally contains more Li than albite ( $Li_{Ab}/Li_{Kfsp} = 0,53$ ).

The Be-contents in the minerals are quite low. In adjacent K-feldspar-albite the albite is always enriched in Be ( $Be_{Ab}/Be_{Kfsp} = 3,5$ ). Concentrations of economically important minerals (xenotime, zircon, columbite and U-Th-minerals) are not expected as the general trace-element contents are low.

The mean F-value in the pegmatite samples is  $160 \pm 82$  ppm. The majority of the present fluorine is found in muscovites, whereas apatite is very rare. Muscovites of Li-poor pegmatites have mean F-values of  $1044 \pm 365$  ppm F, whereas Li-rich pegmatites have muscovites with mean F-values of  $2400 \pm 571$  ppm. These analyses demonstrate the positive correlation between F and Li (in these muscovites).

Some of these pegmatites seem to have economic-potential for spodumene exploitation.

## 1. Einleitung und Problemstellung

Ziele der vorliegenden Arbeit waren einerseits eine Bestandsaufnahme der Pegmatite im Radegunder- und Gleinalm-Kristallin, andererseits die Prüfung auf Beryllium- und Lithiumminerale in diesen Gesteinskörpern, mit Hinblick auf eine mögliche Nutzung dieser Rohstoffe. Als Grundlage für die Aufnahmen dienten vorhandene geologische Karten sowie Hinweise aus der Literatur. Darüber hinaus ergaben sich während der Bearbeitungen einige Pegmatit-Neufunde. Einen wesentlichen Anteil nimmt neben den Untersuchungen über die Mineralführung der Pegmatite die geochemische Verteilung des Berylliums und Lithiums ein, wobei aus Interessensgründen (außerhalb des Projektauftrages) die Fluorverteilung in ausgewählten Proben und deren Mineralen mitbehandelt wurde.

Die Arbeit erfolgte im Rahmen der Erfüllung des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Bundesministeriums für Handel, Gewerbe und Industrie sowie des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung; Projekt Nr. StA 17, „Geologische petrologische Untersuchungen der Pegmatite von St. Radegund sowie im Bereich der Gleinalpe, Steiermark“.

## 2. Geologische Stellung und regionale Übersicht

### 2.1. Das Kristallin von St. Radegund

Das Kristallin von St. Radegund (ein ungefähr 15 km langer und 6 km breiter Streifen) wird im Süden und im Osten von den tertiären Sedimenten des Steirischen Beckens, im Norden und Nordosten von der Schöckldecke des Grazer Paläozoikums überlagert (SCHÖNLAUB & OBERHAUSER, 1980). Das Radegunder Kristallin, von TOLLMANN (1977) als mittelostalpine, tektonische Unterlage im Süden des Grazer Paläozoikums aufgefaßt, wird von ROBITSCH (1949) in eine tiefere Gneis- und in eine höhere Glimmerschieferereinheit eingeteilt. Die erstere umfaßt helle Schiefergneise mit Einschaltungen von Biotitquarziten, Silikatmarmoren und Zoisit- bzw. Plagioklasamphiboliten. Der höhere Komplex besteht aus Granatglimmerschiefern (z. T. staurolithführend) und Amphiboliten sowie Kalksilikatschiefern.

Das Kristallin von St. Radegund wird üblicherweise als nordöstliche Fortsetzung des Koralmkristallins angesehen (KUNTSCHNIG, 1927; TOLLMANN, 1977). Dies wird vor allem aus dem Vergleich der Metamorpho-

seentwicklung des Radegunder Kristallins hergeleitet, jedoch kann sich NEUWIRTH (1951) im Zuge seiner Bearbeitung der Amphibolite dieser Auffassung nicht anschließen. Er sieht im Gegensatz dazu bessere Vergleichsmöglichkeiten mit den Gesteinen des Gleinalmkristallins. Schon ROBITSCH (1949) fordert für die obere Glimmerschieferereinheit eine mit dem Gleinalmkristallin äquivalente Metamorphoseentwicklung. Nur für die tiefere Gneiseinheit findet er eine mit dem Koralmkristallin vergleichbare Metamorphose.

Schon wiederholt wurde auf die im Radegunder Kristallin sehr zahlreichen Pegmatitvorkommen hingewiesen (MACHATSCHKI, 1927; ANGEL, 1933; ROBITSCH, 1949). Diese treten bevorzugt in dem Gneiskomplex auf, fehlen aber auch in der Glimmerschieferserie nicht. Nach ROBITSCH (1949) bilden sie Schwärme und vereinzelte Lagen und Linsen sowie stockförmige Körper. Weiters beschreibt ROBITSCH (1949) noch pegmatitische Ultramylonite mit feinem, unauflösbarem Grundgewebe. Er vergleicht die zerscherten Pegmatite mit den „Rinnegger Schiefern“, die er als pegmatoid injizierte Schiefergneise deutet. Sie sind gekennzeichnet durch das Auftreten von Biotit.

Nach unseren Untersuchungen ist der überwiegende Teil der Pegmatite gangförmig oder in der Form größerer Linsen, die jedoch stets S-parallel zu den Glimmerschiefern angeordnet sind. Öfters finden sich auch mehrere, zueinander parallele Pegmatitzüge. Die größeren Körper erscheinen in der Form boudinierter Linsen und erwecken den Eindruck eines einstigen Zusammenhanges (ehemalige mächtige Gänge). Geschlossene Pegmatitkörper, wie sie von ROBITSCH (1949) – in seiner Karte vor allem westlich St. Radegund – eingezeichnet wurden, konnten nicht gefunden werden. Das mit  $5^\circ$  bis  $40^\circ$ , bei einem Mittelwert von unter  $20^\circ$  sehr flache Einfallen nach Süden dieser NE–SW streichenden Pegmatitgänge und -linsen täuscht eine scheinbare Ausbildung stockförmiger Körper vor. Die bessere Verwitterungsresistenz der Pegmatite gegenüber den Glimmerschiefern bevorzugt die Ausbildung von Geländestufen und Blockwerkbildungen, die im Raum St. Radegund ein häufiges morphologisches Element darstellen. In vielen Fällen kann aufgrund der weit verbreiteten Pegmatitblockschüttung in dem ansonst aufschlußarmen Gebiet nicht eindeutig geklärt werden, ob ein oder mehrere Gänge vorliegen. Auch Riesenblöcke von mehreren Zehnerkubikmetern liegen vielfach nicht mehr am eigentlichen Gangausbiß. Besonders nachteilig wirken sich jene stark tektonisch beanspruchten Pegmatitkörper aus, deren Feingrus (Korngröße im Zentimeterbereich) weit über die Hänge verteilt ist. Bei einer Lesestein-Kartierung, wie sie in diesem Bereich häufig notwendig ist, wird dadurch ein wesentlich größeren Vorkommen vorgetäuscht.

Abbildung 1 stellt die geologische Übersicht im Raum von St. Radegund dar. Die einzelnen Probenpunkte zeigen, daß alle Gesteinsserien Pegmatite führen. Jene Bereiche, die diffus verstreuten Pegmatitgrus und -blockwerk führen, wurden ebenfalls eingezeichnet. Das dichte Netzwerk von Probenpunkten belegt die ungewöhnlich hohe Pegmatithäufigkeit am Westrand der Kristallininsel von St. Radegund. Gegen Süden, in Richtung Rinnegg, verschwinden die Pegmatite als markante Gesteine, ihr Fehlen kann möglicherweise in den schlechten Aufschlußverhältnissen begründet sein. Auch im Bereich Plenzenreith im NE-Teil der Kristallin-

insel wurden keine größeren Pegmatite aufgefunden. Ebenso nimmt nach Osten hin die Häufigkeit der Pegmatite deutlich ab, größere Körper scheinen zu fehlen. Im Bereich östlich Willersdorf liegen besonders

schlechte Aufschlußverhältnisse vor. Auf eine Darstellung dieser an Pegmatiten armen Bereiche wurde verzichtet.

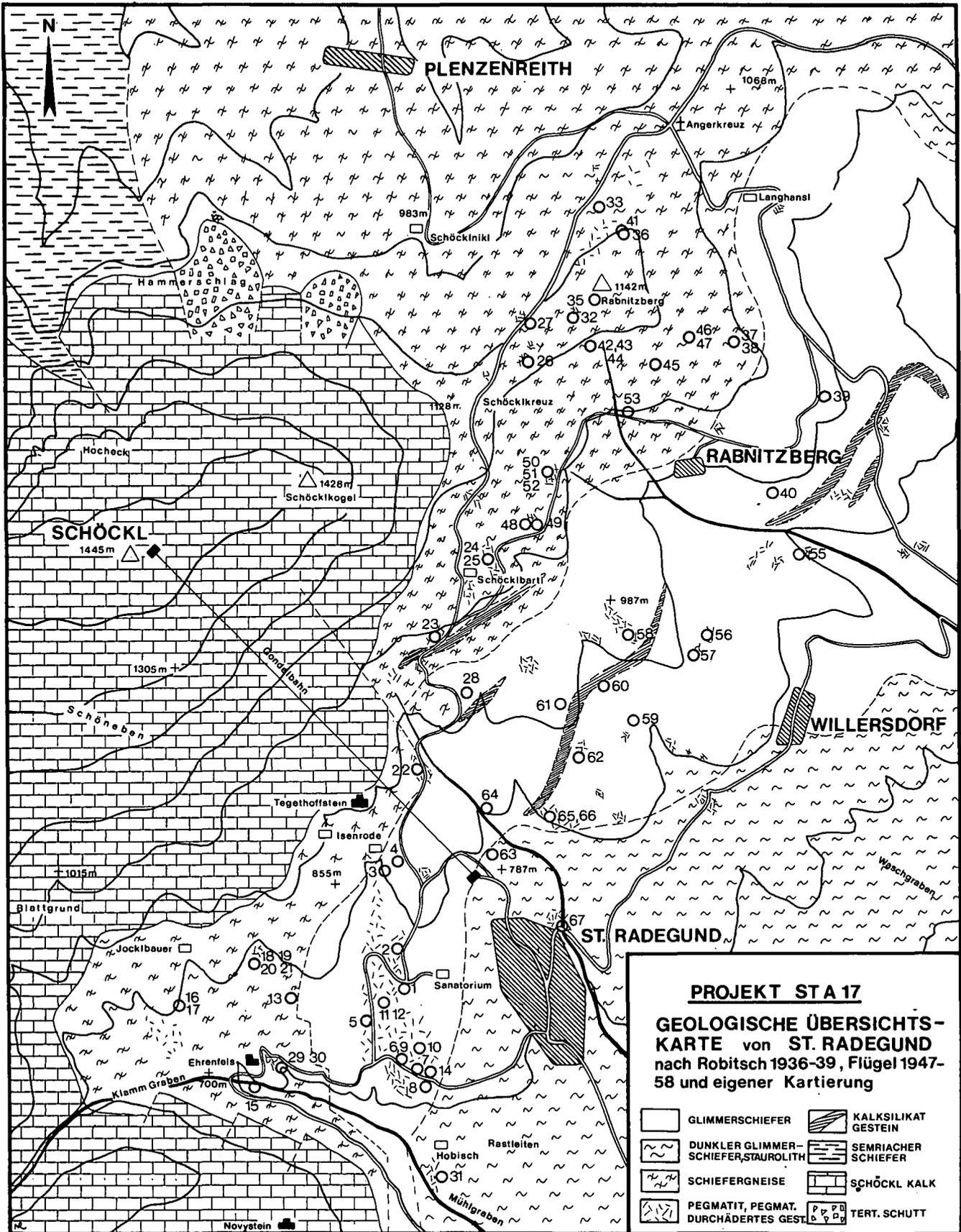


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte von St. Radegund und Umgebung (nach ROBITSCH, 1949; FLÜGEL, 1960 und eigener Kartierung) mit eingetragenen Probenpunkten (Ra 1 – Ra 67). Die aufgetragene Strecke der Gondelbahn entspricht 2000 m.

## 2.2. Das Kristallin der Gleinalpe

Die Gleinalpe stellt die nördliche Fortsetzung der Stubalpe dar und liegt nach TOLLMANN (1977) als ein SW–NE streichendes Antiklinorium vor. Sie wird im Süden durch das tektonisch aufgelagerte Grazer Paläozoikum begrenzt. Der Nordrand wird durch den Mugel-Rennfeldzug gebildet, der als Fortsetzung des Seckauer Kristallins gedeutet wird (SCHARBERT, 1980). Nach BECKER & SCHUMACHER (1973) werden sowohl Stub- als auch Gleinalpe von gleichen Gesteinsserien aufgebaut.

Der Kern der Gleinalpe besteht aus gebänderten Plagioklasgneisen mit straffer, eng gebänderter Amphibolit-Wechselagerung. FRANK et al. (1976) haben für die Plagioklasgneis-Amphibolit-Wechselagerung des Gleinalpenkernes altpaläozoisches Alter nachgewiesen und interpretieren diese Gesteine als vulkanogene Serie mit alternierenden basaltischen und sauren Lagen. In den Plagioklasgneisen finden sich Einschaltungen von Gneisen mit granitischer bis granodioritischer Zusammensetzung, die von HERITSCH (1963) als anatektische Schmelzen gedeutet werden.

Über dem Gleinalpenkern liegt eine bis 3000 m mächtige Schieferhülle (TOLLMANN, 1977). Der untere Teil dieser Schieferhülle besteht aus einer etwa 1000 m mächtigen Serie, die vorwiegend aus Muskovit-Glimmerschiefern, Almandin-Disthen-Schiefern und aus Metabasiten sowie Ultrabasiten besteht. In geringen Mengen finden sich granodioritische Gneise sowie aplitische und pegmatitische Gesteine. Die obere Schieferhülle wird von BECKER & SCHUMACHER (1973) als Marmor-Pegmatit-Glimmerschieferserie bezeichnet. Sie führt neben mächtigen Marmoren, Disthen- und Staurolith-Glimmerschiefern sowie einzelnen Amphiboliten auch Pegmatite und Pegmatitgneise. BECKER (1977) vermutet für diese Serie devonisches bis silurisches Alter, SCHARBERT (1980) nimmt für einzelne Teile bereits ordovizisches Alter an. Über den genannten Serien liegt diskordant die bis 4000 m mächtige, vom Süden syntetamorph überschobene pegmatoide Gneisserie. Diese stellt nach SCHARBERT (1980) eine Verbindung zu den Gesteinen der Koralpe dar. Der Inhalt dieser Serie besteht aus Staurolithgneisen, Disthenflasergneisen und pegmatoiden Glimmerschiefern mit Pegmatiten und Marmorbändern.

Gegenüber dem Kristallin von St. Radegund fällt auf, daß Pegmatitvorkommen wesentlich seltener sind. Sie beschränken sich auf einzelne Züge in den Hüllgesteinen der Gleinalpe. Allerdings sind auch hier die Pegmatite S-parallel eingelagert und können meist auf einige hundert Meter zusammenhängend verfolgt werden. Die schlechten Aufschlußverhältnisse führen dazu, daß die Pegmatite vorwiegend in Form grober Blockwerke auftreten. Vielfach lassen deshalb die Aufschlüsse keine ausreichenden Aussagen über die Mächtigkeiten der Pegmatitgänge zu.

Im zentralen Gneiskern konnten keine größeren Pegmatitkörper gefunden werden, weite Bereiche sind auch völlig frei von Pegmatitrollstücken. Der von FLÜGEL (1960) bei der Ruine Hauenstein (NNW Kainach) eingezeichnete Pegmatitzug war an beiden Talflanken nicht aufgeschlossen, es wurden nur Lesesteine aufgefunden. Eine größere Häufigkeit von Pegmatitvorkommen ist nur aus dem Bereich nördlich Übelbach, im Raume Zeltweg sowie südlich von Leoben festgestellt worden. In Abb. 2 sind in einer geologischen Übersichtskarte

(nach METZ, 1966) die festgestellten und beprobten Pegmatitvorkommen eingezeichnet.

## 3. Beschreibung und Mineralogie der Pegmatite

Die ersten umfassenden Angaben über Pegmatite der Mittelsteiermark gibt MACHATSCHKI (1927). Er beschreibt unter anderem einen Granat-Turmalin-Pegmatit der Lokalität „Schöcklbartl“, nördlich von St. Radegund und weist auf eine starke mechanische Beanspruchung und kataklastische Überprägung hin. Er beschreibt die Mineralphasen Turmalin, Muskovit, Albit sowie Granat und gibt einzelne Mineralanalysen an. Weitere Angaben zu den Mineralvorkommen in den Pegmatiten der Kristallinsel von St. Radegund findet man bei ANGEL et al. (1939). In dieser Arbeit werden die Gesteine von St. Radegund einschließlich der Pegmatite in der Schieferserie beschrieben. Gleichzeitig wird der Versuch unternommen, die Pegmatite unter Einbeziehung ihrer Übergangsteile zu klassifizieren; folgende Unterteilung wurde getroffen:

1. Gemeine Pegmatite und Schriftgranit-Pegmatite
2. Beryll-Pegmatite (Isenrode, Höf, Rabnitzberg)
3. Schörl-Pegmatite (SW St. Radegund)
4. Granat-Pegmatite
5. Spodumen-Pegmatite (Schöcklbartl, Schöcklkreuz, Rabnitzberg)
6. Biotit-Pegmatite.

In dieser Arbeit wurden erstmals ausführlicher die Minerale Beryll und Spodumen beschrieben, es fehlen jedoch Mengen- und Vorratsangaben. Auch auf das Fehlen von Phosphatmineralien wurde hingewiesen. ROBITSCH (1949) erfaßte die Pegmatite von St. Radegund kartenmäßig und unterschied Pegmatite und Pegmatit-ultramylonite. In weiterer Folge scheinen diese Vorkommen erschöpft bzw. in Vergessenheit geraten zu sein, von Neufunden wird nur gelegentlich berichtet (FRIEDRICH, 1951).

Im Gegensatz dazu werden im benachbarten Kristallin der Koralpe spodumenführende Pegmatite aufgefunden und beschrieben (HÖLLER, 1959; POSTL & GOLOB, 1979). In diesen und anderen Pegmatiten wurden noch Ilmenorutil, Columbit und Zinnstein sowie akzessorische Uranminerale wie Autunit, Torbenit und U-hältiger gelbgrün fluoreszierender Opal (WEISSENSTEINER, 1975; POSTL, 1978; POSTL & GOLOB, 1979) beschrieben.

Obwohl ANGEL et al. (1939) bereits auf die Ähnlichkeiten der Pegmatite von St. Radegund und jenen Vorkommen aus der südlichen Schieferhülle des Gleinalpenkristallines hinwiesen, fehlen jedoch bisher Spodumenvorkommen, auch ein häufigeres Auftreten von Beryll konnte nicht beobachtet werden. Die wenigen Beryllfunde blieben meist Einzelfunde, so berichten MACHATSCHKI (1927) über einen Beryllfund in den südlichen Ausläufern der Stubalpe (westlich Köflach), KREBERNIK (1959) über die Beryllvorkommen im Bezirk Voitsberg; ähnliche Angaben macht ALKER (1956). ANGEL (1933) berichtet über ein Beryllvorkommen vom Prettentaler nordöstlich von Übelbach, Beryll ist demnach in diesen Pegmatitvorkommen sehr selten.

Die untersuchten Pegmatite wurden, soweit es die Aufschlußverhältnisse zuließen, möglichst einheitlich beprobt. Es wurden alle unterschiedlichen Pegmatittypen eines Körpers mit repräsentativen Handstücken bemustert. Nur in Einzelfällen – bereits im Gelände erkannter Spodumenführung – wurden Großproben (Ra

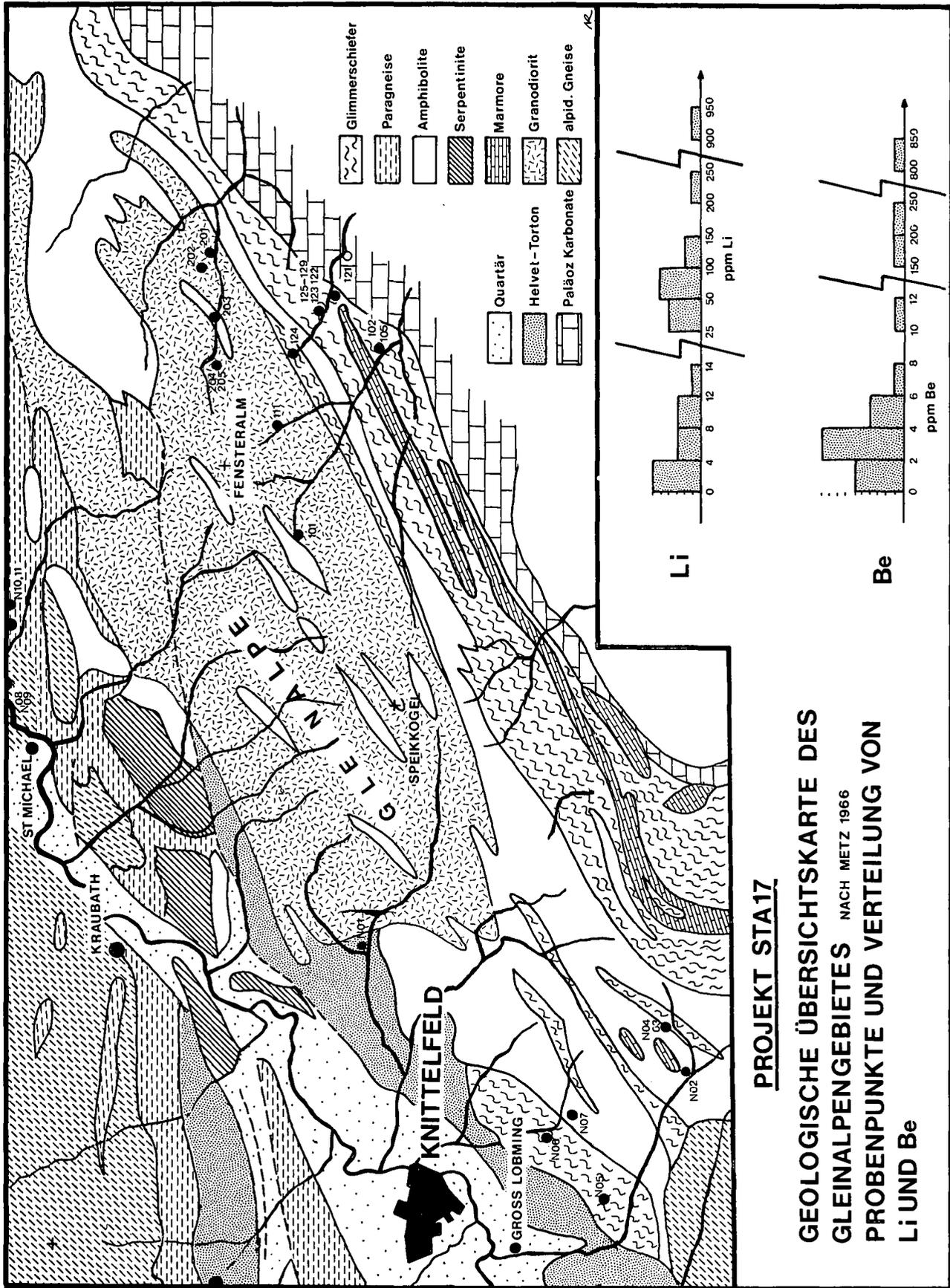


Abb. 2: Geologische Übersichtskarte des Gleinalpengebietes (nach METZ, 1968) mit eingetragenen Probenpunkten und Häufigkeitshistogramm der Li- und Be-Gehalte.

36, Ra 15) bis 50 kg gewonnen. Für die Auswahl der aufgesammelten Proben zur weiteren Bearbeitung wurden folgende Gesichtspunkte berücksichtigt: Qualität der Probe (Verwitterungsgrad, Erhaltungszustand), Größe des Pegmatitkörpers, mögliche Li- und Be-Mineralisation (z. B. Literaturangaben), sonstige ungewöhnliche Mineralführung sowie stichprobenartige Informationspunkte.

Eine Zusammenfassung der Probenbeschreibung und der mikroskopischen Untersuchungen (KOLLER et al., 1982) ergibt folgende Charakteristik der Pegmatite von St. Radegund und der Gleinalpe. Morphologisch weisen die Pegmatite des Kristallins von St. Radegund und die der Gleinalpe große Ähnlichkeiten auf; darauf haben bereits ANGEL et al. (1939) hingewiesen. Besonders auffällig sind jene Pegmatite mit großen blau-grauen Kalifeldspäten. Dieses Erscheinungsbild der Pegmatite scheint typisch für die Vorkommen im Raum St. Radegund zu sein und es findet sich auch in der Gleinalpe wieder. Eine Unterscheidung und Gliederung der Pegmatite, wie sie von ANGEL et al. (1939) durchgeführt wurde, erscheint nicht als zielführend, da bereits ein einziger Pegmatit all jene akzessorischen Gemengteile führen kann, nach denen eine Unterteilung getroffen wurde.

Alle Pegmatite im Untersuchungsgebiet zeigen mehr oder weniger deutlich metamorphe Überprägung. Dies äußert sich in einem feinkörnigen, rekristallisierten Pflaster aus Quarz, Albit und Kalifeldspat. In dieser Matrix schwimmen große Feldspat-Augen, stark verbogene Muskovittafeln, zerbrochene Turmaline sowie alle übrigen noch größer erhaltenen pegmatitischen Gemengteile. Die erhalten gebliebenen großkörnigen Mineralphasen zeigen Scherungsbahnen und Rupturen. Die großen Muskovittafeln sind meist mehrfach verbogen, sie zeigen Knickfalten und werden zusätzlich randlich von feinkörnigem Hellglimmer, mit teils phengitischer Zusammensetzung, umwachsen.

Diese Deformation findet sich bevorzugt in geringmächtigen Pegmatitgängen und im Randbereich größerer Pegmatitlinsen. Im Kernbereich großer Pegmatite kann aber noch das alte magmatische Gefüge weitgehend unverseht erhalten sein.

Die Akzessorien, beispielsweise Turmalin und Granat, sind nicht gleichmäßig über die gesamten Pegmatitkörper verteilt, sondern zeigen lokale Anreicherungen. Granat tritt bevorzugt am Rand der Pegmatite auf, Turmalin findet sich im zentralen Teil. Die Ausbildung von monomineralischen Bereichen ist selten und erreicht keine größeren Volumsanteile am Gesamtpegmatit. So finden sich untergeordnet reine Feldspat- oder Quarzmineralisationen, letztere erreichen kaum mehr als eine Mächtigkeit von 15–20 cm.

**Beschreibung der einzelnen Mineralphasen:**

Der Kalifeldspat bildet große, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle mit einer weißen, gelblichen oder sehr häufig blaugrauen Färbung. Üblicherweise liegt perthitischer Orthoklas vor, nur selten läßt sich am Dünnschliff eine schwache Mikroklingitterung beobachten. Große Albitindividuen zeigen polysynthetische Verzwilligung nach dem Albitgesetz. Quarz ist öfters stark undulös auslöschend, sehr häufig findet sich schriftgranitische Verwachsung. Quarz, Albit und Orthoklas bilden die wichtigsten Bestandteile der sehr feinkörnigen und stark verzahnten Matrix. Die Muskovittafeln erreichen (Abb. 3) Größen bis 5 cm Durchmesser;



Abb. 3: Stark deformierter Muskovitkristall von feinkörnigem, phengitischem Hellglimmer, Spodumen und Granat umgeben. Das umgebende Quarz-Feldspatgefüge ist rekristallisiert. Probe Ra 36, N-Hang Rabnitzberg, St. Radegund, Nicols ||, Bildbreite ca. 1,8 mm.

sie sind immer stark verbogen und von feinkörnigem Phengit umwachsen. Turmalin liegt üblicherweise in der Form des Schörls vor (bräunlicher Pleochroismus), seltener besitzt er bläuliche Eigenfarbe. MACHATSCHKI (1927) gibt für einen Turmalin aus einem Pegmatit vom Schöcklbartl (St. Radegund) eine Schörlikomponente von ungefähr 75 Mol.-% an, für einen Turmalin von Scherzberg (Gleinalpe) etwa 70 Mol.-%. Der hellrote Granat ist fast immer hypidiomorph ausgebildet. Nach MACHATSCHKI (1927) liegen Almandin-Spessartin-Mischkristalle vor, wie sie für Pegmatite charakteristisch sind. Er gibt folgende Zusammensetzung an (in Mol.-%): 54 Almandin, 31 Spessartin, 13 Grossluar und 2 Pyrop. Gitterkonstanten-Neubestimmungen ergaben mit Bleinitrat als internem Standard (SWANSON et al., 1955) für 2 Vorkommen praktisch gleiche Werte:

Granat aus Ra 36 (Spodumenpegmatit)

$$a_0 = 11,567 \pm 0,007 \text{ \AA}$$

Granat aus Ra 60

$$a_0 = 11,565 \pm 0,006 \text{ \AA}$$

Die Spodumene von St. Radegund beschreibt ANGEL (1933) als blaßgrüne bis weißliche, stengelige Kristalle, die eine Länge bis 10 cm und eine Breite von 1–2 cm aufweisen. In den neu aufgefundenen Spodumenpegmatitvorkommen (Ra 15, 36 und 123) beträgt ihre Korngröße 1–2 cm mit milchig weißer Farbe. Im Li-

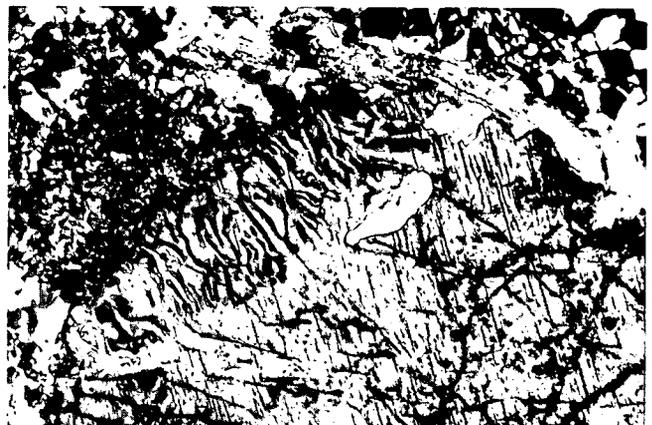


Abb. 4: Myrmekitische Verwachsung von Spodumen und Albit am Rande eines großen Spodumenkristalles. Randlich treten zerschnittene, feinkörnige Spodumenaggregate in einer Quarz-Albit-Matrix auf; Vorkommen wie Abb. 3; Nicols x, Bildbreite ca. 1,8 mm.

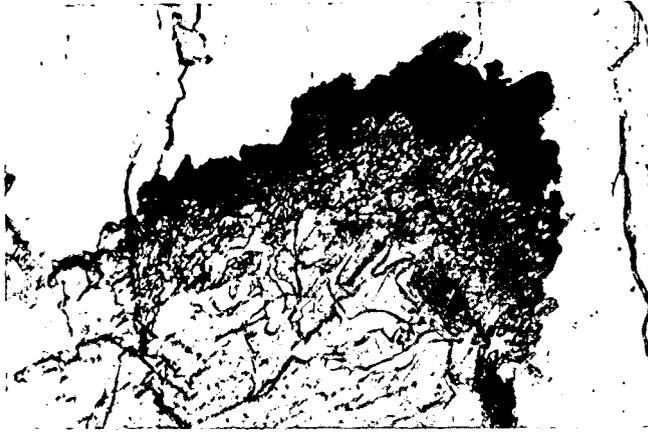


Abb. 5: Myrmekitische Verwachsung zwischen Spodumen und Albit mit fächerförmigem Randsaum in undeformiertem Pegmatit. Probe Ra 15, Klammgraben bei St. Radegund; Nicols ||, Bildbreite ca. 1,8 mm.

Pegmatit vom Rabnitzberg (N-Hang, Ra 36) sind die blaß grünlichen Kristalle stengelig ausgebildet mit einer Längserstreckung bis 10 cm. Die relativ großen Blöcke dieses Vorkommens berechtigten zu dem Schluß, daß dieses Vorkommen nicht ident mit dem bei ANGEL et al. (1939) angegebenen Fund vom SW-Hang des Rabnitzberges ist. Am Rande der Spodumenkristalle finden sich sehr häufig myrmekitische Verwachsungen mit Quarz und Albit (Abb. 4). Ähnliche Erscheinungsformen wurden von GÖD (1978) und von PROCHASKA (1981) aus Spodumenpegmatiten aus dem Altkristallin Kärntens und Südtirols berichtet. Die äußersten Ränder der Spodumene von St. Radegund erscheinen dunkelgrau bis dunkelbraun getrübt und zeigen einen fächerförmigen Wachstumssaum (Abb. 5 und 6). Um die erhaltenen Blöcke in stark deformierten Pegmatiten gibt es in der feinkörnigen Matrix auch kleine Spodumenbruchstücke, sehr häufig vergesellschaftet mit Granat (Abb. 7). In den Spodumen-führenden Pegmatitgängen dominiert Albit, Kalifeldspat kann fehlen.

Beryll konnte im Rahmen der Projektstudie nur sehr selten beobachtet werden (Ra 18, Ra 22, Ra 36). Schon ANGEL (1933) berichtet von wenigen Beryllkristallen, die in kleinen Nestern auftreten. Alle bisher gefundenen Beryllite zeigen eine milchig weiße bis blaßgrünliche oder blaßgelbliche Färbung. Die Kristalle sind



Abb. 6: Dunkel erscheinende, fächerförmige Fortwachsung um einen Spodumenkristall in einem undeformierten Pegmatit. Die Fortwachsungen scheinen den umgebenden Albit zu verdrängen. Vorkommen wie Abb. 3, Nicols  $\times$ , Bildbreite ca. 1,8 mm, untere Bildhälfte: Spodumen.

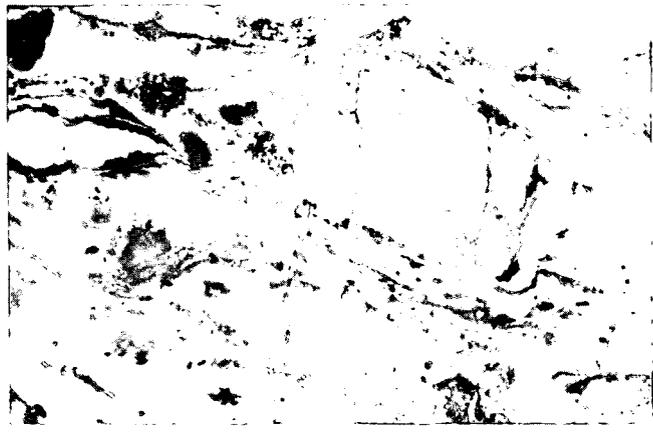


Abb. 7: Große Spodumenblöcke mit feinkörnigem Spodumen (Bruchstück!) und Granat (dunkle Fahnen) entlang der Schieferungsflächen. Vorkommen wie in Abb. 3; Nicols ||, Bildbreite ca. 20 mm.

häufig trüb und 0,5–3 cm dick, sehen unscheinbar aus und sind zum Teil undeutlich begrenzt. Teilweise sind sie nur schlecht vom Feldspat zu unterscheiden. Bevorzugt ist ihr Auftreten in Muskovit- und Quarz-reichen Bereichen der Pegmatitkörper zu beobachten.

Granat ist ein häufiger Begleiter von Beryll.

Apatit, teils grünlich gefärbt, ist ein relativ seltenes akzessorisches Mineral.

In Pegmatitgängen innerhalb von Marmoren wurde eine deutliche Zonierung beobachtet. Der Kern des Ganges ist grobkörnig ausgebildet mit schriffgranitischer Verwachsung, zum Rand zu wird der Pegmatit immer feinkörniger und dichter. In Dünnschliffen konnte eine kontinuierliche Zunahme von Klinozoisit zum Rand hin beobachtet werden.

Bemerkenswert sind die häufigen sekundären Uranminerale wie Autunit, Uran-haltiger Glasopal und andere nicht näher bestimmte Mineralphasen, die an Klüftflächen sehr oft zu finden sind. In einem Pegmatit der Gleinalpe wurde Graphit nachgewiesen (N 6D).

#### 4. Geochemische Untersuchungen

Probenvorbereitung: Die ausgewählten Proben wurden in einem Backenbrecher zerkleinert, anschließend homogenisiert und geteilt. Ein Teil wurde mittels Scheibenschwingmühle analysenfein gemahlen. Der andere Teil wurde gewaschen und gesiebt, vom Feinanteil abgetrennt und zur Mineralseparation unter dem Stereomikroskop verwendet. Händisch ausgeklaut wurden Muskovit, Feldspäte und Spodumen. In jenen Fällen, wo sich Kalifeldspat und Albit farblich unterscheiden ließen (Kontrolle durch RDA), wurden beide Feldspatphasen getrennt aussortiert und den weiteren Untersuchungen zugeführt. Die separierten Mineralphasen wurden in einer Achatschale analysenfein gemahlen.

Analytik: Die Gesamtgesteinsproben und Mineralfraktionen wurden mit einem HF/HClO<sub>4</sub>-Säuregemisch aufgeschlossen und mit einer 0,2 n HNO<sub>3</sub>-Säurelösung aufgenommen. Die Bestimmungen der Li- und Be-Gehalte wurden mittels flammenloser AAS an einem Perkin-Elmer-AAS-Gerät, Modell 300, mit einer HGA 70 durchgeführt. Alle höheren Konzentrationen wurden mit Hilfe einer Luft/Azetylen-(Li) bzw. mit einer Lachgas/Azetylen-Flamme (Be) analysiert. Gemessen wurde gegen vorbereitete Standardlösungen.

Die Fluormessungen erfolgten mittels ionensensitiver Elektrode (Aufschluß und Analysengang nach KLUGER et al., 1975).

##### 4.1. Beryllium und Lithium

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Li-Bestimmungen, in Tabelle 2 sind die Be-Gehalte aller untersuchten

Tabelle 1: Li-Gehalte der untersuchten Pegmatite und Mineralkonzentrate; Angaben in ppm.

Li	Gesamt	Muskovit	Feldspat		
			weiß	grau	
Ra 1	77	181		23	
Ra 2	11	359		5	
Ra 4 B	9	142		5	
Ra 4 C	31	104		10	
Ra 5	12	27			4
Ra 6 UV	5	31		1	
Ra 6 C	5	—		4	
Ra 7 A	8	84		9	
Ra 10 B	3	58		1	
Ra 11	3	72		2	
Ra 13 A	6	—			5
Ra 14 A	7	42	1		6
Ra 15	7200	360			
Ra 16 A	—	144		3	
Ra 17 B	9	115		11	
Ra 18 A	63	—		—	
Ra 18 B	—	91		—	
Ra 22 A	41	233		8	
Ra 22 B	72	172	4		6
Ra 24 D	13	212		7	
Ra 25 A	42	275		37	
Ra 26 B	19	196		7	
Ra 27 A	183	567		25	
Ra 28 A	10	135		5	
Ra 29	5	81		2	
Ra 30 A	13	8		—	
Ra 33 B	49	317		89	
Ra 35	71	223		12	
Ra 36	8500	1630		2540*	
Ra 36 gesch.				500*	
Ra 36 verunr.		1500		2050*	
Ra 39	39	176		19	
Ra 42	8	66		3	
Ra 43	4	56		1	
Ra 45	4	57		—	
Ra 46	13	99		53	
Ra 48	2	418		7	
Ra 49	18	268		11	
Ra 50	12	281		9	
Ra 51	36	363		18	
Ra 52	24	123	3		8
Ra 53	15	32		2	
Ra 54	2	8		1	
Ra 55	19	40		3	
Ra 56	9	96		9	
Ra 58	6	37			1
Ra 59	14	133		13	
Ra 60	50	330	60		70
Ra 61	10	89		3	
Ra 63	18	215		14	
Ra 64	43	654		28	
Ra 66	16	54		4	
N 4 B	16	4		13	
N 5 B	4	49		12	
N 6 B	61	63		1	
N 11	3	10		4	
102	283+	51		32	
103	10	67		18	
104	71	—		79	
104 N	132	—		104	
104 M	60	256		84	
105	25	25		14	
111	74	464		1	
111 A	6	137		1	
121	49	167		22	
122 Mitte	3	7		6	
122 Rand	4	7		6	
123	9000	2500			
123 N	8400	—		820*	
126 östl.	80	182			58
127	35	166		56	
128	29	—			23
202	10	11		1	
203	2	12		1	
205	4	—		2	
Gl 3 AB	6	110		2	
Gl 4 A	119	390		80	
Gl 4 B	115	343		38	
Gl 6 A	49	257	60		102
Gl 6 B	11	191		24	
Gl 7	12	—		—	

\*) Trotz sorgfältiger Separation scheinen hier Verunreinigungen mit Spodumenvorwuchsen vorzuliegen.

+) Sonstige Li-führende Minerale (Turmalin etc.).

— Mineralkonzentrat nicht isolierbar, bzw. kein Wert bestimmt.

Tabelle 2: Be-Gehalte der untersuchten Pegmatite und Mineralkonzentrate; Angaben in ppm.

Be	Gesamt	Muskovit	Feldspat		
			weiß	grau	
Ra 1	15	2,3			1,7
Ra 2	0,7	1,0			0,4
Ra 4 B	5,1	7,4			2,0
Ra 4 C	1,5	7,3			1,9
Ra 5	1,8	1,3			
Ra 6 UV	2,3	2,1			2,9
Ra 6 C	1,3	—			1,5
Ra 7 A	3,7	0,8			1,5
Ra 10 B	2,1	5,4			1,6
Ra 11	1,6	3,7			6,6
Ra 13 A	1,8	—			
Ra 14 A	4,0	2,7	7,1		2,1
Ra 15	155	2,5			1,3
Ra 16 A	—	5,0			5,8
Ra 17 B	6,4	7,3			3,3
Ra 18 A	16	—			—
Ra 18 B	—	4,9			—
Ra 22 A	1,4	19			8,2
Ra 22 B	3,4	14	6,3		2,1
Ra 24 D	2,6	7,4			3,0
Ra 25 A	4,6	1,1			1,8
Ra 26 B	148	8,0			108*
Ra 27 A	62	9,7			6,2
Ra 28 A	2,0	0,9			3,9
Ra 29	2,9	1,2			2,0
Ra 30 A	1,7	6,5			—
Ra 33 B	112	2,3			248*
Ra 35	12	4,8			2,0
Ra 36	159	9,7			5,5
Ra 36 gesch.	—	9,4			3,0
Ra 36 verunr.	—	5,9			2,9
Ra 39 A	1,2	3,1			1,9
Ra 42	3,4	3,4			15
Ra 43	1,5	2,1			2,7
Ra 44	16	4,4			5,6
Ra 45	5,7	2,0			2,7
Ra 46	7,4	2,3			6,8
Ra 48	0,9	9,3			0,9
Ra 49	1,3	3,5			6,0
Ra 50	1,6	1,3			0,7
Ra 51	1,2	5,5			1,8
Ra 52	1,0	19	12		2,2
Ra 53	1,2	3,7			7,8
Ra 54	4,2	5,1			2,8
Ra 55	2,1	1,4			2,7
Ra 56	1,2	3,3			4,4
Ra 58	0,6	4,7			2,0
Ra 59	0,9	4,6			4,2
Ra 60	0,7	2,3	7,8		1,2
Ra 61	1,1	2,9			3,1
Ra 63	1,2	3,2			6,4
Ra 64	0,7	4,1			9,4
Ra 66	1,1	1,9			5,4
N 4 B	4,3	4,1			3,7
N 5 B	3,9	3,2			1,4
N 6 B	17	3,3			1,2
N 11	0,4	0,3			0,6
102	5,6	9,2			6,9
103	17	7,8			3,4
104	2,1	—			3,5
104 N	209	—			1,2
104 M	2,1	6,0			2,2
105	2,1	3,1			9,7
111	1,4	3,9			9,2
111 A	7,7	0,8			4,7
121	12	3,7			12
122 Mitte	7,6	6,8			16
122 Rand	162	3,2			821*
123	437	8,2			—
123 N	842	—			28
126 östl.	3,5	4,3			10
127	2,5	1,2			1,9
128	4,5	—			3,5
202	0,5	1,2			1,5
203	3,1	1,7			2,9
205	0,9	—			2,6
Gl 3 AB	3,3	2,5			18
Gl 4 A	2,6	1,8			7,3
Gl 4 B	3,6	2,2			4,9
Gl 6 A	4,2	3,6	7,8		2,8
Gl 6 B	1,1	3,3			0,9
Gl 7	2,9	—			—

\*) Bedingt durch eingewachsene Be-Mineralphasen oder -neubildung in Rissen und an Korngrenzen (vgl. dazu CERNY, 1968).

— Mineralkonzentrat nicht isolierbar, bzw. kein Wert bestimmt.

Gesteine, einschließlich der Mineralfraktionen gelistet. In den Abb. 8 und 9 sind die Häufigkeitsverteilungen der Li- und Be-Gehalte der Pegmatite (Gesamtgestein) aus dem Gebiet von St. Radegund und von der Gleinal-

pe aufgetragen. Die Normogramme für die beiden Elemente Li und Be zeigen für beide Arbeitsgebiete ähnliche Verteilungsmuster.

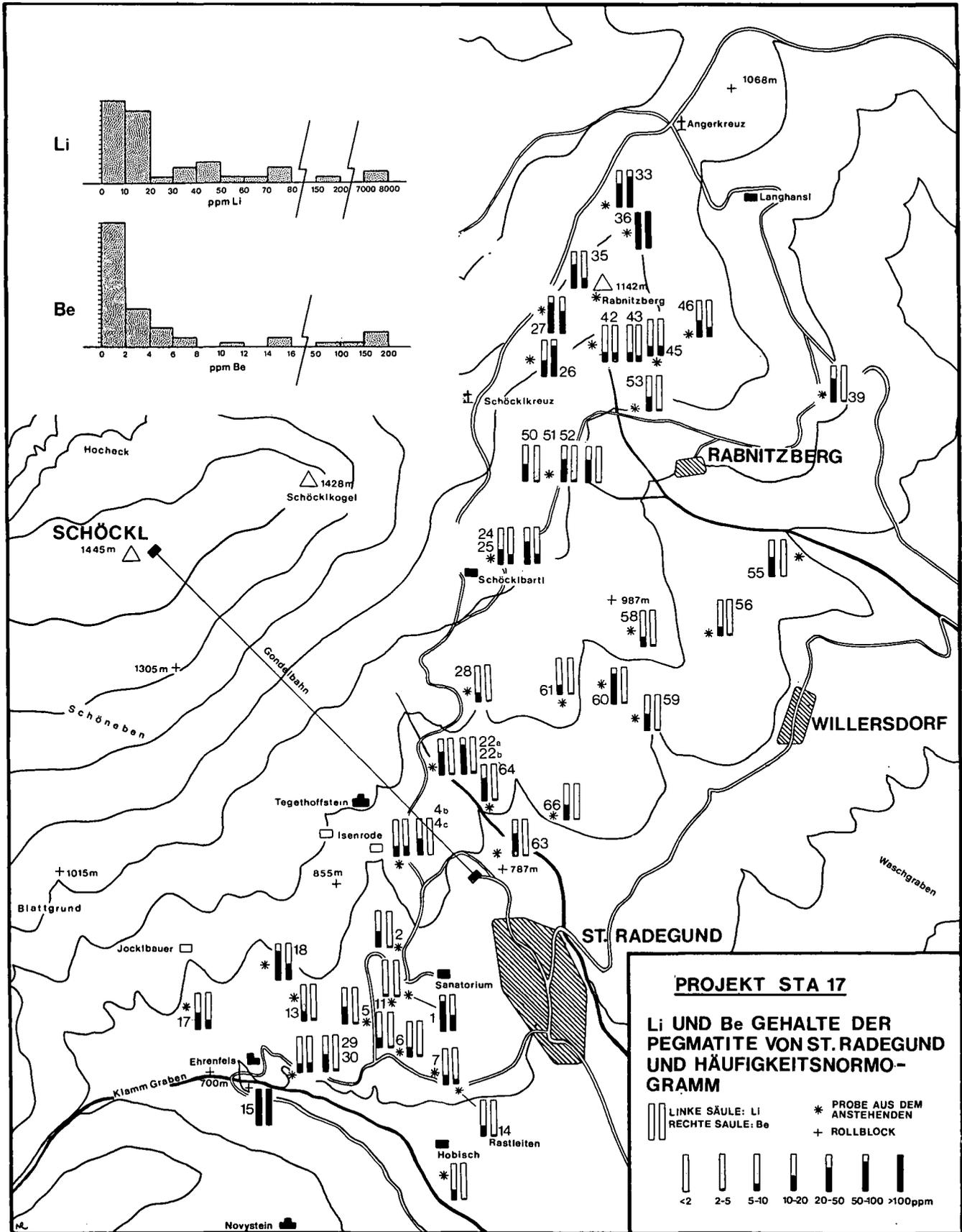


Abb. 8: Lithium- und Beryllium-Gehalte der Pegmatitproben von St. Radegund und Umgebung mit Häufigkeitsnormogramm. Die aufgetragene Strecke der Gondelbahn entspricht 2000 m.

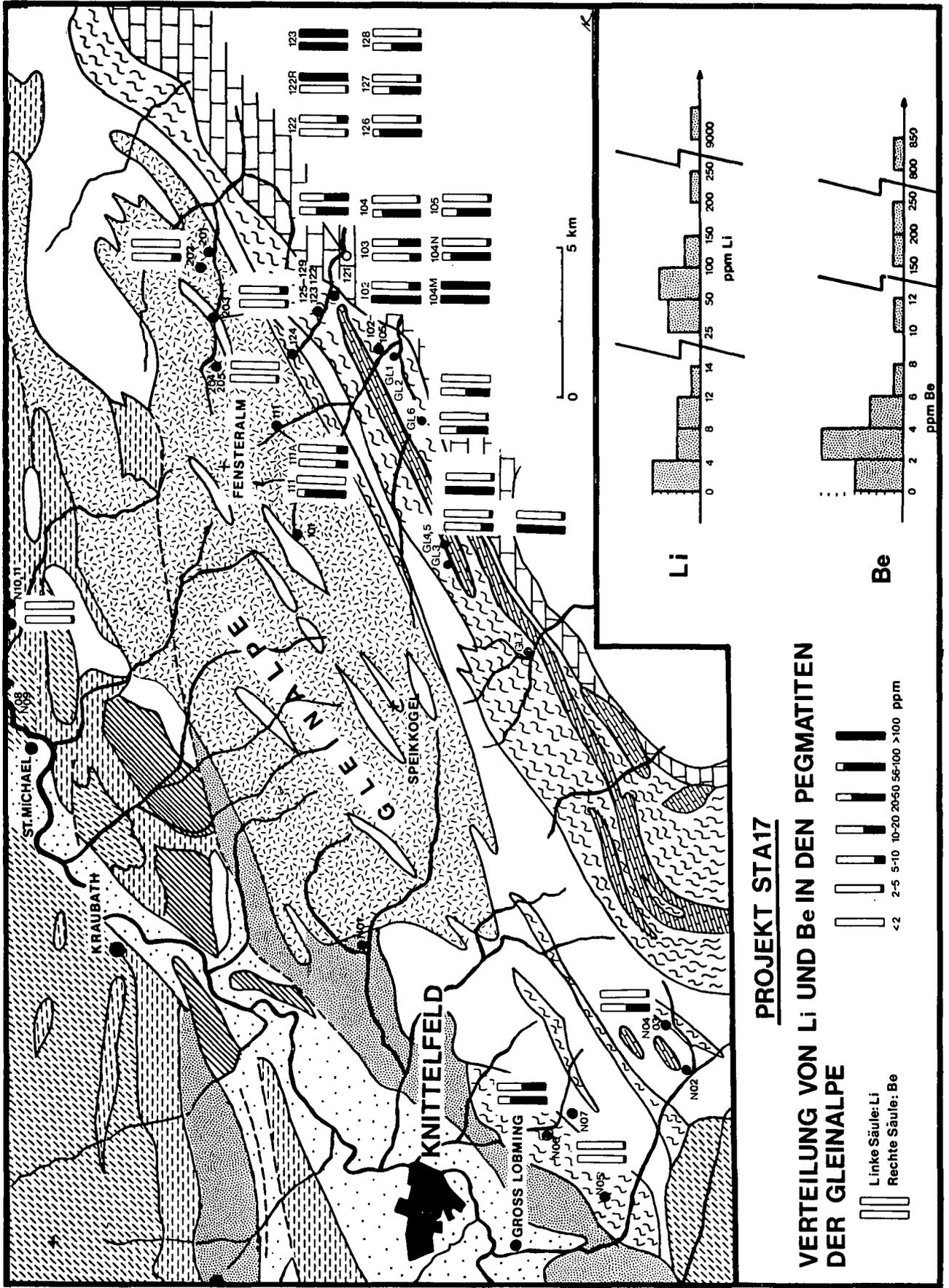


Abb. 9: Lithium- und Beryllium-Gehalte der Pegmatitproben des Gneisalpegebietes; Häufigkeitshistogramm der Li- und Be-Konzentrationen.

Für Lithium ergeben sich folgende Verteilungsmaxima: das höchste bei Gehalten unter 20 ppm, ein zweites bei Werten zwischen 50 und 100 ppm und weit abgesetzt ein drittes zwischen 7000 und 9000 ppm. Jene Werte unter 20 ppm, mit einem Mittelwert von  $9 \pm 5$  ppm (44 Proben), scheinen dem normalen Untergrundwert der Pegmatite in den Arbeitsgebieten zu entsprechen. Dieser Mittelwert ist deutlich niedriger als die durchschnittlichen Li-Gehalte in Graniten, die zwischen 30 und 40 ppm liegen (TUREKIAN & WIEDEPOHL, 1961; VINOGRADOV, 1962; HEIER & ADAMS, 1964), ebenso liegt die mittlere Häufigkeit in den magmatischen Gesteinen der oberen Erdkruste für Li bei 30 ppm (WEDEPOHL, 1967). Das zweite Verteilungsmaximum mit einem Mittelwert von  $70 \pm 50$  ppm Li (28 Proben) wird vorwiegend von Pegmatiten hervorgerufen, die in der Nachbarschaft von Spodumenvorkommen (Literaturangaben und Neufunde – wie z. B. Ra 27, Ra 35, Ra 36, 126, 127, 128) liegen. Das Mittel dieser erhöhten Li-Werte liegt für die Pegmatite im Radegunder Kristallin bei  $49 \pm 17$  ppm (13 Proben) und ist deutlich niedriger als in vergleichbaren Proben aus dem Gleinalm-Kristallin:  $81 \pm 55$  ppm Li (14 Proben). Das dritte Häufigkeitsmaximum resultiert aus den Li-Gehalten der Spodumenpegmatite:  $8275 \pm 763$  ppm (4 Werte). Dieser durchschnittliche Gehalt ist gut vergleichbar mit den Li-Gehalten eines Vorkommens in Kärnten mit 17200 ppm Li (GÖB, 1978) oder Südtirol mit 7500 ppm Li (PROCHASKA, 1981), vgl. Tabelle 5.

Für die Beryllium-Gehalte der Pegmatite des Radegunder- und Gleinalm-Kristallins ergibt sich ein Maximum der Untergrundwerte ( $<10$  ppm), resultierend aus 75 % aller Meßwerte, bei  $2,6 \pm 1,8$  ppm Be (61 Proben); für St. Radegund  $2,3 \pm 1,7$  ppm, für die Gleinalpe  $3,2 \pm 2,0$  ppm. Diese Werte entsprechen gut den Literaturangaben für mittlere Be-Gehalte granitischer Gesteine: 3 ppm (GROHMANN, 1965), 1,6 bis 4,6 ppm (PETROVA & PETROV, 1965), bzw. 4,0 bis 6,0 ppm (HÜGI et al., 1965). Die Häufigkeit des Berylliums in den magmatischen Gesteinen der oberen Erdkruste beträgt nach WEDEPOHL (1967) 2 ppm. Die restlichen 25 % der Gesamtgesteinsanalysen verteilen sich, abgesehen von wenigen Werten um 20 ppm, um ein Maximum zwischen 150 und 200 ppm. Die höchsten Be-Gehalte führen die Spodumenpegmatite (Werte bis 800 ppm – Probe 123). Die räumliche Verteilung der erhöhten Be-Gehalte scheint (mit nur einer Ausnahme – Probe 122 R) an Pegmatite mit erhöhten Li-Gehalten gebunden zu sein. Ausgesprochene Beryllpegmatite wurden nicht festgestellt. Als Vergleich werden die Be-Gehalte eines schwach Beryll führenden Pegmatites von Artholz (Niederösterreich; KOLLER & NIEDERMAYR, 1978) mit durchschnittlich 160 ppm und eines Pegmatites aus Gebharts (Niederösterreich; KOLLER & NIEDERMAYR, 1978) mit durchschnittlich 4 ppm Be angeführt.

Um die Li- bzw. Be-Verteilung in den Pegmatiten festzustellen wurden die Gehalte in den Hauptmineralphasen Muskovit und Feldspat gemessen. Die Aufbereitung erfolgte analog der Gesamtgesteinsanalysen. Der Einbau des Lithiums in Glimmer ist aufgrund entsprechender Wirkungsradien anstatt  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  sowie  $Al^{3+}$  möglich (vgl. LEVINSON, 1953), wobei die Li-Gehalte mehrere Prozente erreichen können. Anders ist das Verhalten gegenüber Feldspäten: Mikrokline aus Spodumenpegmatiten enthalten nach GORDIENKO (1970) durchschnittlich 100 ppm Li; in Alkalifeldspäten von Graniten sinken die Gehalte auf knapp 2 ppm (HEIER &

Tabelle 3: Mittelwerte (in ppm) mit Standardabweichungen der Lithium- und Beryllium-Gehalte in den Muskovitkonzentratoren der Pegmatite des Radegunder- und Gleinalm-Kristallins.

Pegmatit (Gestein)	St.Radegund	Gleinalpe	Gesamtwerte	Probenanzahl
Li < 20 ppm	$117 \pm 101$	$55 \pm 64$	$101 \pm 96$	43
20–300 ppm	$291 \pm 171$	$215 \pm 143$	$255 \pm 159$	23
>300 ppm	$1163 \pm 699$	2500	$1497 \pm 879$	4
Be < 10 ppm	$5,1 \pm 4,4$	$3,3 \pm 2,2$	$4,5 \pm 3,9$	61
>10 ppm	$5,5 \pm 3,2$	$5,2 \pm 2,5$	$5,4 \pm 2,9$	13

TAYLOR, 1959). Die Beryllium-Gehalte in Muskoviten steigen bis ca. 50 ppm, in Feldspäten bis 20 ppm (nach HÖRMANN, 1969).

Die Mittelwerte der Lithium- und Berylliumgehalte der Muskovite sind in Tabelle 3 zusammengefaßt, wobei für Lithium in drei Gruppen, je nach dem Li-Gehalt des Trägergesteins (<20 ppm, 20–300 ppm, >300 ppm) aufgeteilt wurde. Es ergibt sich ein Li-Untergrundwert der Muskovite aus Li-armen Pegmatiten von ca. 100 ppm. Daraus geht klar hervor, daß bevorzugt Muskovit in der vorliegenden Mineralgesellschaft Lithium in das Gitter einbaut und damit auch zum Hauptträger dieses Elementes in nicht spodumenführenden Pegmatiten wird. Bei erhöhtem Li-Angebot (2. Gruppe) werden Gehalte der gleichen Größenordnung aufgenommen (vgl. Tab. 3). In den Spodumenpegmatiten tritt Spodumen gleichsam als Konkurrent des Muskovites auf, der zwar durchschnittliche Li-Gehalte von 1500 ppm aufweist, damit aber keinesfalls das Aufnahme-limit erreicht hat (vgl. LEVINSON, 1953).

Erhöhte Beryllium-Gehalte des Gesteins wirken sich auf den Be-Einbau in den Muskovit offenbar nur geringfügig aus; eine fundierte Aussage ist wegen sich überschneidender Streubereiche nicht möglich.

Die Mittelwerte der Lithium- und Berylliumgehalte der Feldspäte (undifferenziert, variable Gehalte an Kalifeldspat und Albit) sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Relativ gering ist der Unterschied der Lithiumgehalte in den beiden Feldspäten Kalifeldspat (meist grau) und Albit (meist weiß). In den analysierten Feldspatpaaren weisen die Kalifeldspäte deutlich höhere Li-Gehalte auf, aus fünf Feldspatpaaren errechnet sich der Quotient  $Li_{Albit}/Li_{Kalifeldspat} = 0,53 \pm 0,27$  entsprechend dem offenbar besseren Li-Einbau im Kalifeldspat. Die Ursache für die relativ hohen Streuungen der Be-Gehalte liegt wahrscheinlich im unterschiedlichen Be-Einbau in Albit und Kalifeldspat. Die Werte sind für Kalifeldspat durchwegs höher, aus dem Durchschnitt von fünf Feldspatpaaren läßt sich ein Quotient  $Be_{Ab}/Be_{Kfsp} = 3,5 \pm 1,8$  errechnen. Diese Befunde stimmen mit Literaturangaben (HÖRMANN, 1969) gut überein.

Tabelle 4: Mittelwerte (in ppm) mit Standardabweichungen der Lithium- und Beryllium-Gehalte in den Feldspatkonzentratoren der Pegmatite des Radegunder- und Gleinalm-Kristallins.

Pegmatit (Gestein)	St.Radegund	Gleinalpe	Gesamtwerte	Probenanzahl
Li < 20 ppm	$5,0 \pm 3,8$	$6,0 \pm 5,8$	$5,2 \pm 4,4$	43
20–300 ppm	$27,2 \pm 26,2$	$50,3 \pm 34,6$	$38,7 \pm 32,4$	30
>300 ppm	$1697 \pm 1065$	820	$1487 \pm 974$	4
Be < 10 ppm	$4,2 \pm 3,3$	$5,1 \pm 4,2$	$4,4 \pm 3,6$	67
>10 ppm	$3,7 \pm 2,3$	$9,2 \pm 11,4$	$6,2 \pm 7,4$	11

Die extrem hohen Li-Gehalte der Feldspäte aus den Spodumenpegmatiten müssen wohl auf Verunreinigungen (myrmekitische Verwachsungen Feldspat-Spodu-

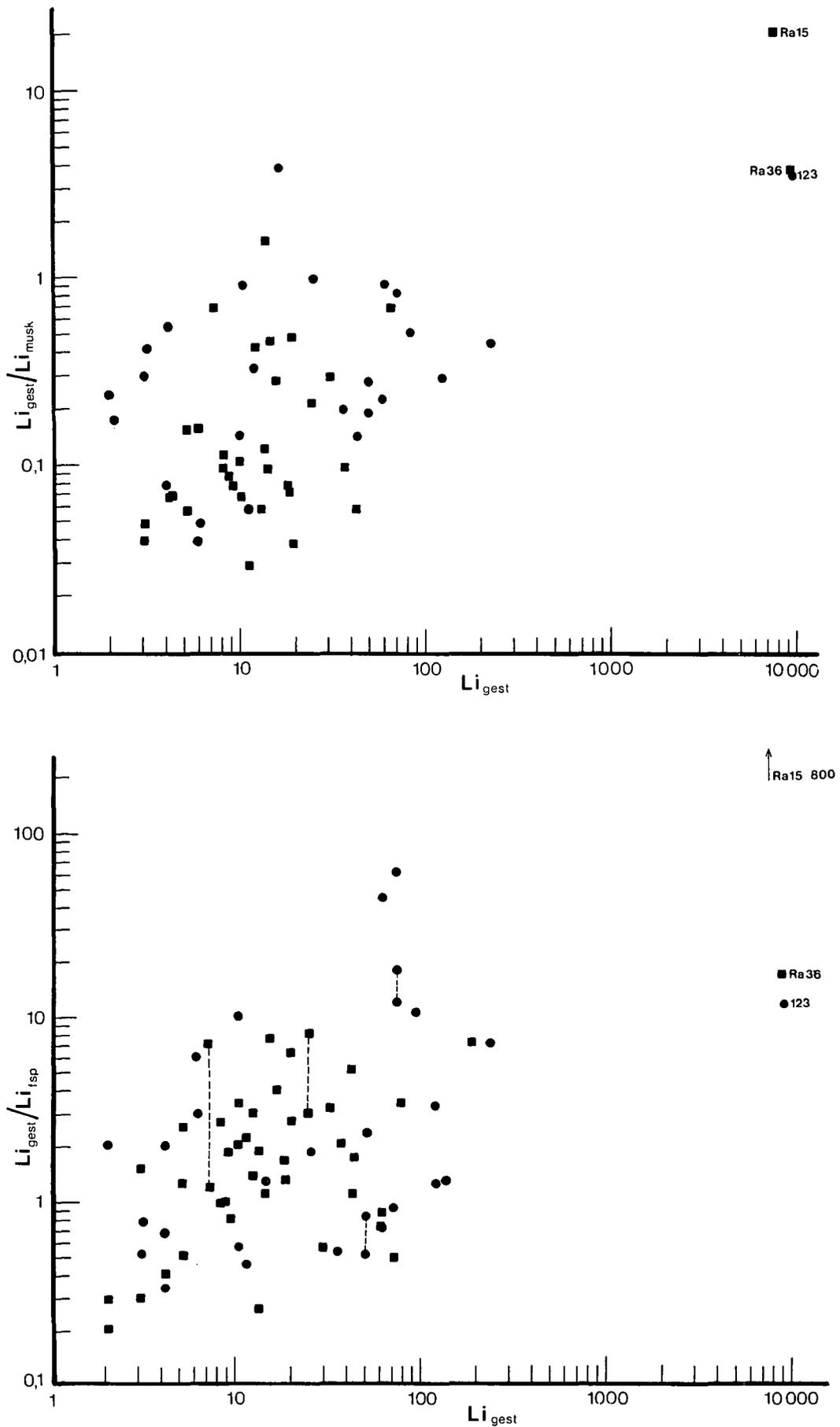


Abb. 10: Korrelationsdiagramme  $Li_{gest}$  gegen  $Li_{gest}/Li_{Musk}$  und  $Li_{gest}/Li_{Fsp}$ . Mit ■ wurden die Proben aus dem Kristallin von St. Radegund eingetragen, mit ● die der Gleinalpe. Die Projektionspaare koexistierender Feldspatpaare wurden miteinander verbunden, die Spodumenpegmatitpunkte wurden beschriftet (Ra 15, Ra 36 und 123), Konzentrationsangaben in ppm.

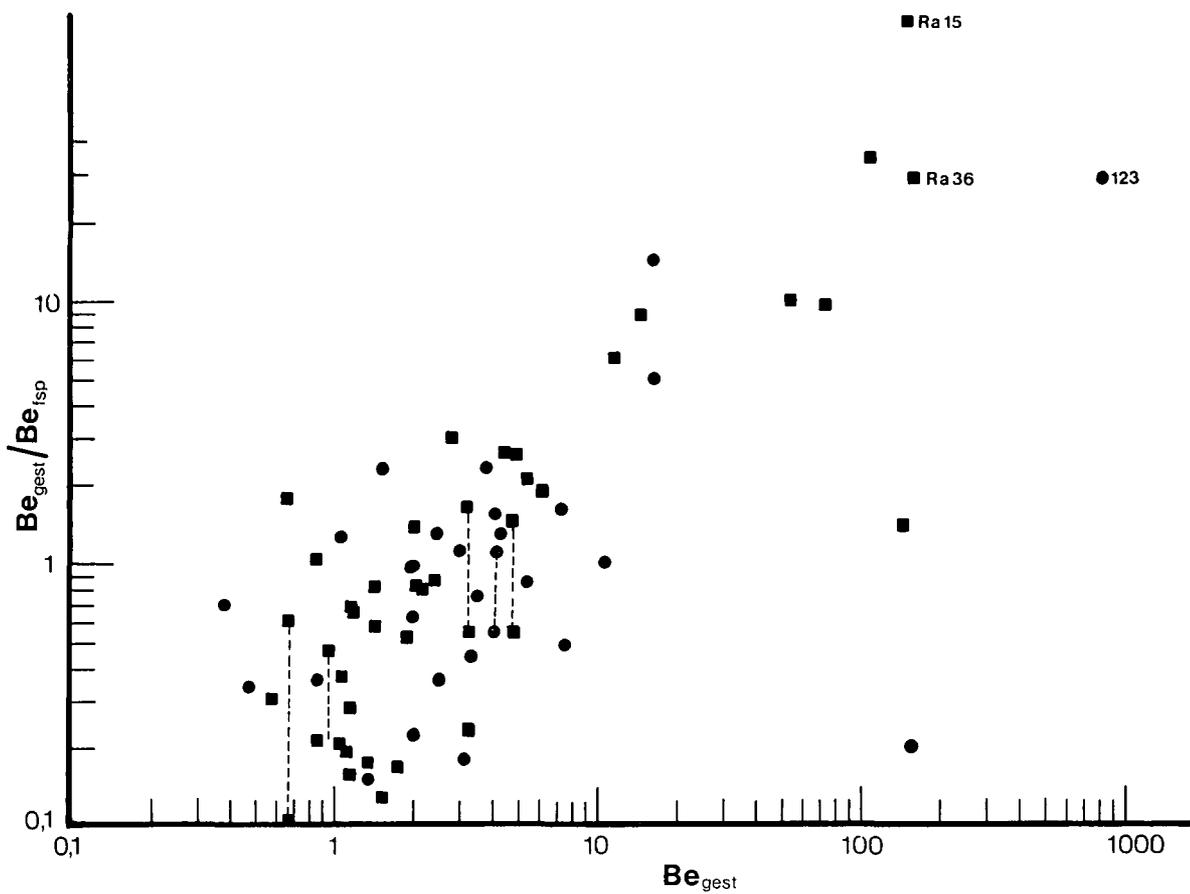
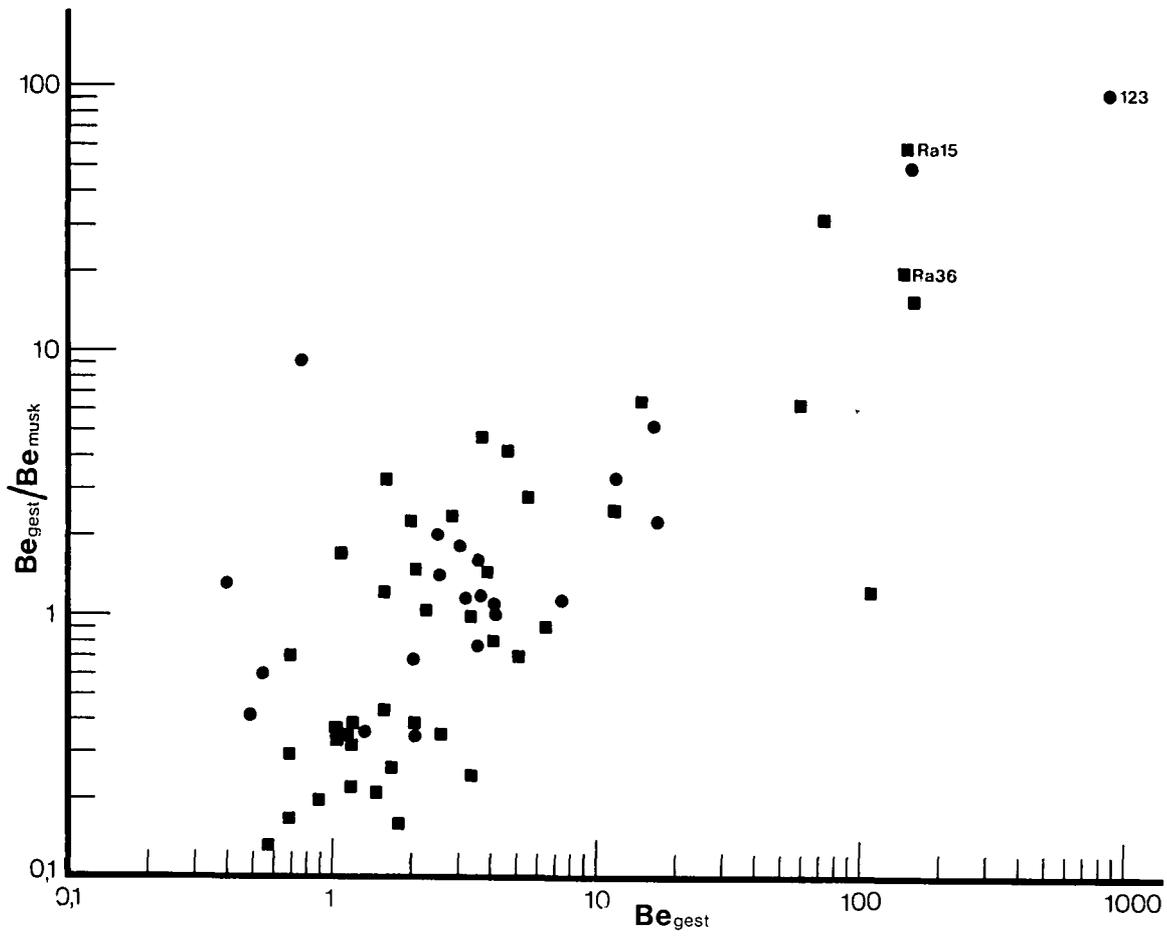


Abb. 11: Korrelationsdiagramme  $Be_{gest}$  gegen  $Be_{gest}/Be_{Musk}$  und  $Be_{gest}/Be_{Fsp}$ . Symbole siehe Abb. 10.

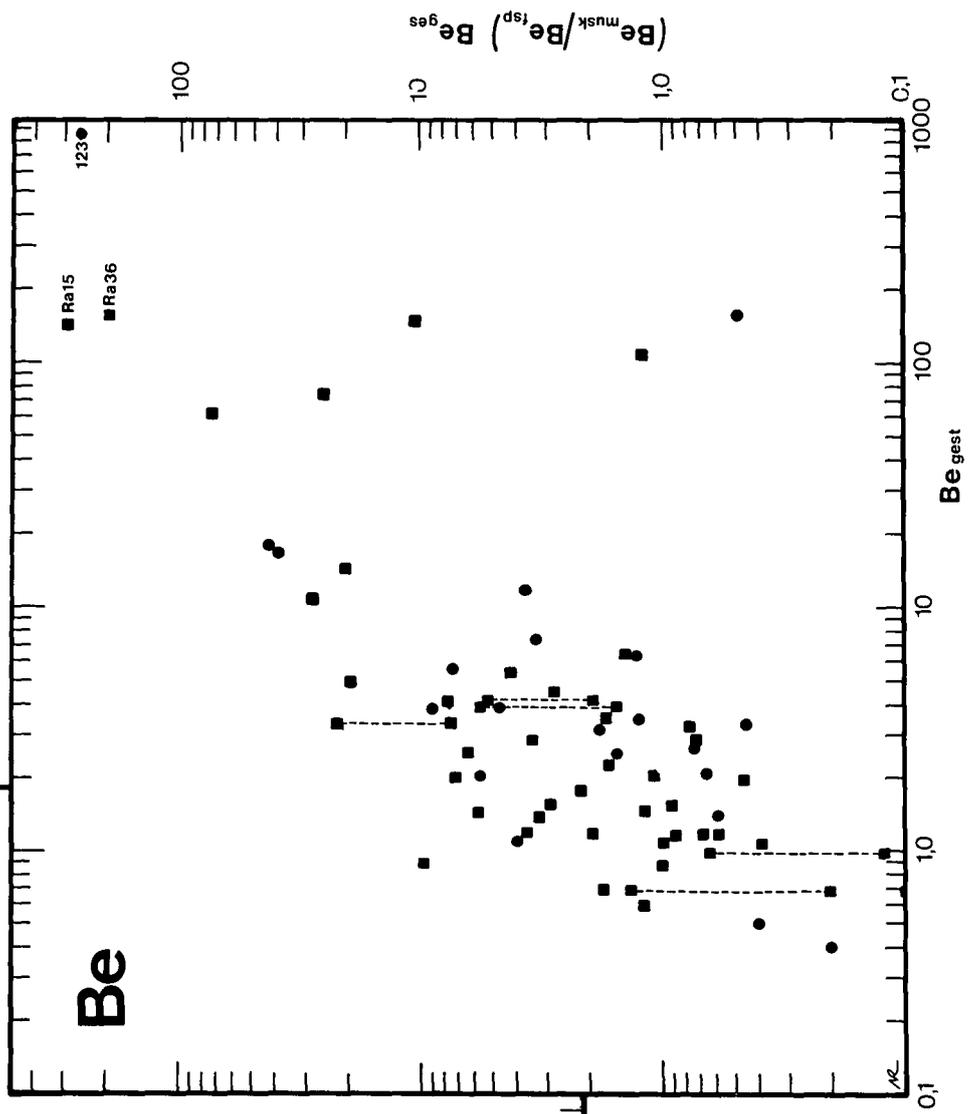
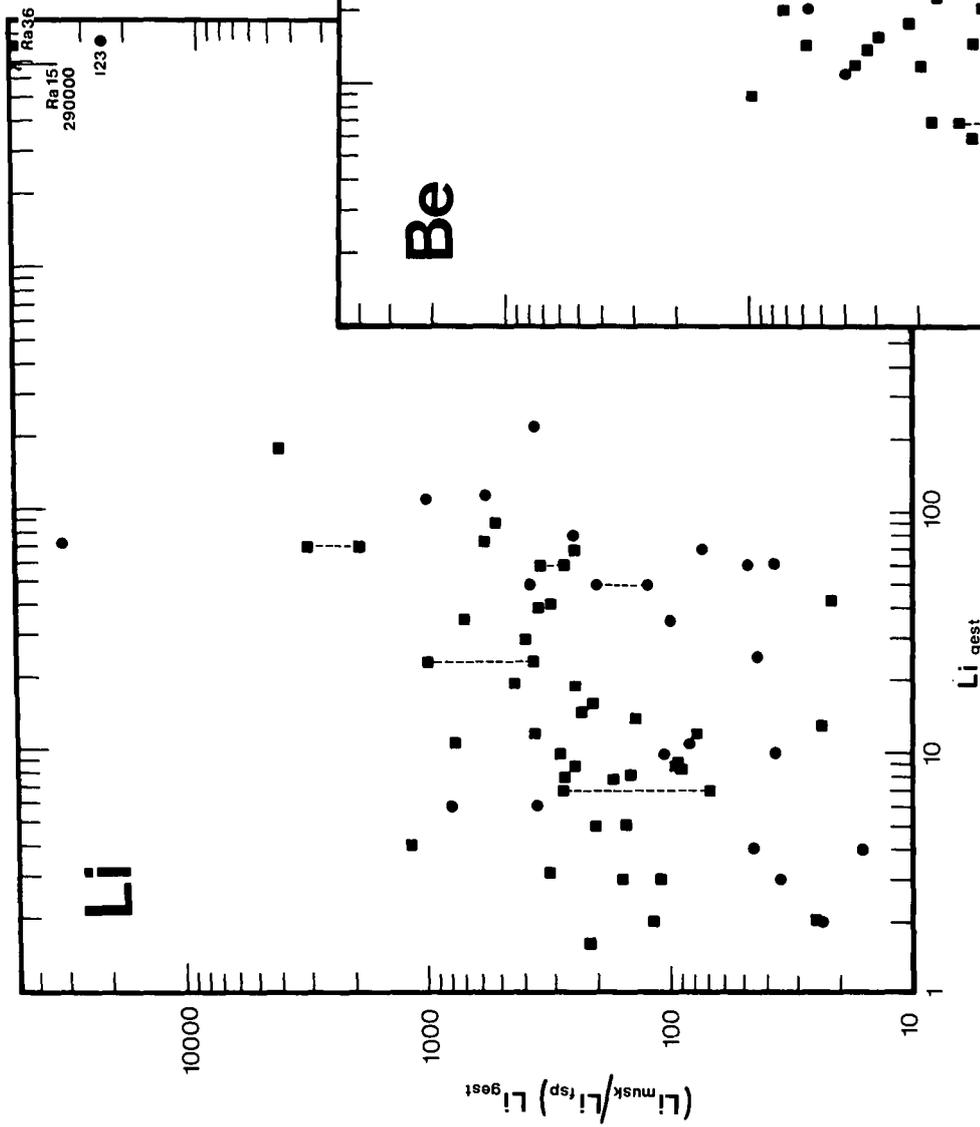


Abb. 12: Korrelationsdiagramme  $Li_{gest}/(Li_{musk}/Li_{fsp})Li_{gest}$  und  $Be_{gest}/(Be_{musk}/Be_{fsp})Be_{gest}$ . Symbole siehe Abb. 10.

men, Spodumeneinschlüsse) zurückgeführt werden. Einige dieser Pegmatite sind auch starker Durchbewegung ausgesetzt gewesen, sodaß kleine Spodumenbruchstücke zeilenförmig angeordnet sind. Als Ursache für die hohen Be-Gehalte der Feldspäte aus den Spodumenpegmatiten können möglicherweise sekundäre Be-Mineralen in feinen Rissen oder Sprüngen der Feldspäte angeführt werden. Unter Weglassung dieser Extremwerte verringern sich die Mittelwerte nur geringfügig, die Standardabweichungen jedoch deutlich. Im allgemeinen geht eine Zunahme im Spurenelementgehalt in den Feldspäten mit steigenden Gehalten im Gesamtpegmatit parallel.

Die Verteilungsdiagramme  $Li_{Gestein}$  gegen  $(Li_{Gest}/Li_{Muskovit})$  und  $Li_{Gest}$  gegen  $(Li_{Gest}/Li_{Fsp})$  zeigen beide ein sehr einheitliches Bild (vgl. Abb. 10). Die Projektionspunkte streuen gleichmäßig um eine Gerade mit der Steigung 1, die Projektionspunkte der Spodumenpegmatite sind deutlich von den übrigen abgesetzt.

Analog zur Abb. 10 ergeben sich auch für die Be-Analysen in den Korrelationsdiagrammen (Abb. 11) vergleichbare Bilder. Auch hier streuen die Projektionspunkte gut um eine Gerade mit der Steigung 1; die Punktwolke der Untergrundwerte ist jedoch deutlich kleiner. Der Schwankungsbereich innerhalb der beiden Feldspatphasen ist relativ gering.

Die Abbildung 12 zeigt, daß auch unter Berücksichtigung des Verteilungsquotienten Muskovit/Feldspat ähnliche Ergebnisse wie in Abb. 10 und 11 erhalten werden. Es ergibt sich für die Darstellung der Li-Verteilung ein breiter Punkthaufen mit den davon meist abgerückten Spodumenpegmatitproben. Bei der Darstellung der Be-Verteilung kann die Entwicklung von den Untergrundwerten (0,3–10 ppm) bis zu den höheren Be-Werten der Spodumenpegmatite verfolgt werden. Mit strichlierten Linien sind die koexistierenden Feldspatpaare verbunden (vgl. Abb. 10, 11, 12). Daraus läßt sich ableiten, daß bei Verwendung von monomineralischen Feldspatkonzentrat der Streubereich der Projektionspunkte deutlich kleiner werden sollte. In dieser Abbildung sind auch jene stark abweichenden Proben zu erkennen, die für die Feldspatkonzentrate stark erhöhte Be-Gehalte aufweisen.

In der Abb. 13 sind die Beziehungen aller gemessenen Werte jeweils für einen Pegmatit (Gestein, Glimmer- und Feldspatkonzentrat) in Dreiecksdarstellung gegeben.

In der Li-Darstellung ist deutlich zu erkennen, daß weit über 90 % aller Pegmatitproben hohe  $Li_{Musk}/Li_{Fsp}$ -Quotienten aufweisen ( $500 > x > 2$ ), nur bei wenigen Proben ist  $x < 2$ . Die Punktverteilung ist sehr einseitig, der Großteil der Probenpunkte liegt im unteren Drittel nahe

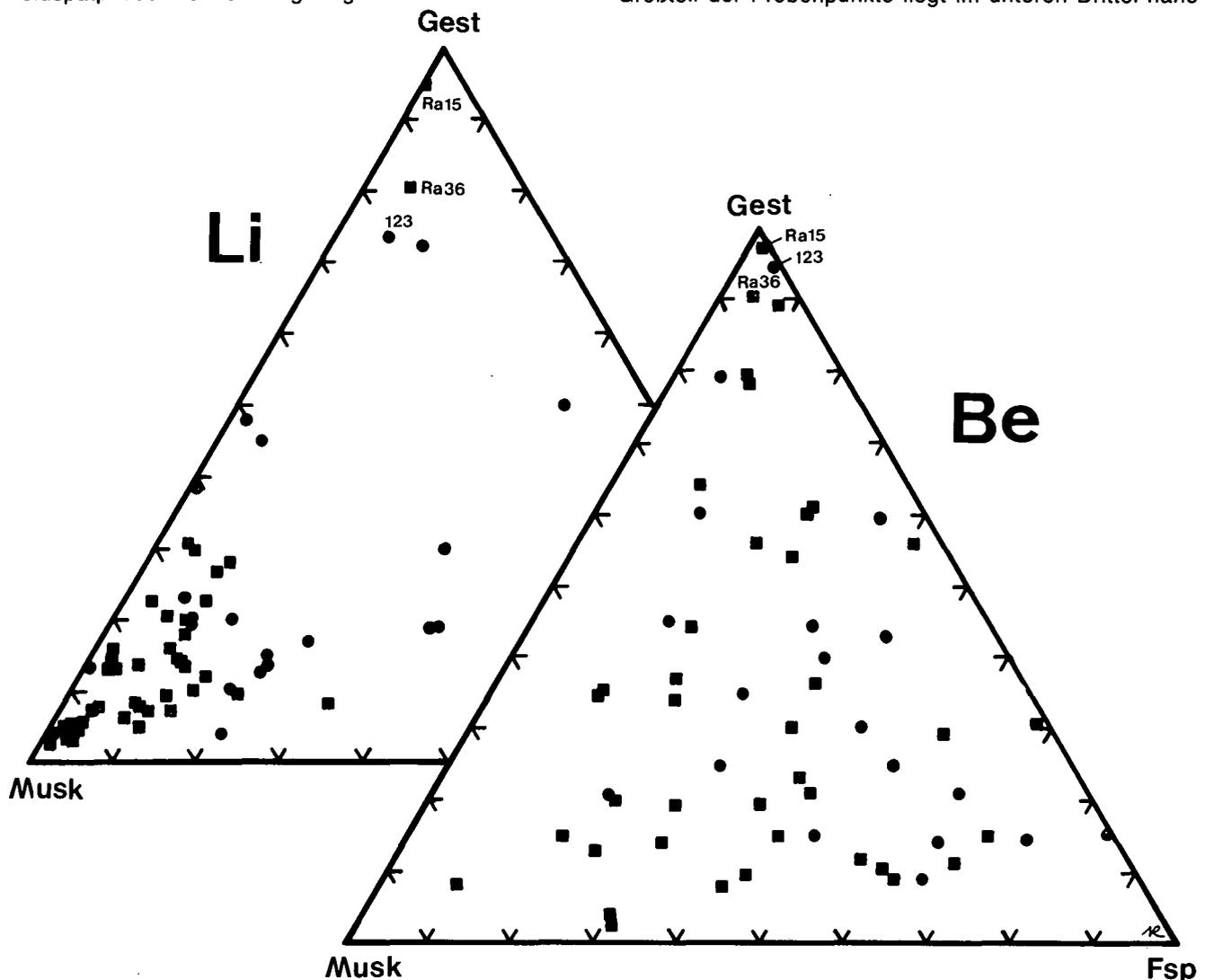


Abb. 13: Dreiecksdarstellung der Analysendaten von den Pegmatiten und ihren Muskovit- und Feldspatkonzentrat für Lithium und Beryllium. Symbole siehe Abb. 10.

der Muskovit-Ecke, im Mittelteil klafft eine relativ große Lücke und im obersten Drittel plotten die Spodumenpegmatite.

Die  $Be_{Musk}/Be_{Fsp}$ -Quotienten der Abb. 13 zeigen sehr gleichmäßige Verteilung, das gesamte Dreieck ist mit diskret verstreuten Projektionspunkten bedeckt. Diese Verteilung wird durch die große Anzahl sehr kleiner Be-Gehalte einzelner Pegmatitproben bewirkt.

Aus Werten der Tab. 1 und 6 wurden für Spodumenpegmatite  $Li_{Spodumen}/Li_{Musk}$ -Quotienten errechnet, die in Tab. 5 angeführt sind. Als Vergleichswerte wurden Angaben bekannter Spodumenpegmatite aus Kärnten (GÖD, 1978) und Südtirol (PROCHASKA, 1981) herangezogen. Es ergeben sich daraus analoge Daten für die angeführten Pegmatite des Altkristallins.

Tabelle 5: Li-Gehalte von Spodumenpegmatiten, Spodumenen, Muskoviten sowie  $Li_{Spodumen}/Li_{Musk}$ -Quotienten (Werte aus Tabelle 1 und 6) im Vergleich mit Angaben über Spodumenpegmatite aus der Literatur.

	Li-Gestein (in Gew.-%)	Li-Spodumen (in Gew.-%)	Li-Muskovit (in ppm)	$Li_{Spod.}/Li_{Musk.}$
Landskron (GÖD, 1978)	1,72	2,95	180	163,9
Rieserferner (PROCHASKA, 1981)	0,75	3,25	323	100,6
St. Radegund Ra 15	0,72	3,64	360	101,1
Ra 36 (Mittelwerte)	0,85	3,17	1565	20,3
Gleinalpe 123	0,87	3,05	2500	12,2

Die Quotienten hingegen variieren stark. Eine Erklärung dafür kann durch unterschiedliche Wachstumsphasen der beiden Minerale Spodumen und Muskovit im jeweiligen Pegmatit gegeben werden. Einerseits können kinetische Ursachen für die relative Li-Armut der Muskovite angeführt werden, andererseits auch Bildungsbedingungen (vgl. SHTERNBERG et al., 1972; STEWART, 1978); Lepidolith konnte bisher in keinem der Vorkommen nachgewiesen werden. Besonders in Probe 123 (Gleinalpe) konnte eine Glimmerneubildung unter teilweiser Spodumenzersetzung beobachtet werden. Dies kann als Erklärung für die hohen Li-Gehalte in Muskovit und der damit verbundenen niedrigen  $Li_{Spod}-Li_{Musk}$ -Quotienten verwendet werden.

Tabelle 6: Spodumenanalysen der untersuchten Pegmatite; gsf = geschiefert.

Spodumene	Li Gew.-%	$Li_2O$ Gew.-%	Be ppm
Ra 15	3,64	7,83	2,4
Ra 36a	3,23	6,95	1,7
Ra 36b	3,10	6,67	2,0
Ra 36c	3,13	6,74	2,9
Ra 36gsf	3,21	6,91	1,5
123 weiß	3,05	6,56	16,0

Die Tabelle 6 enthält die Lithium- und Berylliumgehalte einzelner, aussortierter Spodumene. Diese Teilanalysen (flammenlose AAS) ergeben durchschnittliche  $Li_2O$ -Gehalte von  $6,94 \pm 0,46$  Gew.-%, dies stimmt mit Literaturangaben (DEER et al., 1978) gut überein. Der Einbau von Beryllium ist sehr gering (1,5–16 ppm), nach HÖRMANN (1969) reichen die Be-Gehalte bis 40 ppm.

Ergänzend wurden im Hinblick auf das mögliche Vorhandensein weiterer seltener Mineralphasen einige

Spurenelemente in Spodumenpegmatitproben bestimmt. Die Gehalte an Nb, Zr, Y sowie Rb, Sr und Ba sind für die Spodumenpegmatite in Tabelle 7 zusammengestellt. Nennenswerte Anreicherungen von weiteren Spurenelementen wurden nicht festgestellt. Es scheint daher ein häufigeres Auftreten von Mineralphasen wie Columbit, Zirkon, SE-Minerale und anderer pegmatitischer Akzessorien nicht vorzuliegen.

Tabelle 7: Spurenelementgehalte der Pegmatitproben des Radegunder- und Gleinalm-Kristallins; RFA-Analysen in ppm.

	Ra 15	Ra 36	123	123 N
Cu	9	8	8	9
Zn	67	42	65	44
Rb	455	152	329	513
Sr	19	36	35	135
Y	5	11	7	5
Zr	23	21	15	11
Nb	55	10	75	19
Ba	30	≤5	≤5	≤5
Th	17	17	14	12
U	13	14	7	3
S	17	78	17	51

## 4.2. Fluor

Die durchschnittlichen Fluorgehalte von Graniten betragen 850 ppm (TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961) bis 1330 ppm (KORITNIG, 1951) mit Spitzen bis knapp 3000 ppm (KORITNIG, 1971) für Granitpegmatite liegen praktisch nur Daten über ihre Hauptminerale vor.

Mittels ionensensitiver Elektrode (Aufbereitung und Analysengang nach KLUGER et al., 1975) wurden von einigen ausgewählten Pegmatiten und Spodumenpegmatiten des Radegunder- und des Gleinalm-Kristallins (insgesamt 14 Proben) Fluorgehalte des Gesamtgesteins sowie der Muskovite und Feldspäte gemessen. Die Werte sind neben den dazugehörigen Lithium- und Beryllium-Gehalten in Tab. 8 gelistet. Es ergibt sich als Mittelwert  $160 \pm 82$  ppm Fluor für die Gesamtgesteine, als Grenzwerte wurden 47 bzw. 282 ppm gefunden. Diese extrem niedrigen Werte beruhen auf der Tatsache, daß die bearbeiteten Pegmatite in der Hauptsache aus Feldspäten und Quarz bestehen, Apatit ist sehr selten. Der durchschnittliche Fluorgehalt der Feldspäte (Kalifeldspat und Plagioklas) ist  $37 \pm 15$  ppm, wobei die Plagioklase höhere Gehalte (bis 110 ppm) aufweisen als die Kalifeldspäte (bis 50 ppm). Diese Ergebnisse stimmen mit Literaturangaben gut überein (KORITNIG, 1971). Der Hauptfluorträger in den untersuchten Pegmatiten ist der Glimmer (in den meisten Fällen Muskovit); deshalb schwankt der Fluorgehalt der Gesteine mit ihrem modalen Gehalt an Muskovit.

Muskovite können nach Literaturangaben bis 3 Gew.-% Fluor enthalten (KORITNIG, 1971), die Gehalte in Biotiten liegen mit 2,8 Gew.-% knapp darunter (GÖTZINGER & KIESL, 1980). Der durchschnittliche Fluorgehalt aller gemessenen Muskovitproben aus den beiden Kristallin-Gebieten beträgt  $1625 \pm 826$  ppm. Es zeigt sich jedoch bei einer Aufteilung der Muskovite von Lithium-armen und Lithium-reichen Pegmatiten, daß letztere wesentlich reicher an Fluor sind:

Durchschnittliche Fluorgehalte in Muskoviten

- aus Lithium-armen Pegmatiten  $1044 \pm 365$  ppm,
- aus Lithium-reichen Pegmatiten  $2400 \pm 571$  ppm.

Es besteht demnach eine deutliche positive Korrelation zwischen dem Lithiumgehalt der Pegmatite (und der Muskovite) und dem Fluorgehalt der Muskovite. Zu

Tabelle 8: Durchschnittliche Lithium-, Beryllium- und Fluorgehalte [in ppm] ausgewählter Pegmatite und ihrer Hauptminerale Muskovit und Feldspat; Meßfehler bei Fluor 5 Rel.-%.

Probe	Lithium			Beryllium			Fluor		
	Gesamt-gestein	Muskovit	Feldspat	Gesamt-gestein	Muskovit	Feldspat	Gesamt-gestein	Muskovit	Feldspat
St. Radegund									
Ra 14A	7	42	3,50	4	2,7	4,5	204	1060	52
Ra 15	7200	360	n. b.	155	2,5	1,3	227	2310	13
Ra 27A	183	567	25	62	9,7	6,2	257	1800	26
Ra 36	8500	1630	(2540)*	159	9,7	5,5	100	1750	38
Ra 43	4	56	1	1,5	2,1	2,7	100	565	46
Ra 52	24	123	5,5	1	19	7	213	1210	70
Ra 60	50	330	65	0,7	2,3	4,5	260	1310	55
Gleinalpe									
N5 B,C	4	49	12	3,9	3,2	1,4	180	1020	48
N 11	3	10	4	0,4	0,3	0,6	62	1410	30
Gl 4A	119	390	80	2,6	1,8	7,3	282	2450	28
103	10	67	18	17	7,5	3,4	54	430	25
123	9000	2500	n. b.	437	8,2	n. b.	148	3090	36
123 N	8400	n. b.	(820)*	842	n. b.	28	110	3000	36
203	2	12	1	3,1	1,7	2,9	47	1350	20

\*) Feldspatfraktion offenbar durch Spodumenverwachsungen verunreinigt.

sehr ähnlichen Ergebnissen kommt auch LUECKE (1981) bei der Untersuchung von Muskoviten aus Lithium-Pegmatiten Irlands.

Der durchschnittliche Fluorgehalt der Spodumene liegt bei  $60 \pm 30$  ppm; Spodumene mit schwachen Anzeichen von Zersetzungen (Neubildung von Glimmer) zeigen etwas höhere Werte (bis 110 ppm).

## 5. Diskussion und Schlußfolgerungen

Spodumenpegmatite sind aus mehreren Gebieten des sich auf ca. 300 km W–E erstreckenden Altkristallins in den südlichen Teilen der Ostalpen bekannt. Solche Vorkommen beschreiben PROCHASKA (1981) aus der Rieserfernergruppe, Deferegger Alpen, ANGEL & MEIXNER (1953) aus der Umgebung Spittal a. d. Drau/Nockgebiet, GÖD (1978) als erratischen Block bei Landskron/Villach, HÖLLER (1959), POSTL & GOLOB (1979) aus dem Wildbachgraben/Koralpe, POSTL (1982) aus den Wölzer Tauern sowie ESTERLUS (1983) aus dem Anger-Kristallin. In der vorliegenden Arbeit werden Vorkommen (z. T. Neufunde) aus dem Arzwaldgraben/Gleinalpe und aus dem Radegunder-Kristallin (vgl. MACHATSCHKI, 1927; ANGEL et al., 1938) beschrieben. Diese überregionale Verteilung von Spodumenpegmatiten in altkristallinen Serien solch großräumiger Erstreckung wirft einige diskussionswürdige Probleme auf, vergleichende Betrachtungen erscheinen daher notwendig:

Der überwiegende Teil der Pegmatite ist Gneisen und Glimmerschiefern konkordant eingelagert. Ihre Altersstellung ist aufgrund der Durchbewegung (zerbrochene Turmaline, verbogene Muskovite und Spodumene) verbunden mit einer teilweisen Rekrystallisation als voralpin, sehr wahrscheinlich variskisch anzunehmen. Auch im Mineralbestand ergeben sich große Ähnlichkeiten, es treten vor allem feldspatreiche Pegmatite mit Quarz und teilweise untergeordnet Muskovit auf. In der Regel liegt Turmalin- und Granatführung vor, Apatit ist selten,

Beryll ist kaum vorhanden. Die Spodumene aller Vorkommen sind farblos bis hell graugelb, symplektitische Verwachsungen mit Quarz und/oder Albit wurden mehrfach beobachtet. Bei hohem Li-Angebot fehlen Lithiumglimmer und Lithiumphosphate, einzig Holmquist wird als zweites Lithiummineral beschrieben (GÖD, 1978). Einen Vergleich der Lithiumgehalte von Spodumenen und Muskovit aus gleichen Pegmatiten gibt Tabelle 5, daraus ergibt sich eine bemerkenswerte Streuung der Quotienten  $Li_{Spod}/Li_{Musk}$ , die mit einer beobachteten Glimmerneubildung (besonders in Probe 123) unter teilweiser Spodumenzersetzung erklärt werden kann.

Nur aus einem Spodumenpegmatit (Spittal) wurden größere Columbitvorkommen bekannt, alle anderen Vorkommen sind bis auf spurenweise akzessorische Gehalte (Wildbachgraben) arm an Nb-Ta-Mineralphasen. Diese Reihe von Ähnlichkeiten aller beschriebenen Spodumenpegmatite läßt die Zuordnung zu einem gemeinsamen Entstehungsereignis als möglich erscheinen. Ob entweder eine Herleitung von wohl granitischen Intrusionen mit weiterer W–E-Erstreckung realistisch erscheint oder wie weit auch Lateralsekretion (geringe Spurenelementgehalte) während einer Metamorphose dafür herangezogen werden kann, muß derzeit noch offen bleiben. Die Ausbildung hochmineralisierter Spodumenpegmatite würde für erstere Möglichkeit sprechen.

Die S-parallel mit den Spodumenpegmatiten auftretenden wesentlich häufigeren Li-armen Pegmatite müssen wegen ihrer Ähnlichkeiten wohl derselben Entstehung zugeordnet werden.

Aus dem derzeitigen Verteilungsbild der Spodumenpegmatite erscheinen uns Empfehlungen zu weiterführenden Untersuchungen wesentlich: Die weite Verbreitung sowie die relativ zahlreichen Neufunde der letzten Zeit sehr ähnlicher Spodumenpegmatite in altkristallinen Serien bestärken die Vermutungen, daß in den teilweise häufig pegmatitführenden Gebieten (z. B. Kreu-

zeckgruppe, westliche Gurktaler Alpen, Schladminger Tauern, Saualpe und Koralpe, über Stubalpe und Fischbacher Alpen bis zum Troiseck-Zug) weitere Spodumenvorkommen zu erwarten sind. Genaue Untersuchungen sind wegen des oftmals unscheinbaren Aussehens der Spodumene angebracht.

#### Literatur

- ALKER, A.: Zur Mineralogie der Steiermark. – Mitt.-Bl. Miner. Landesmuseum Joanneum, **2**, 25–65, Graz 1956.
- ANGEL, F.: Spodumen und Beryll aus den Pegmatiten von St. Radegund bei Graz. – Tschemm's Min. Petr. Mitt., **43**, 441–446, Wien 1933.
- ANGEL, F., MEIXNER, H. & WALTER, L.: Über den Lehrausflug zur Kristallinsel von Radegund bei Graz, 26. August 1938. – Fortschr. Min., **23**, Exkursionsberichte XLVII–LIV, Wien 1939.
- ANGEL, F. & MEIXNER, H.: Die Pegmatite bei Spittal an der Drau. – Carinthia II, **143**, 165–168, Klagenfurt 1953.
- BECKER, L.: Zum geologischen und tektonischen Aufbau des Stubalpenzuges (Stmk.) mit einem Vergleich seiner Position zur NE-Saualpe (Ktn.). – Carinthia II, **167**, 113–125, Klagenfurt 1977.
- BECKER, L. & SCHUMACHER, R.: Metamorphose und Tektonik in dem Gebiet zwischen Stub- und Gleinalpe, Stmk. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **65**, 1–32, Wien 1973.
- CERNY, P.: Berylliumwandlungen in Pegmatiten – Verlauf und Produkte. – N. Jb. Miner. Abh., **108**, 166–180, Stuttgart 1968.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J.: Rock-forming Minerals, Vol. 2A, Single-Chain Silicates. – 668 S., London (Longman) 1978.
- ESTERLUS, M.: Kurzer Überblick über die Pegmatite im Angerkristallin der Oststeiermark. – Archiv f. Lagerstättenforschung d. Geol. B.-A., **3**, Wien 1983 (Dieser Band!).
- FLÜGEL, H.: Geologische Wanderkarte des Grazer Berglandes. – Geol. B.-A., Wien 1960.
- FRANK, W., KLEIN, P., NOWY, W. & SCHARBERT, S.: Die Datierung geologischer Ereignisse im Altkristallin der Gleinalpe (Stmk.) mit der Rb/Sr-Methode. – Tschemm's Min. Petr. Mitt., **23** 191–203, Wien 1976.
- FRIEDRICH, O.: Über heimische Mineralvorkommen. – Mitt.-Bl. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, **1**, 1–5, Graz 1951.
- GÖD, R.: Vorläufige Mitteilung über einen Spodumen-Holmquist führenden Pegmatit aus Kärnten. – Anzeiger d. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., 161–165, Wien 1978.
- GORDIENKO, V. V.: (Concentration of lithium, rubidium and caesium in potassic feldspar as a criterion for the evaluation of rare metal mineralisation in granitic pegmatites). – Zap. Vses. Min. Obshch., **99**, 155–164, Moskau 1970 (in russisch).
- GÖTZINGER, M. A. & KIESL, W.: Chemismus der Hauptminerale des „Biotitschiefers“ im Serpentinzug des mittleren Kamptales, NÖ. – Anz. math.-naturwiss. Kl. Österr. Akad. Wiss., Jg. **1980**, 53–57, Wien 1980.
- GROHMANN, H.: Beitrag zur Geochemie österreichischer Granitoide. – Tschemm's Min. Petr. Mitt., **10**, 436–474, Wien 1965.
- HEIER, K. S. & ADAMS, J. A. S.: The geochemistry of the alkali metals. – Phys. Chem. Earth, **5**, 255–380, Oxford 1964.
- HEIER, K. S. & TAYLOR, S. R.: The distribution of Li, Na, K, Rb, Cs, Pb and Tl in Southern Norwegian Pre-Cambrian alkali feldspars. – Geochim. Cosmochim. Acta, **15**, 284–304, London 1959.
- HERITSCH, H.: Exkursion in das Kristallgebiet der Gleinalpe, Fensteralpen – Humpelgraben, Kleinthal. – Mitt. nat. Ver. Steiermark, **93**, 3–22, Graz 1963.
- HÖLLER, H.: Ein Spodumen-Beryll-Pegmatit und ein mineralreicher Marmor im Wildbachgraben bei Deutschlandsberg. – Mitt.-Bl. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, **1**, 19, Graz 1959.
- HÖRMANN, P. K.: Beryllium. – In: Handbook of Geochemistry, II-1, Ed.: K. H. WEDEPOHL, Berlin 1969.
- HÜGI, Th., SAHEURS, J. P. & SPYCHER, E.: Berylliumgehalte in granitischen Gesteinen der Schweizeralpen. – SMPM., **45**, 12–14, Zürich 1965.
- KREBERNIK, R.: Über Beryll-Vorkommen im Bezirk Voitsberg. – Mitt.-Bl. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, **2**, 30–31, Graz 1959.
- KOLLER, F., NIEDERMAYR, G., GÖTZINGER, M. & NEUMAYER, R.: Geologisch petrologische Untersuchungen der Pegmatite von St. Radegund sowie im Bereich der Gleinalpe, Stmk. Projekt StA 17. – Unveröff. Bericht d. Rohstoff-Forschungsprojektes, Geol. B.-A., Wien 1982.
- KOLLER, F. & NIEDERMAYR, G.: Die Mineralvorkommen der Diorite des nördlichen Waldviertels. – Ann. Naturhist. Mus. Wien, **82**, 193–208, Wien 1979.
- KORITNIG, S.: Ein Beitrag zur Geochemie des Fluor. – Geochim. Cosmochim. Acta, **1**, 89–116, London 1951.
- KORITNIG, S.: Fluorine. – In: Handbook of Geochemistry, Vol. II-1, Ed.: K. H. WEDEPOHL, Berlin 1971.
- KLUGER, F., WEINKE, H. H., KLEIN, P. & KIESL, W.: Bestimmung von Fluor in Vulkaniten von Filikudi und Alikudi (Äolische Inseln, Süditalien) sowie in einigen geochemischen Referenzstandards. – Chem. d. Erde, **34**, 168–174, Jena 1975.
- KUNTSCHNIG, A.: Das Bergland von Weiz. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, **63**, 91–110, Graz 1927.
- LEVINSON, A. A.: Studies in the mica group; relationship between polymorphism and composition in the muscovite-lepidolite series. – Amer. Min., **38**, 88–107, 1953.
- LUECKE, W.: Lithium Pegmatites in the Leinster Granite (south-east Ireland). – Chem. Geol., **34**, 195–233, Amsterdam 1981.
- MACHATSCHKI, F.: Beitrag zur Kenntnis der mittelsteirischen Pegmatite und ihrer Mineralien. – Zentrabl. f. Min., A, Jg. 1927, 240–254, Wien 1927.
- METZ, K.: Geologische Karte der Steiermark. – Graz (Akad. Druck- u. Verlagsanst. Graz) 1968.
- NEUWIRTH, E.: Die Amphibolite von Radegund. – Mitt. naturw. Ver. Steiermark, **79/80**, 149–164, Graz 1951.
- PETROVA, Z. I. & PETROV, L. L.: Beryllium in minerals of granitoids. – Geochem. Intern., **2**, 488–492, 1965.
- POSTL, W.: Mineralogische Notizen aus der Steiermark. – Die Eisenblüte Jg. **3**, N. F., 7–9, Graz 1982.
- POSTL, W.: Mineralogische Notizen aus der Steiermark. – Mitt.-Bl. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, **46**, 5–22, Graz 1978.
- POSTL, W. & GOLOB, B.: Ilmenorutil (Nb-Rutil), Columbit und Zinnstein aus einem Spodumenpegmatit im Wildbachgraben, Koralpe (Steiermark). – Mitt.-Bl. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, **47**, 27–35, Graz 1979.
- PROCHASKA, W.: Ein spodumenführender Pegmatit im Altkristallin der Rieserfernergruppe, Südtirol. – Anz. d. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., 33–38, Wien 1981.
- ROBITSCH, J.: Das Radegunder Kristallin. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, **77/78**, 101–138, Graz 1949.
- SCHARBERT, S.: Stub- und Gleinalpe sowie die südwestlichen Fischbacher Alpen und das Kristallgebiet von Anger. – In: Der geologische Aufbau Österreichs. OBERHAUSER, R. (Ed.), 695 S., 392–396, Wien (Springer) 1980.
- SCHÖNLAUB, H. P. & OBERHAUSER, R.: Das Bergland um Graz sowie Remschnigg und Sausal. – In: Der geologische Aufbau Österreichs. OBERHAUSER, R. (Ed.), 695 S., 396–403, Wien (Springer) 1980.
- SHTERNBERG, A. A., IVANOVA, T. N. & KUZNETSOV, V. A.: Spodumene – a mineral depth indicator. – Dokl. Acad. Sci. USSR, Earth Sci. Sect., **202**, 111–114; Transl. from Dokl. Akad. Nauk. SSR, **202**, 175–178, Moskau 1972.
- STEWART, D. B.: Petrogenesis of Lithium-rich pegmatites. – Amer. Min., **63**, 970–980, Washington 1978.
- SWANSON, H. E., GILFRICH, N. T. & UGRINIC, G. M.: Lead Nitrate, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (cubic), Standard X-Ray diffraction powder patterns. – National Bureau of Standards circ. 539, vol. **V**, 36–37, Washington 1955.
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich. – Bd. 1, 766 S., Wien (Deuticke) 1977.
- TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H.: Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. – Bull. Geol. Soc. Amer., **72**, 175–182, New York 1961.

VINOGRADOV, A. P.: Average contents of the chemical elements in the principal types of igneous rocks of the Earth's crust. – Geochemistry (Transl. Geokhimiya), 641–664, Moskau 1962.  
WEDEPOHL, K. H.: Geochemie. – 220 S., Berlin (W. de Gruyter & Co.) 1957.  
WEISSENSTEINER, G.: Uranminerale der Steiermark. – Mitt.-

Bl. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, 42, 25–28, Graz 1975.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 21. Dezember 1982.