

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften
ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde
Nr. 54

Zur Geochemie der präkambrischen Gesteine der Elbezone
unter besonderer Berücksichtigung etwa gleichalter
Gesteinskomplexe ihres Rahmens

von

Alexander Frischbutter

Als Manuskript gedruckt
Potsdam 1979

Technische Redaktion: Dipl. phil. HASERT

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einführung	8
2. Probennahme und Methodik	12
3. Hauptelemente	13
4. Spurenelemente	24
4.1. Verteilung und Streuung	24
4.2. Spurenelementgehalte im Streichen der Gneise	27
4.3. Spurenelementverhältnisse	27
4.4. Mathematisch-statistische Bearbeitung der Daten	32
4.4.1. Elementkorrelationen	32
4.4.2. Komponentenanalyse nach R-Methode mit Varimax-Rotation und Clusteranalyse	33
5. Wechselbeziehungen Stoffbestand - Metamorphosegrad	39
Literatur	43

Z u s a m m e n f a s s u n g

Ausgehend von den geologischen Ergebnissen einer Neukartierung des Präkambriums der Elbezone zwischen Dresden und Merschwitz an der Elbe, werden die Resultate von Spuren- und Hauptelement-Analysen lithostratigraphischer Einheiten des Präkambriums der Elbezone vor allem unter dem Gesichtspunkt der Beziehungen zwischen Variationen des Stoffbestandes und veränderlichen Metamorphosebedingungen diskutiert.

Das Untersuchungsgebiet bietet hierfür ein geeignetes Objekt, da sowohl für verschiedene Intensitätsgrade kinematischer Metamorphose als auch für statische Metamorphoseentwicklung (Lausitzer Antiklinalzone) auf Grund geologischer Ergebnisse ein stofflich gleiches Edukt vorausgesetzt werden kann, womit die wesentlichste Voraussetzung solcher Untersuchungen erfüllt ist.

Gegenüber ähnlich zusammengesetzten Gesteinen sind die untersuchten Gesteinskomplexe verarmt an SiO_2 , FeO , Fe_2O_3 , MgO und CaO , erreichen entsprechende Werte für Na_2O und sind an K_2O angereichert (Werte im Verhältnis zu Al_2O_3). Erhöhte K_2O -Gehalte sind vor allem (abgesehen von Orthogesteinen) für kataklastisch deformierte und kontaktmetamorphe Paragesteine typisch. Ein Anstieg der Alkali-Gehalte ist ebenfalls mit der Migmatisierung der Gesteine der Großenhainer Serie verbunden. Eine Korrelation zwischen den Hauptelementgehalten und dem Alter ähnlich zusammengesetzter Gesteine scheint nicht zu bestehen.

Die Spurenelementgehalte der untersuchten Gesteinskomplexe (ohne Augengneise des Plutons von Coswig) liegen für die aufgeführten Elemente etwa

im Clarke der Lithosphäre nach VINOGRADOV (1962): Li, Sn, Zn, V;

im Granitclarke nach TISCHENDORF u.a. (1972): Sn, Zr, Zn, V, Cu;

im Durchschnittsgehalt der "Grauen Gneise" des Erzgebirges nach OESTREICH (1973): Rb, Be, Zr, Sr, Zn, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni;

höher als alle drei Vergleichswerte: Pb, Ba.

Elementverhältnisse, wie sie vielfach zur Faziesanalyse verwendet wurden, eignen sich gut zur Darstellung verschiedener Intensitätsstufen kinematischer Metamorphose. Die Übergänge zwischen den einzelnen Typen tragen fließenden Charakter.

Aus den Ergebnissen verschiedener mathematisch-statistischer Verrechnungsverfahren ist zu erkennen, daß die kinematische Metamorphose "granitoid" zusammengesetzter Paragesteine in deren Spurenelementbestand - ausgehend von einer statistischen Verteilung im Edukt - eine (in Abhängigkeit vom Intensitätsgrad der Metamorphose) Verstärkung korrelativer Bindungen der Elemente in Form von getrennten Gruppierungen granitophober und granitophiler Elemente bewirkt. Aufgehoben wird eine solche Elementgruppierung mit dem Auftreten der ersten partiellen Mobilisationen. Starke bis sehr starke kinematische Metamorphose und statische Metamorphose bis zur Anatexis führen zu gleichen Spurenelementbeziehungen.

Summary

Basing on the geological results of a new mapping of the Precambrian of the Elbe region between Dresden and Merschwitz on the Elbe, the results of minor and major element analyses of lithostratigraphic units of the Precambrian of the Elbe region are discussed mainly under the aspect of the relations between variations of matter composition and variable conditions of metamorphism.

The investigated region presents a suitable object for this purpose, because for different degrees of intensity of kinematic metamorphism as well as static development of metamorphism (Lausitz anticlinal zone), on the basis of geological results, an original material of equal composition can be assumed, which satisfies the most essential precondition of such investigations.

In contrast to rocks of similar composition, the investigated rock complexes are impoverished of SiO_2 , FeO , Fe_2O_3 , MgO , and CaO , reaching equivalent values for Na_2O and being enriched with K_2O (values as referred to Al_2O_3). Increased K_2O -levels are (apart from ortho-rocks) typical mainly of cataclastically deformed and contact-metamorphic para-rocks. An increase in the alkali content likewise correlates with the migmatization of the rocks of the Großenhain series. It appears that there is no correlation between the major-element concentrations and the age of the rocks of similar composition.

The minor-element concentrations of the investigated rock complexes (except for the augen-gneisses of Coswig pluton) are, for the elements listed below,

within the Clarke of the lithosphere according to VINOGRADOV (1962): Li, Sn, Zn, V;

within the granite Clarke as given by TISCHENDORF et.al. (1972): Sn, Zr, Zn, V, Cu;

within the average concentration of the "grey gneisses" of the Erzgebirge as given by OESTREICH (1973): Rb, Be, Zr, Sr, Zn, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni;

higher than all the three of the reference values: Pb, Ba.

Element ratios, as they are frequently used in the facies analysis, are quite suitable for the representation of different intensity levels of a kinematic metamorphism. The transitions between the individual types are of flowing character.

From the results of different methods of calculation of mathematical statistics it is observed that the kinematic metamorphism of para-rocks of "granitoid" composition - starting from a statistical distribution in the original material - causes an enhancement (depending on the degree of intensity of the metamorphism) of the correlations between the minor elements contained in those rocks, in the form of separate groupings of granitophobic and granitophilic elements. Such an element grouping is compensated by the first occurrence of partial mobilizations. An intensive or highly intensive kinematic metamorphism and static metamorphism up to anatexis result in equivalent minor-element relations.

R é s u m é

Partant des résultats géologiques obtenus lors d'un nouveau cadrage cartographique du précambrien de la zone de l'Elbe entre Dresde et Merschwitz/Elbe, on discute les analyses effectuées sur des traces d'éléments et des éléments principaux d'unités lithostratigraphiques du précambrien de la zone de l'Elbe, notamment sous l'angle des rapports existant entre les variations de la matière et les conditions changeantes du métamorphisme.

La région de prospection offre à cela un objet adéquat du fait que non seulement pour les différents degrés d'intensité du métamorphisme cinématique mais encore pour le développement statique du métamorphisme (zone anticlinale de la Lusace), on peut supposer suite aux résultats géologiques un extrait de matière égale, ce qui crée la condition principale pour de telles recherches.

Par rapport à des rochers montrant une composition analogue, les complexes rocheux ayant fait l'objet d'études particulières sont appauvris en SiO_2 , FeO , Fe_2O_3 , MgO et CaO , accusent des valeurs correspondantes pour Na_2O et sont enrichis en K_2O (valeurs par rapport à Al_2O_3). Des teneurs augmentées en K_2O sont surtout typiques (abstraction faite des rochers orthométamorphiques) pour des roches paramétamorphiques à déformation cataclastique et à contact. Une augmentation des teneurs en alcali est liée également à la migmatisation des roches de la série de Groszenhain. Une corrélation entre les teneurs en éléments principaux et l'âge des roches à structure analogue ne semble pas exister.

Les teneurs en traces d'éléments des complexes rocheux (sans les gneiss ocellés du Pluton de Coswig) se situent pour les éléments énumérés:

dans le clarke de la lithosphère d'après VINOGRADOV (1962): Li, Sn, Zn, V;

dans le clarke granitique d'après TISCHENDORF et al. (1972): Sn, Zr, Zn, V, Cu;

dans la teneur moyenne des "gneiss gris" de l'Erzgebirge d'après OESTREICH (1973): Rb, Be, Zr, Sr, Zn, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni;

supérieures à toutes les trois valeurs de référence: Pb, Ba.

Les rapports des éléments, tels qu'ils s'utilisent souvent dans l'analyse des faciès, se prêtent bien pour représenter les différentes intensités du métamorphisme cinématique. Les transitions entre les différents types s'effectuent progressivement.

Partant des résultats obtenus avec différents procédés de compensation mathématiques et statistiques, on peut constater que le métamorphisme "granitoïde" des roches à composition paramétamorphique provoque dans leurs traces d'éléments - partant d'une répartition statistique dans l'extrait - et en fonction de l'intensité du métamorphisme, un renforcement des liaisons corrélatives des éléments sous formes de groupements séparés d'éléments granitophobes et d'éléments granitophiles. Un tel groupement d'éléments est annulé avec l'apparition des premières mobilisations partielles. Le métamorphisme cinématique et le métamorphisme statique, fort jusqu'à très fort, allant jusqu'à l'"anastexis", amènent des relations égales pour les traces d'éléments.

Резюме

Исходя из результатов нового геологического картирования докембрийских толщ в зоне Эльбы между городами Дрезден и Мершвицем, рассматриваются итоги анализов малых и главных элементов литостратиграфических единиц докембрия в зоне Эльбы, главным образом, в свете связей между вариациями вещественного состава и изменяющихся условий метаморфизма.

Данный район является приемлемым объектом для исследований, поскольку как для различных степеней интенсивности кинематического метаморфизма, так и для статического развития метаморфизма (Лаузитцская антиклинальная зона) на основе геологических результатов можно предположить эдукт одного и того же вещественного состава, что выполняет самое основное условие для проведения таких исследований.

По сравнению с горными породами сходного состава исследуемые комплексы горных пород бедны SiO_2 , FeO , Fe_2O_3 , MgO и CaO , достигают соответствующих значений Na_2O и обогащены K_2O (значения приведены по отношению к Al_2O_3). Повышенное содержание K_2O прежде всего типично (не учитывая ортопороды) для катакластически деформированных и контактнометаморфных парапород. Увеличение содержания щелочи связано еще и с мигматизацией горных пород Гроссенхайнской серии. Корреляции между содержанием главных элементов и возрастом горных пород аналогичного состава, наверное, нет.

Содержание малых элементов в исследованных комплексах горных пород (не включая оловянный гнейс плутона из Козвига) составляет для приведенных элементов примерно

в кларке литосферы по ВИНОГРАДОВУ (1962) : Li , Sn , Zn , V ;

в гранитном кларке по ТИШЕНДОРФУ и др. (1972) : Sn , Zr , Zn , V , Cu ;

в среднем содержании "серых гнейсов" Рудных гор по ЁСТРАЙХУ (1973): Pb ,

Be , Zr , Sr , Zn , Ti , V , Cu , Co , Cr , Ni ;

то есть, выше, чем у трех сравнительных значений: Pb , Ba .

Соотношения элементов, неоднократно используемые для фациального анализа, пригодны и для представления различных ступеней интенсивности кинематической метаморфизма. Переходы между отдельными типами плавные.

Как видно из результатов различных статистических вычислительных методов, кинематическая метаморфизма парапород "гранитоидного" состава вызывает в их составе малых элементов - исходя из статистического распределения в эдукте - усиление (в зависимости от интенсивности метаморфизма) коррелятивных связей элементов в форме образования отдельных группировок гранитофильных элементов. Одна из таких группировок элементов, в которой встречаются первые частичные мобилизации, исчезает. Сильный и очень сильный кинематический метаморфизм, а также статический метаморфизм вплоть до анатексиса приводят к таким же связям между малыми элементами.

1. Einführung

Die Elbezone stellt den mittleren Teil einer bis zu 50 km breiten und etwa 500 km langen Zone von Tiefenbrüchen (Elbelineament) zwischen der Flechtingen-Roßlauer Scholle im NW und der Moravischen Linie im SE. Die lineamentspezifische Entwicklung dieser Zone bezüglich Sedimentation, Magmatismus und Tektonik in paläozoischer bis känozoischer Zeit ist durch eine Vielzahl von Arbeiten bekannt (DECKER 1968; GALLWITZ 1955; MÖBUS 1964, 1966; PIETZSCH 1956, 1962; SCHMIDT 1956, 1960; TRÜGER, BEHR & REICHEL 1969; WATZNAUER u.a. 1973; u.a.).

Die lineamentäre Elbezone trennt zwei regionale Groseinheiten mit ähnlicher stofflicher Entwicklung, aber unterschiedlicher Deformation: Im Bereich der Lausitzer Antiklinalzone trägt die Metamorphose vorwiegend statischen Charakter, im Gebiet der Fichtelgebirgisch-Erzgebirgischen Antiklinalzone dominiert eine kinematische Deformation. Ausgangspunkt dieser postsedimentär stark unterschiedlichen Entwicklung ist im wesentlichen ein Sediment mit Grauwackennatur mit nur untergeordneten Einschaltungen von Kalksteinen, Quarziten, Amphiboliten. Wesentlich für die geochemische Bearbeitung der präkambrischen Gesteine und ihren geochemischen Vergleich mit den regionalen Nachbareinheiten ist die geologisch begründete Annahme der grundsätzlichen Ähnlichkeit der Edukte in stofflicher Hinsicht. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit der Untersuchung stofflicher Veränderungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Deformations- bzw. Metamorphosebedingungen.

Die geochemische Bearbeitung der präkambrischen Gesteine der Elbezone basiert auf einer detaillierten Neuaufnahme des Gebietes zwischen Dresden im SE und Merschwitz an der Elbe im NW (Abb. 1). Präkambrische Gesteine streichen in diesem Abschnitt der Elbezone in drei regionalen Einheiten aus:

- entlang der Westlausitzer Störung in einem 1 - 2 km breiten Streifen zwischen Dresden-Klotzsche - Radeburg - Großenhain und Merschwitz an der Elbe,
- in den Gneisschollen im Syenodiorit und Biotitgranodiorit des Meißner Massivs und
- entlang des S- und E-Kontaktes des Laaser Granodiorits.

Das sedimentäre Präkambrium der Elbezone ist lithostratigraphisch vom Liegenden zum Hangenden zu gliedern in (FRISCHBUTTER 1976):

- Serie der Großenhainer Gneise: Mächtigkeit mehr als 300 m, Einlagerungen von Kalksilikatgesteinen, Amphiboliten und reliktsche Wechsellagerungen von Gesteinen unterschiedlichen Pelitanteils belegen die Paranatur der gleichkörnig-feinblasrigen Zweiglimmergneise mit Biotitvormacht und etwa granodioritischem Stoffbestand.
- Serie der Ebersbacher Gneise: Mächtigkeit mehr als 450 m, Wechsellagerung ebenflächig-feinschiefriger und blasriger Gneise granodioritischer Zusammensetzung mit geringmächtigen Einlagerungen von feinkörnig-ebenschiefrigen, quarzitischen Gneisen und Quarz-Feldspatgneisen (Metaarkosen).
- Serie der Metagrauwacken von Rödern: Mächtigkeit mehr als 750 m, Wechsellagerung von Metagrauwacken mit unterschiedlichem Pelitanteil, zu gliedern in eine liegende, überwiegend schiefrige Folge mit Einschaltungen von geröllführenden Metagrauwacken und Metagrauwackenquarziten und eine hangende, überwiegend quarzitisches Folge.

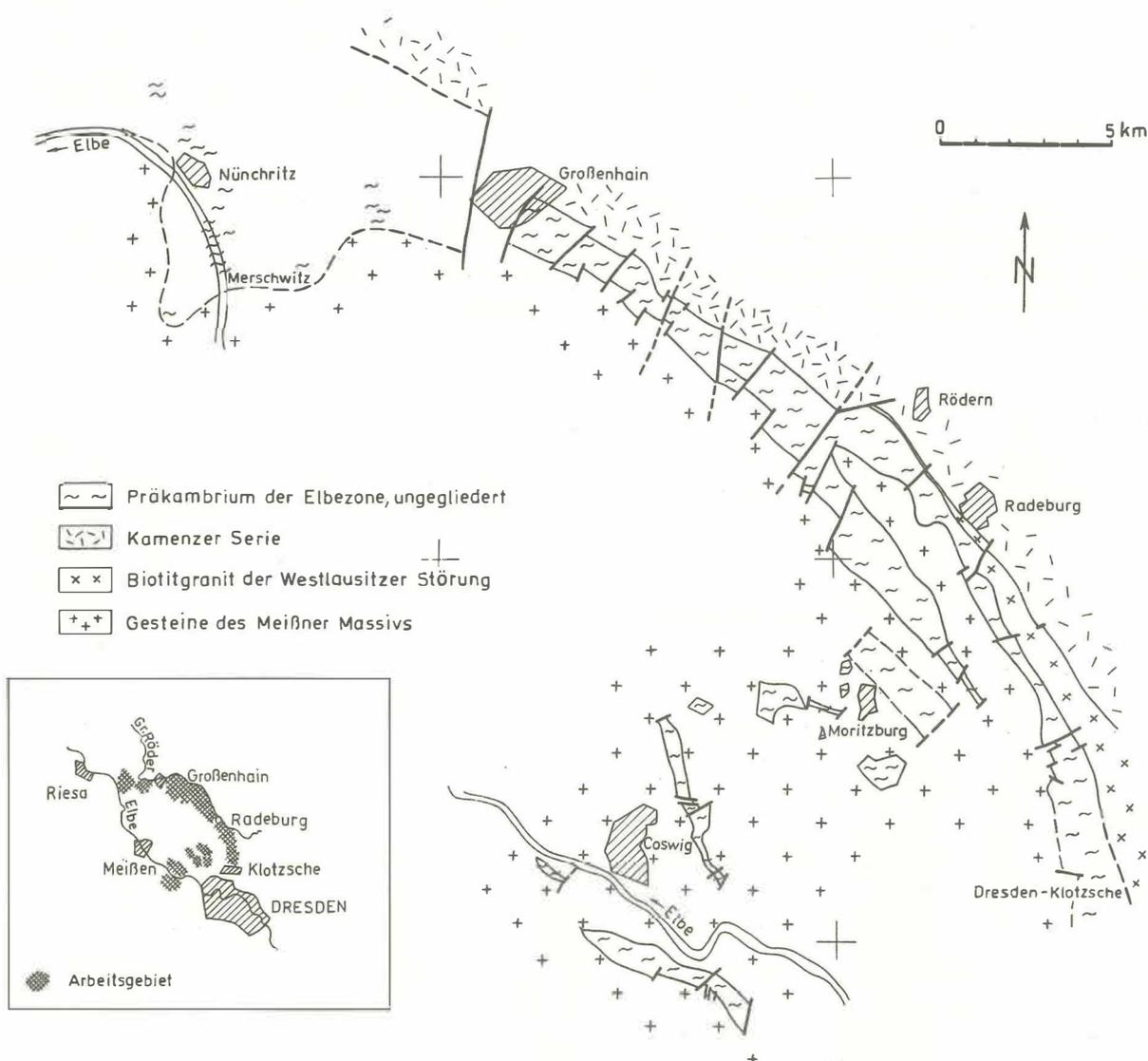


Abb. 1. Übersichtskarte zum Untersuchungsgebiet

Die lithostratigraphische Gliederung des sedimentären Präkambriums der Elbezone (Abb. 2) läßt sich bis in Einzelheiten auch für das Präkambrium am Südrande des Laaser Granodiorits anwenden. Im Präkambrium des Osterzgebirges entsprechen sich faziell Osterzgebirgische und Großenhainer Serie sowie Preßnitzer und Röderner Serie. Die Zuordnung der dazwischen einzustufenden Ebersbacher Serie ist nicht sicher vorzunehmen.

Ergebnisse von Untersuchungen des Geröllbestandes konglomeratischer Grauwacken bei- derseits der Westlausitzer Störung ergaben, daß für die Kamenzer Serie ein jüngeres Alter als für die Röderner Serie angenommen werden muß.

Wichtigstes Glied des Orthokomplexes im Präkambrium der Elbezone sind die Augengneise des Plutons von Coswig. Diese porphyrischen Granite intrudierten in die Ebersbacher Serie (vor deren Metamorphose) und erzeugten in dieser einen Kontakthof. Gemeinsam unterlagen die Gesteine einer Regionalmetamorphose zu (etwa) baikalischer Zeit. Der Pluton von Coswig (FRISCHBUTTER 1976) ist ein präkambrischer Vorläufer des variszischen Meißner Massivs.

Zum Orthokomplex des Präkambriums der Elbezone sind darüber hinaus noch einige kleinere Vorkommen zu zählen: der in die Edukte der Großenhainer Gneise intrudierte Diorit von Bärwalde, die Ganggefölgenschaft des Plutons von Coswig (Mikrogranite und evtl. Amphibolite). Sie wurden aber nicht geochemisch untersucht.

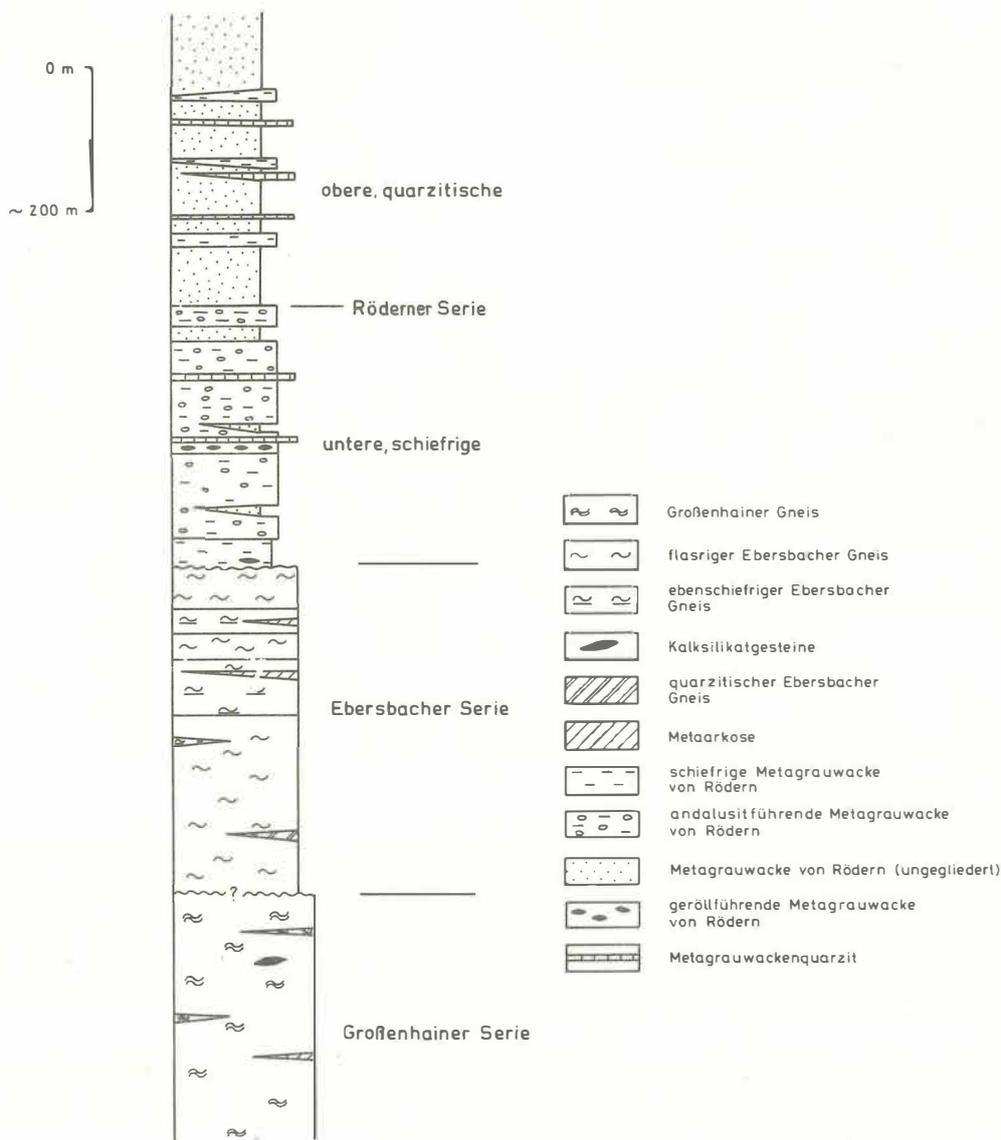


Abb. 2. Lithostratigraphische Gliederung des Präkambriums der Elbezone

Die dynamometamorphe Prägung (eines der mindestens vier metamorphen Ereignisse, denen das Präkambrium der Elbezone unterlag) erfolgte graduell im Bereich der schwachen und der mittleren bis starken Metamorphose. Mit den metatektischen Gneisen von Merschwitz an der Elbe werden Bereiche partieller Mobilisation erreicht. Daraus ergibt sich das Bild einer von SE (Dresden-Klotzsche) nach NW (Merschwitz an der Elbe) ansteigenden Metamorphose-Intensität, einerseits bezüglich des gesamten Präkambrium-Ausstriches, da auf Grund des strukturellen Baus der Zone nach NW zunehmend tiefere Teile ausstreichen, andererseits damit auch gleichzeitig innerhalb der lithostratigraphischen Serien. Die metatektischen Gneise von Merschwitz (Typ der Großenhainer Serie) sind im Hinblick auf strukturelle Faktoren nicht in dieses Profil nach NW anwachsender Deformationsintensität einzuordnen, sondern in ihrer Bildung auf lokale strukturelle Besonderheiten zurückzuführen.

Die einzelnen Metamorphose-Intensitätsstufen innerhalb der Serien lassen sich hinlänglich genau mittels der Anorthitgehalte der Plagioklase sowie der Biotitwachstumsformen bestimmen. Für die geochemische Bearbeitung sind danach innerhalb der Großenhainer Serie mit steigendem Intensitätsgrad der Metamorphose folgende Typen unterschieden worden: Gneistyp Radeburg-Klotzsche - Gneistyp Großenhain - Gneistyp Skassa-Merschwitz. Diese drei Typen repräsentieren etwa ein streichendes Metamorphoseprofil durch die Großenhainer Serie innerhalb der nordöstlichsten Großschuppe des aus drei NW--SE streichenden Großschuppen bestehenden Präkambriums der Elbezone. Diese Großschuppen sind durch Gesteine des variszischen Meißner Massivs voneinander getrennt.

Kennzeichnend für den strukturellen Bau des Präkambriums der Elbezone ist ein NW--SE streichender, NE-vergenter Schuppenbau, dessen Intensität in gleicher Richtung wie der Anstieg des Metamorphosegrades wächst. Für das gesamte Verbreitungsgebiet des Präkambriums der Elbezone läßt sich ein durch die Gesteine des Meißner Massivs unterbrochenes NW--SE gerichtetes Antiklinorium konstruieren, dessen Kern aus den Gesteinen der Großenhainer Serie und dessen SW-Flanke vor allem durch den Pluton von Coswig und Ebersbacher Gneise aufgebaut wird, während auf der NE-Flanke zunehmend jüngere lithostratigraphische Serien ausstreichen.

2. Probennahme und Methodik

Zum Zwecke geochemischer Untersuchungen (Spuren- und Hauptelemente wurden vor allem für die Gesteine der lithostratigraphischen Serien der Elbezone Analysen angefertigt. Gruppenweise kamen Gesteine einer Serie oder eines Typs einer Serie zur Untersuchung, um den geologischen Bedingungen so weit wie möglich gerecht zu werden. Eine solche Typenuntergliederung machte sich beispielsweise für die Serie der Großenhainer Gneise notwendig, da u.a. beispielsweise die Kontaktwirkungen seitens des Syenodiorits (Meißner Massiv) lokal unterschiedliche Varietäten des Großenhainer Gneises bedingen.

Die aus dem Bereich der Elbezone untersuchten präkambrischen Gesteinsgruppen sind:

- Röderner Serie (Metagrauwacken),
- Großenhainer Serie (Gneise):
 - Gruppe Großenhain (Normalausbildung),
 - Gruppe Merschwitz (migmatitisch-metatektisch),
 - Gruppe Radeburg-Klotzsche (aplitgranitisch durchtränkt seitens des variszischen Meißner Massivs),
- Pluton von Coswig (Augengneise).

Aus dem Bereich der präkambrischen Gesteine der Lausitzer Antiklinalzone wurden untersucht:

- Kamenzer Serie (Grauwacken),
- Lausitzer Anatexit (Zweiglimmergranodiorit),
- Westlausitzer Granodiorit (Granodiorit von Demitz-Thumitz).

Der Literatur entnommen wurden: Werte für die "Grauen Gneise" des Erzgebirges (OESTREICH 1973), für die Großenhainer und Röderner Serie (SCHMIDT 1956), der Granodiorite der Lausitz (PIETZSCH 1962) und das Präkambrium des Schwarzburger Antiklinoriums (BANKWITZ 1973). - Die den Ergebnissen zugrunde liegenden Analysenwerte sowie die geographische Position der Probenahmepunkte nebst Gesteinsgrobcharakteristik sind in FRISCHBUTTER (1976) enthalten.

3. Hauptelemente

Die Anzahl der vorhandenen Hauptelementbestimmungen rechtfertigt nur eine grundsätzliche Charakteristik der Gesteinskomplexe. In den untersuchten Gesteinskomplexen variieren die Gehalte in engen Grenzen. Stärkere Veränderungen sind fast ausnahmslos Gesteinen in strukturell exponierter Lage zuzuweisen.

Die SiO_2 -Gehalte sind in Grauwacken, Gneisen und Granodioriten etwa gleich, streuen aber in den Westlausitzer Granodioriten (Demitz-Thumitz) am wenigsten. Erhöhte SiO_2 -Gehalte, stets verbunden mit höheren Gehalten an freiem Quarz (q) und überwiegend auch mit erhöhten k-Werten, sind für die migmatitischen Gneise von Merschwitz, die Gneisschollen im Syenodiorit von Moritzburg, die mylonitischen Großenhainer Gneise von Radeburg an der Westlausitzer Störung (alles Großenhainer Serie) und für die Metagrauwackenmylonite vom Achselberg bei Göhra (Röderner Serie) typisch.

Die Al_2O_3 -Gehalte der Gneise und des Lausitzer Anatexits liegen nur unwesentlich über denen des Westlausitzer Granodiorits von Demitz-Thumitz. Fe_2O_3 - und FeO-Gehalte sind gegenläufig; Mittelwerte und Streuungen sind für alle Gesteine ähnlich. Ebenfalls gegenläufig verhalten sich K_2O - und Na_2O -Gehalte. K_2O steigt in den migmatitischen Gneisen, den Granodioriten und in allen kataklastisch deformierten Gesteinen (siehe auch SiO_2 -Gehalte). CaO erreicht seine höchsten Werte in den Granodioriten, vor allem in denen von Demitz-Thumitz. Dagegen liefern die Gneise und Grauwacken höhere MgO-Werte als die Granodiorite. Die TiO_2 -Gehalte sind für alle Gesteinskomplexe etwa gleich, streuen jedoch in den Gneisen stärker als in den Granodioriten. P_2O_5 und MnO erreichen in allen Gesteinen etwa gleich niedrige Werte. Die CO_2 -Gehalte sind nicht mit den CaO-Gehalten korreliert, Ca ist demnach überwiegend in Silikaten fixiert.

Aus der Darstellung von K_2O gegen Na_2O (Abb. 3) ist die Kalium-Betonung der Augengneise bei Cossebaude (Pluton von Coswig) gegenüber den konzentrierten Punktlagen für die Gneise, Granodiorite und Grauwacken zu erkennen.

Bemerkenswert erscheint die Übereinstimmung der $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ -Verhältnisse (etwa 1) der Westlausitzer Granodiorite von Demitz-Thumitz und der migmatitischen Gneise von Merschwitz bei zentraler Lage gegen die Großenhainer Gneise im Typusgebiet um Großenhain mit einem $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ -Verhältnis < 1 und gegen den Anatexit der Lausitz > 1 .

Dieses Bild ändert sich auch nicht, bezieht man die Alkalien auf Aluminium: relativ Na-betonte Großenhainer Gneise, relativ K-betonte Anatexite der Lausitz und dazwischenliegend die Granodiorite von Demitz-Thumitz mit den migmatitischen Gneisen von Merschwitz. Der Anteil toniger Komponenten unterscheidet diese Gesteinskomplexe also nicht.

Trägt man die Summe der Alkalien $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ gegen $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ (Abb. 4) auf, so ergibt sich kaum eine Unterscheidungsmöglichkeit der Gesteinskomplexe - bei variierenden $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ -Werten bleibt die Summe der Alkalioxide relativ konstant, wobei dieser Alkaliwert auch für die Augengneise des Elbtals (Pluton von Coswig) zu gelten scheint. Etwas ändert sich die Gruppierung, wählt man zur gleichen Darstellung nicht die Oxide, sondern die Kationenprozentage (Abb. 5): Zwischen dem recht eng gefaßten Feld der Granodiorite von Demitz-Thumitz und dem "positiv korrelierten Feld" des Lausitzer Anatexits

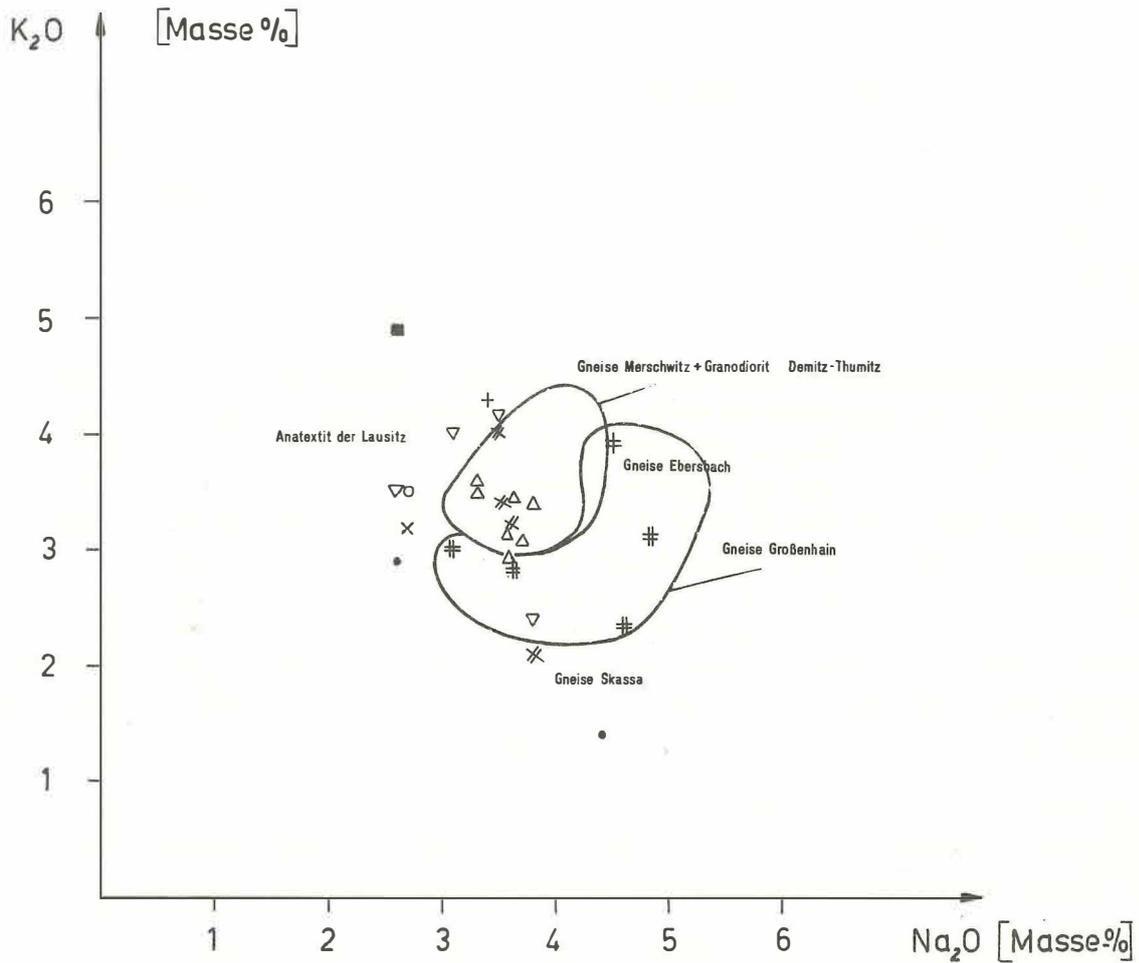


Abb. 3. K_2O/Na_2O -Diagramm

Die Na-Betonung mit steigendem Metamorphosegrad wird für die untersuchten Gesteinskomplexe durch eine K-Betonung überlagert. Die metatektischen Gneise der Großenhainer Serie von Merschwitz und die Granodiorite von Demitz-Thumitz ergeben eng benachbarte Punktlagen (Legende siehe Anlage)

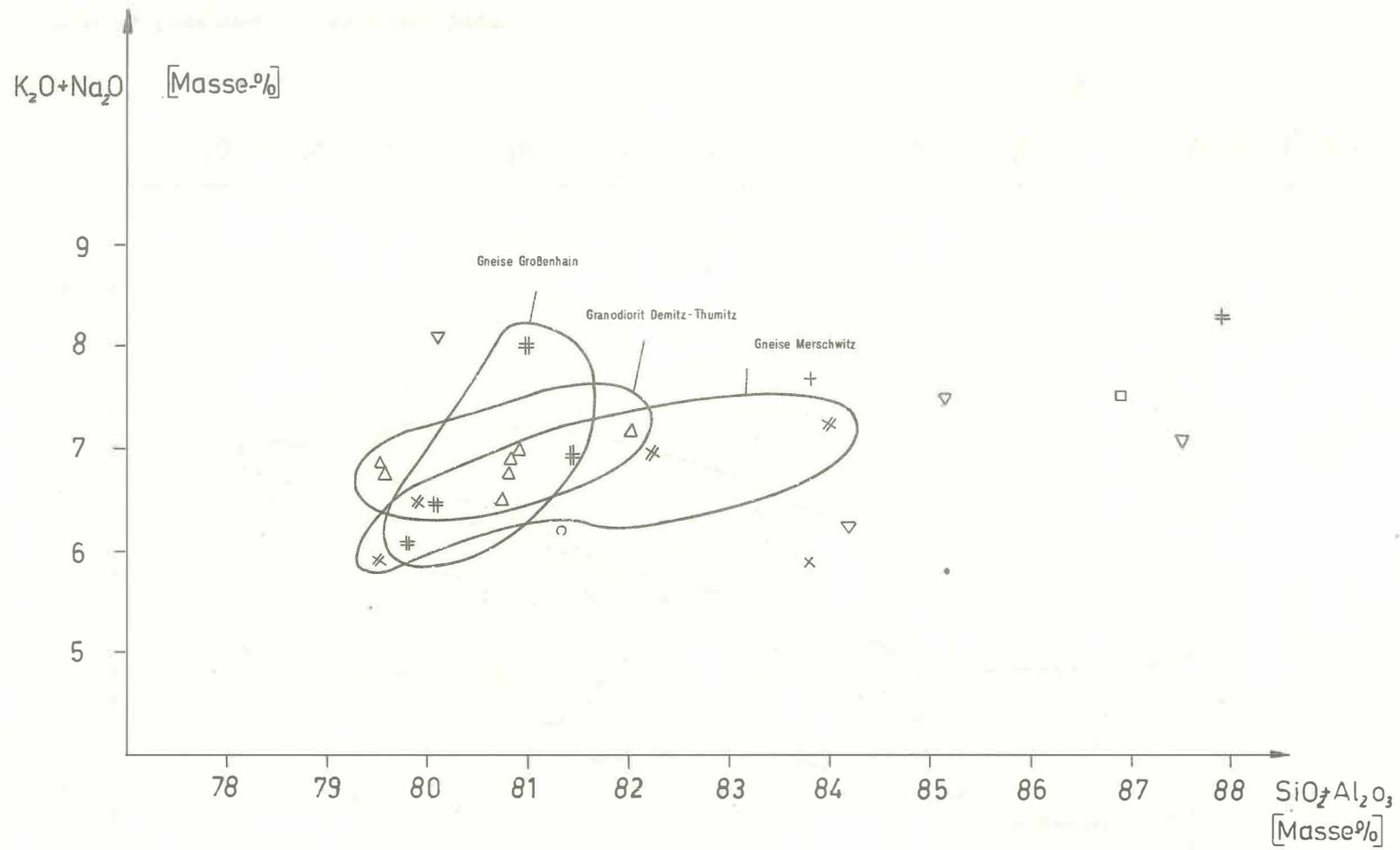


Abb. 4. Diagramm der Oxid-Summen
(Legende siehe Anlage)

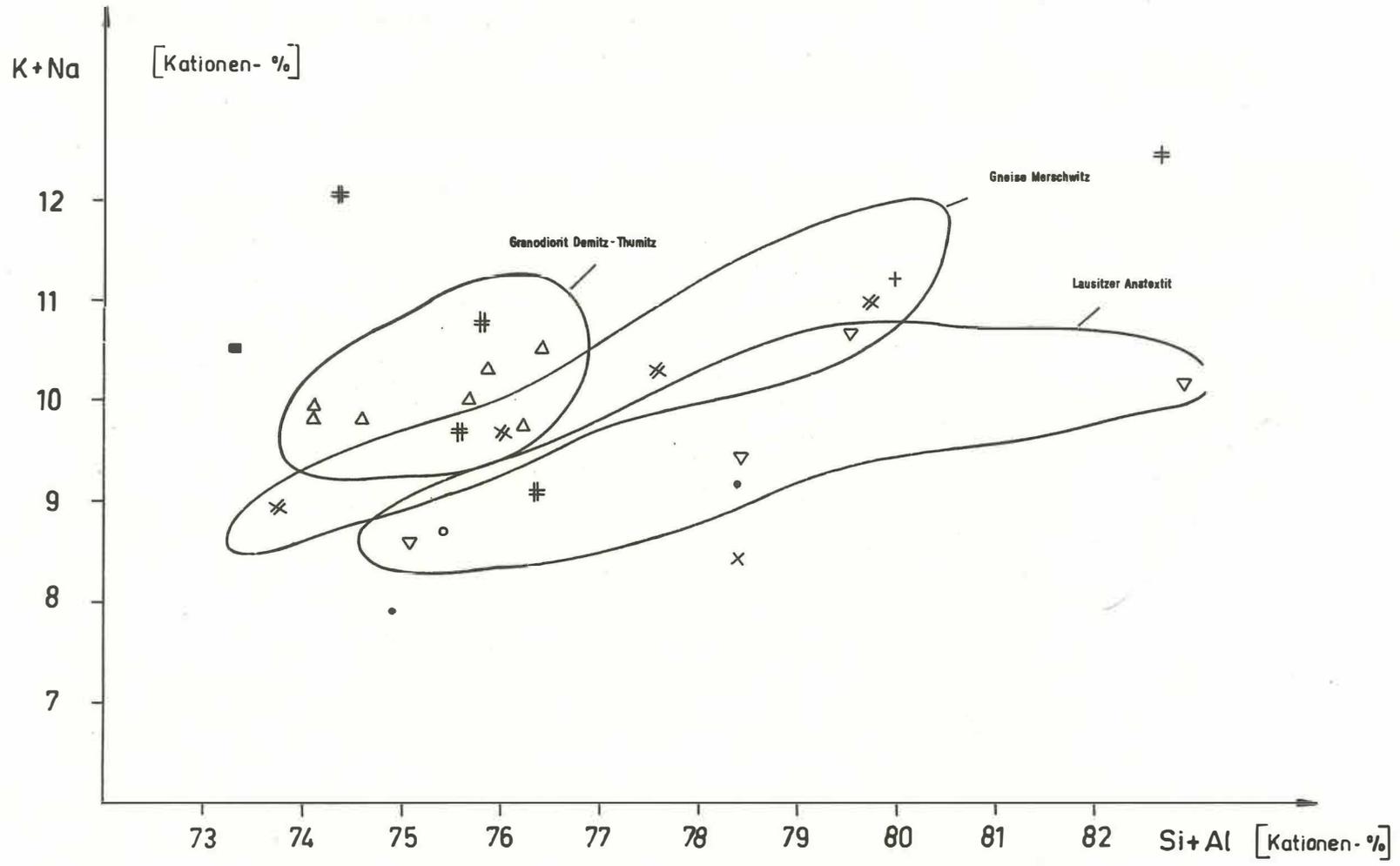


Abb. 5. Diagramm der Kationen-Summen
(Legende siehe Anlage)

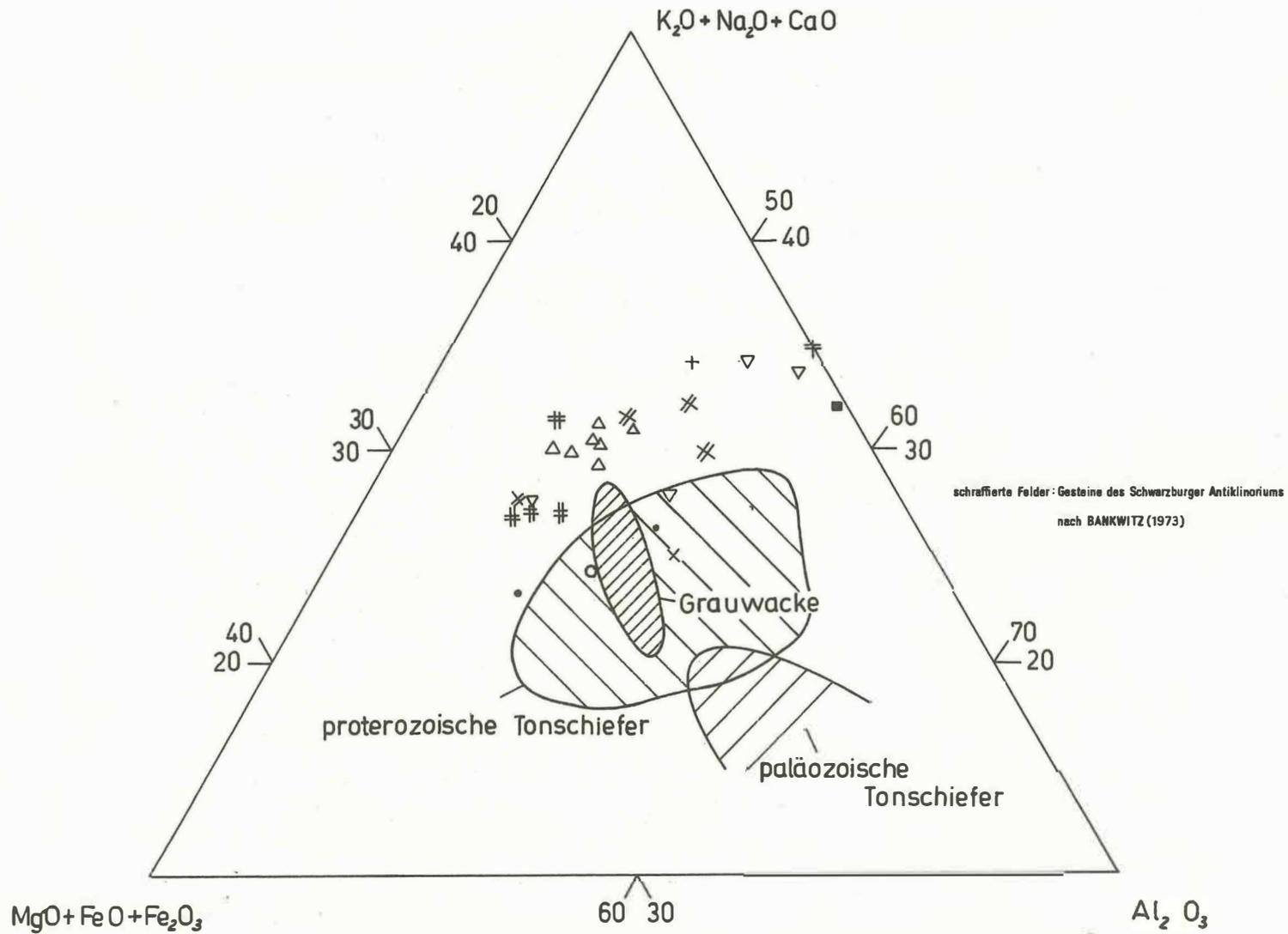


Abb. 6. Dreiecksdiagramm der Oxide

Eingetragen sind zum Vergleich Punktlagen präkambrischer Gesteine des Schwarzburger Antiklinoriums (Legende siehe Anlage).

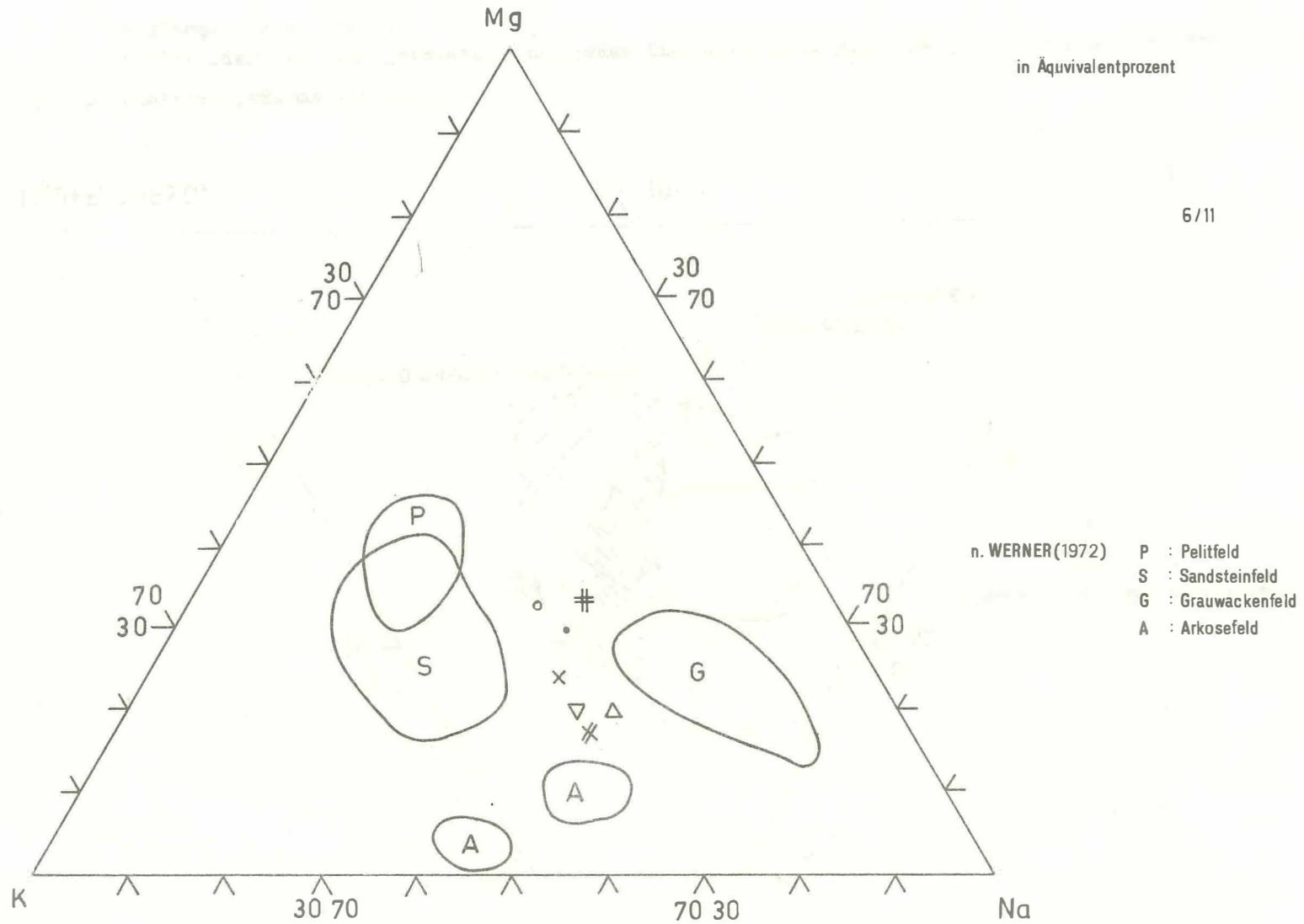


Abb. 7. Dreiecksdiagramm Na - Mg - K

Darstellung der Mittelwerte und Vergleichswerte nach WERNER (1972)
(Legende siehe Anlage)

liegen dann - ebenfalls positiv korreliert - die migmatitischen Gneise von Merschwitz, während die Werte der Gneise von Großenhain über das Gesamtfeld verteilt sind. Aus den Darstellungen der Abb. 3 und 5 ist abzulesen, daß von den vergleichsweise stärker Na-betonten Großenhainer Gneisen über die in den hier diskutierten Parametern gleichwertigen migmatitischen Gneise von Merschwitz und die Granodiorite von Demitz-Thumitz zum Lausitzer Anatexit und erwartungsgemäß weiter zu den Augengneisen des Elbtals eine Betonung granitophiler Tendenzen erfolgt.

Im Dreiecksdiagramm der Oxide (Abb. 6) ist trotz hoher Vergrößerung nur die starke Verarmung der Elbtal-Augengneise an MgO , FeO , Fe_2O_3 deutlich - ein Ansteigen dieser Oxidgehalte von den migmatitischen Gneisen bei Merschwitz (Großenhainer Serie) über die Westlausitzer Granodiorite (Demitz-Thumitz) zu den Gneisen von Großenhain aber nur andeutungsweise zu erkennen. Gegenüber den eingetragenen Feldern vergleichbarer Gesteine des Schwarzburger Antiklinoriums zeichnen sich alle Werte durch ihre höheren K-Gehalte aus. Lediglich die Grauwacken liegen etwa im Feld (im K-nahen Teil) proterozoischer Tonschiefer und Grauwacken des Schwarzburger Antiklinoriums.

Im Dreiecksdiagramm Na - Mg - K (Abb. 7) liegen die jeweiligen Mittelwerte der Gesteinskomplexe zwischen den Normalfeldern für Grauwacken, Sandsteine und Arkosen nach WERNER (1972), stimmen andererseits aber mit der Feldlage der phyllitischen Tonschiefer des Schwarzburger Antiklinoriums (BANKWITZ 1973) sowie der Paragneise der Ruhlaer Folge I (WERNER 1972) überein, erreichen jedoch nicht die Werte der Phyllite, Glimmerschiefer und Quarzite der Ruhlaer Folge I, die wesentlich stärker K-betont sind. Eine mit steigendem Metamorphosegrad verbundene Na-Zunahme, wie sie BANKWITZ (1973) für Gesteinsserien steigenden Metamorphosegrades im Schwarzburger Antiklinorium beschreibt, wird hier deutlich durch eine Zunahme der K-Gehalte überlagert - besonders eindeutig an den Granodioriten der Lausitz, den migmatitischen Gneisen von Merschwitz und den Großenhainer Gneisen bei Radeburg zu beobachten -, während die Reihe Westlausitzer Grauwacken - Metagrauwacken von Rödern - Großenhainer Gneis noch deutlich durch eine Na-Zunahme gekennzeichnet ist. Hinzuweisen wäre darüber hinaus auf die eng benachbarte Lage der Mittelwerte für die Westlausitzer Granodiorite von Demitz-Thumitz und die migmatitischen Gneise von Merschwitz.

In die Quotientendarstellung der Abb. 8 sind zusätzlich regionale und globale Na_2O/Al_2O_3 -Verhältnisse verschiedener Autoren zum Vergleich eingetragen: Die Granodiorite der Lausitz (Mittelwerte) fallen mit dem Wert für geosynklinale Schiefer (WEDEPOHL 1969) zusammen, während der Mittelwert für die Gneise der Elbezone etwas darüber liegt. Mit den CaO -Gehalten fallen etwas die Na_2O -Werte. Der Wert für geosynklinale Grauwacken (WEDEPOHL 1969) wird von keiner der Gesteinseinheiten erreicht, wohingegen die nach Angaben von CONDIE u.a. (1970) berechneten Werte für präkambrische, paläozoische und mesozoische Grauwacken recht gut zu den hier ermittelten Werten passen. Eine Korrelation zwischen Na_2O/Al_2O_3 -Verhältnis und Gesteinsalter scheint demnach aber nicht zu bestehen.

Mit der Abb. 9 sind für acht Elemente die Verhältnisse Oxide - Al_2O_3 zusammengestellt. Aus der Darstellung ist zunächst zu erkennen, daß die Streuung dieses Verhältnisses in den Gneisen größer ist als in den Granodioriten der Lausitz, wobei der Westlausitzer Granodiorit von Demitz-Thumitz die geringsten Streuwerte zeigt. Es fällt auf, daß mit Ausnahme des durchschnittlich etwas höheren CaO/Al_2O_3 -Verhältnisses für die Westlausitzer

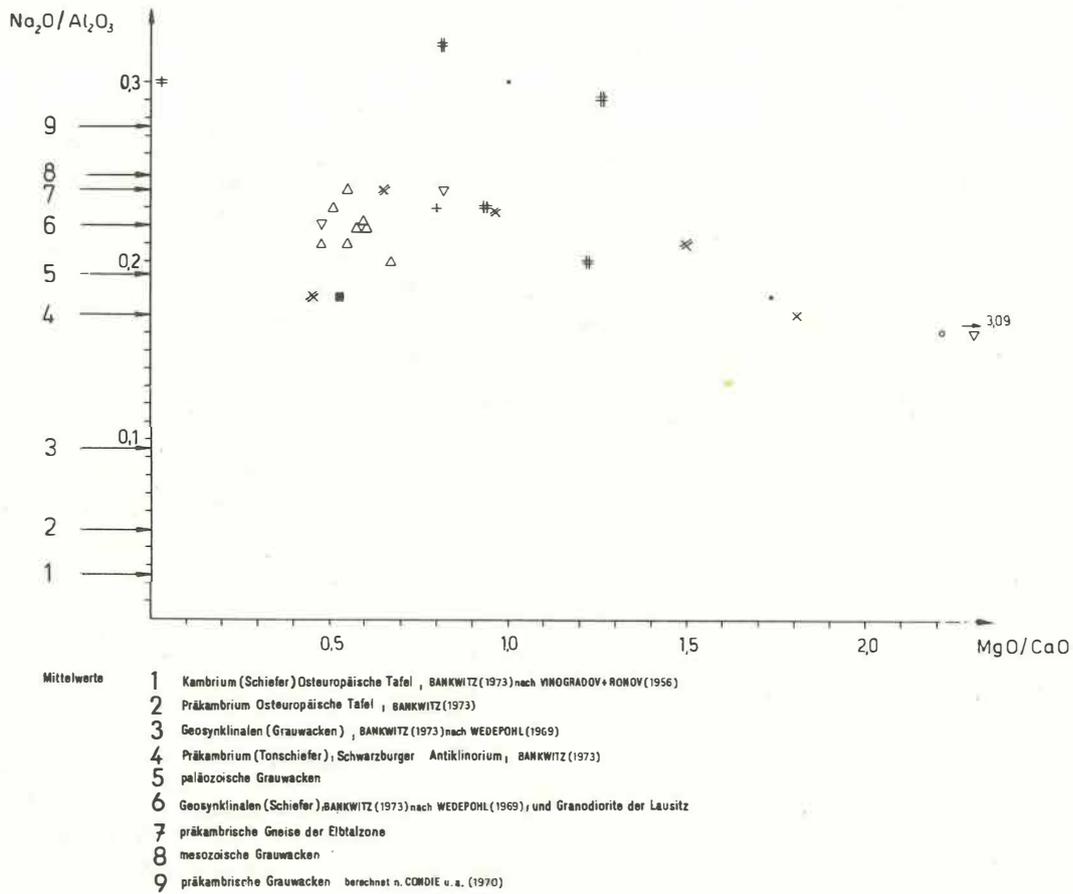


Abb. 8. Darstellung der Oxidverhältnisse mit Mittelwerten vergleichbarer Gesteinskomplexe unterschiedlichen Alters (Legende siehe Anlage)

Granodiorite von Demitz-Thumitz keine nennenswerten Unterschiede in den Oxid/ Al_2O_3 -Verhältnissen der Gesteinskomplexe zu erkennen sind. Die Ableitung eines granodioritischen bis quarzdioritischen Chemismus' gilt demnach für alle untersuchten Gesteinskomplexe gleichermaßen. Die durchgängige relative K-Betonung ist jüngeren Alters und zweifellos auf die Orthoklasblastese bei der kontaktmetamorphen Überprägung der Gesteine zurückzuführen. Granitischen Chemismus dagegen haben die Augengneise des Elbtals (Pluton von Coswig).

Eingetragen in die Darstellung sind darüber hinaus globale Mittelwerte für präkambrische, paläozoische und mesozoische Grauwacken (berechnet nach Angaben von CONDIE u. a. 1970) sowie die entsprechenden Verhältnisse präkambrischer Tonschiefer und phyllitischer Tonschiefer des Schwarzburger Antiklinoriums (nach BANKWITZ 1973). Nur die

Verhältnisse der Alkalien erreichen hier die globalen Werte präkambrischer Grauwacken, wobei das K_2O/Al_2O_3 -Verhältnis jene noch übersteigt. Alle anderen Verhältnisse sind niedriger; sie erreichen im Falle von FeO und Fe_2O_3 etwa die Werte im Präkambrium des Schwarzburger Antiklinoriums, liegen im Falle MgO und CaO etwa bei den globalen Werten paläozoischer und mesozoischer Grauwacken (Maximalwerte entsprechen etwa präkambrischen Grauwacken) und sind für SiO_2 niedriger als alle drei globalen Werte, allerdings verständlicherweise höher als die Tonschieferwerte des Schwarzburger Antiklinoriums.

KÖHLER & RAAZ (1951) beschrieben ein Umrechnungs- und Darstellungsverfahren für die Hauptelementanalyse, das sie u.a. zur Unterscheidung von Ortho- und Paragesteinen empfehlen. Am vorliegenden Untersuchungsobjekt ergaben sich hieraus folgende Resultate (Abb. 10): Charakteristisch für alle untersuchten Gesteine sind die erwartungsgemäß hohen Gehalte an freiem Quarz. Hinsichtlich des Tonerdeüberschusses muß einschränkend darauf verwiesen werden, daß in allen dargestellten Analysen Barium nicht bestimmt ist - der Wert für Al_2O_3 also zu hoch sein kann.

Für Para- und Orthogesteine ergeben sich zunächst durchaus unterschiedliche Werte für F--fm, was in entsprechender Lage ihrer Projektionspunkte zum Ausdruck kommt. Andererseits wird deutlich, daß eine Interpretation solcher Diagramme ohne Kenntnis der geologischen Situation zu Fehldeutungen führen muß: So resultiert die zum Feld der Orthogesteine tendierende Lage des Projektionspunktes der Metagrauwacken von Rödern auf der qz-Achse zweifellos aus der strukturellen Position des Probenahmepunktes (Material aus der Querstörungszone von Göhra-Reinersdorf, eine symmetrisch zonierte Mylonitisierungszone (Brekzien - Mylonite - Blastomylonite - Ultramylonite). Auf gleiche Weise erklären sich die durch Alkalibetonung in das Feld der Orthogesteine fallenden Projektionspunkte für die Großenhainer Gneise von Moritzburg und die migmatitischen Gneise von Merschwitz (Kontaktbereich des Meißner Massivs bzw. partielle Mobilisation). Die für die Gneise von Merschwitz angedeutete Variation der Gehalte an freiem Quarz bei relativ konstanten Werten für F--fm könnte auf unterschiedliche Neosom-Paläosom-Anteile im Probenmaterial hinweisen, ist vom Verfasser jedoch nicht zu belegen, da zwei der Analysen der Literatur entstammen und das Probenmaterial dort nicht näher beschrieben ist.

Für die Lage der Projektionspunkte der Analysen von Lausitzer Anatexit gelten sinngemäß die gleichen Überlegungen. Die Stellung des Westlausitzer Granodiorits im Dreieck bedarf keiner Erläuterung. Nicht zu erklären ist der Projektionspunkt des Gneises von Oberebersbach, zu dem das Probenmaterial ebenfalls nicht bekannt ist (Analyse aus SCHMIDT 1956).

Hinsichtlich der Beziehungen zwischen Stoffbestand und kinematischer bzw. statischer Metamorphose sind aus der Darstellung zwei Beobachtungen abzulesen:

- Die Gehalte an freiem Quarz sind grundsätzlich unveränderlich, lediglich im Bereich der Migmatisierung sind Variationen möglich (Paläosom - Neosom).
- Beide Metamorphoseprozesse führen mit Alkalibetonung zu ähnlichen Resultaten, wobei sich migmatische Großenhainer Gneise und Westlausitzer Granodiorit etwa entsprechen.

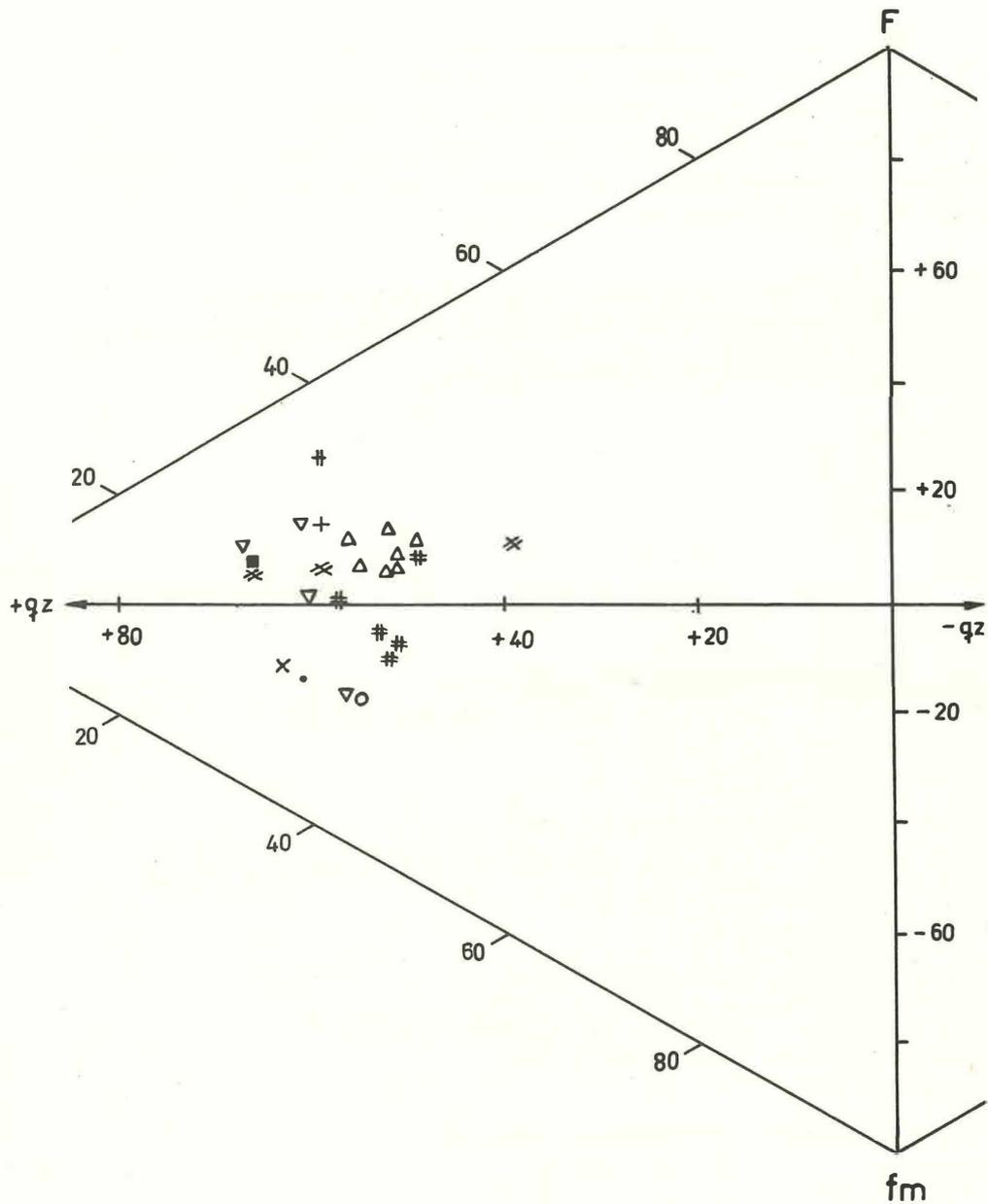


Abb. 10. Hauptelementdarstellung nach KÖHLER & RAAZ (1951)
(Legende siehe Anlage)

4. Spurenelemente

4.1. Verteilung und Streuung

Die mittleren Spurenelementgehalte und deren Streuung in den einzelnen Gesteinskomplexen sind in Abb. 11 zusammengestellt. Zur Orientierung sind die Durchschnittsgehalte der "Grauen Gneise des Erzgebirges", der Clarke der Lithosphäre nach VINOGRADOV (1962) und der Granitclarke nach TISCHENDORF u.a. (1972) sowie von der Normalverteilung der Werte abweichende Verteilungen eingetragen (Verteilungstyp mathematisch geschätzt). Vor allem die Gehalte von Blei, Kupfer und Zink sind überwiegend lognormal oder logarithmisch verteilt (Blei - mit Ausnahme der Gneise von Moritzburg - in allen Gesteinskomplexen nur logarithmisch verteilt).

Ein Vergleich der Spurenelementgehalte der einzelnen Gesteinskomplexe mit den Clarke-Werten der Lithosphäre (VINOGRADOV 1962) ergibt folgende Zusammenstellung:

Westlausitzer Granodiorit von Demitz-Thumitz:

verarmt an: Rb, Be, Sr, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Li, Sn, Pb, Zr, Ba, Ti
entsprechend in: Zn

Biotitgranit Westlausitzer Störung:

verarmt an: Rb, Be, Sr, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Sn, Pb, Zr, Ba, Zn
entsprechend in: Li

Anatexit der Lausitz (Zweiglimmergranodiorit):

verarmt an: Rb, Be, Sr, Ti, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Li, Pb, Ba
entsprechend in: Sn, Zr, Zn, V

Westlausitzer Grauwacke (Kamenzer Serie):

verarmt an: Li, Rb, Sn, Be, Sr, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Pb, Zr, Ba
entsprechend in: Zn

Metagrauwacken Elbezone (Röderner Serie):

verarmt an: Rb, Be, Sr, Ti, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Sn, Pb, Zr, Zn
entsprechend in: Li, Ba, V

Gneis Radeburg-Klotzsche (Großenhainer Serie):

verarmt an: Rb, Be, Sr, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Sn, Pb, Zr, Ba
entsprechend in: Li, Zn

Gneis Großenhain-Bärnsdorf (Großenhainer Serie):

verarmt an: Rb, Be, Sr, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Li, Pb, Zr, Ba
entsprechend in: Sn, Zn

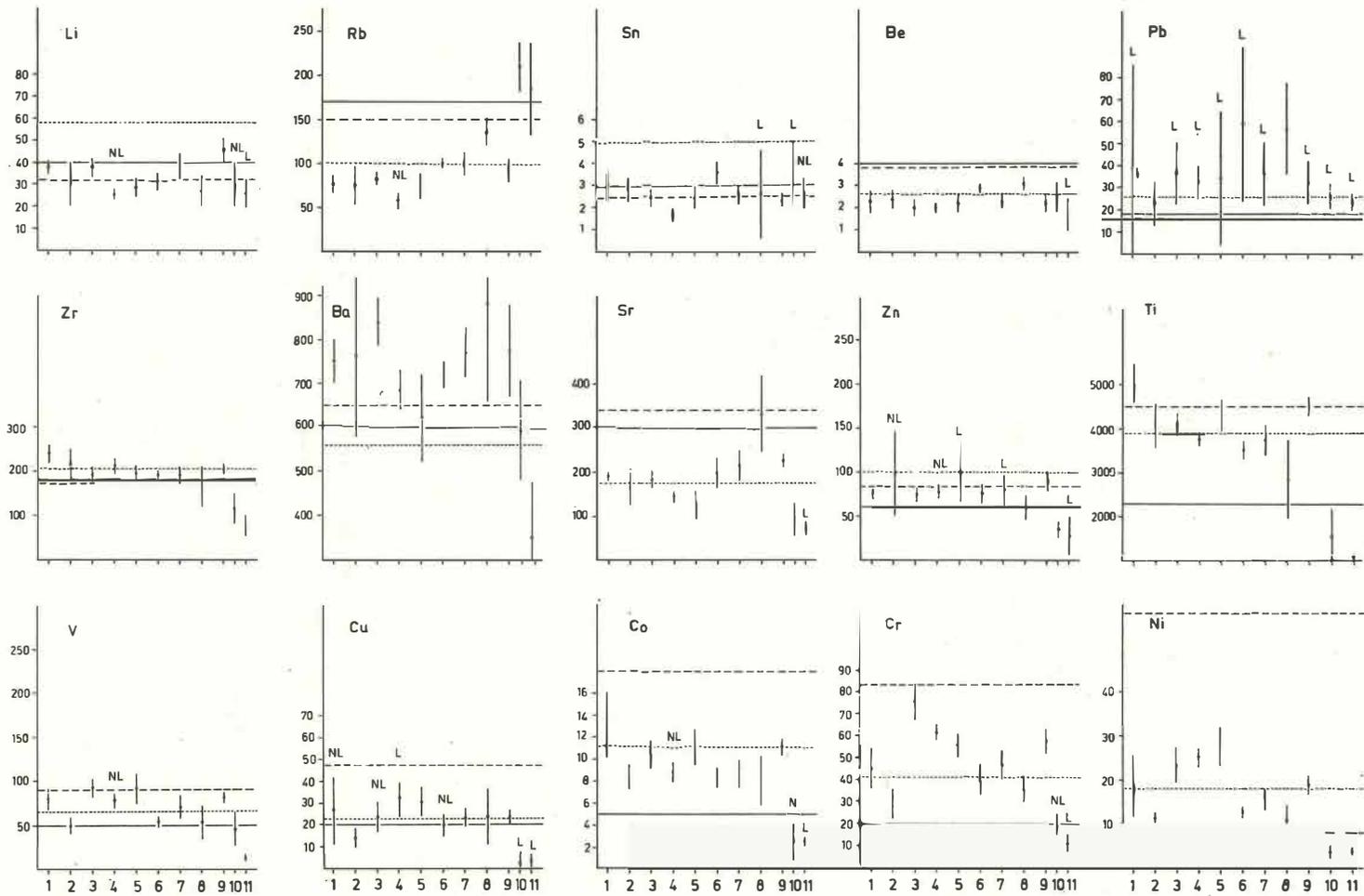


Abb. 11. Mittelwerte und Streuung der Spurenelementgehalte (Legende siehe Anlage)

Gneis Moritzburg (Großenhainer Serie):

verarmt an: Li, Rb, Be, Zn, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Pb, Ba
entsprechend in: Sn, Zr, Sr

Gneis Skassa-Merschwitz (Großenhainer Serie):

verarmt an: Rb, Be, Sr, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Li, Pb, Zr, Ba, Zn
entsprechend in: Sn, Ti

Linkselbische Augengneise (Pluton von Coswig):

verarmt an: Be, Zr, Ba, Sr, Zn, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Rb, Sn
entsprechend in: Li, Pb

Rechtselfische Augengneise (Pluton von Coswig):

verarmt an: Li, Be, Zr, Ba, Sr, Zn, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni
angereichert an: Rb
entsprechend in: Sn, Pb

Die Spurenelementgehalte der Augengneise des Elbtals sind gegenüber denen der übrigen Gesteinskomplexe nur für Rb höher, erreichen für Sn und Pb etwa die Werte des Lithosphärenclarke und liegen für die restlichen Elemente bedeutend niedriger (Damit ist Sn relativ angereichert!). Bis auf den Granodiorit von Demitz-Thumitz mit schwacher Titananreicherung zeigt erwartungsgemäß keines der untersuchten Gesteine eine Anreicherung granitophober Elemente. Typisch für alle Gesteinskomplexe (außer Elbtal-Augengneise) sind die unter dem Lithosphärenclarke liegenden Gehalte für Rb, Be und Sr (bei angereicherter Ba!) ebenso wie die Anreicherung der intermediären Elemente Barium, Zirkon und der logarithmisch verteilten Gehalte von Blei, Zink und Zinn. Zinn, das in der nur schwach deformierten Westlausitzer Grauwacke verarmt ist, wird in den abgeleiteten Gesteinen relativ angereichert.

Aus Abb. 11 ist abzulesen, daß die Elementgehalte zwischen den einzelnen Gesteinskomplexen in ähnlichen Grenzen schwanken und nur zu den Augengneisen des Elbtals ein deutlicher Hiatus besteht.

Eine zusammenfassende Übersicht der Spurenelementgehalte der präkambrischen Gesteine der Elbezone und der Lausitz (ohne Augengneise des Elbtals) gibt die folgende Aufstellung:

im Clarke der Lithosphäre nach VINOGRADOV (1962): Li, Sn, Zn, V;
im Granitclarke nach TISCHENDORF u.a. (1972): Sn, Zr, Zn, V, Cu;
im Durchschnittsgehalt der "Grauen Gneise des Erzgebirges" nach OESTREICH (1973):
Rb, Be, Zr, Sr, Zn, Ti, V, Cu, Co, Cr, Ni;
höher als alle drei Durchschnittswerte: Pb, Ba.

Die Mehrzahl der Spurenelementgehalte in den untersuchten Gesteinskomplexen (Granodioriten wie Gneisen) ist denen der "Grauen Gneise des Erzgebirges" auffallend ähnlich.

4.2. Spurenelementgehalte im Streichen der Gneise

Konstruierte Profile der Spurenelementgehalte im Streichen lithostratigraphischer Serien des Präkambriums der Elbezone zeigen das gleichsinnige Verhalten der Gehalte von V und Cr, Co und Ni sowie das gegensätzliche Verhalten von Ba und Sr bzw. Li und Rb. Verallgemeinert man stärker, so ergibt sich, daß die granitophoben Elemente Ti, V, Cu, Cr und auch einige intermediäre wie Zn, Zr, Ba sich ähnlich und gleichsinnig verhalten, während Rubidium (und mit Vorbehalt Strontium) diesen entgegengesetzt variieren. Besonders deutlich wird dies in Profilen durch die Augengneise mit dem Sprung zwischen Augengneisen und Rahmengesteinen. Lediglich Blei und Zinn reagieren nicht auf diese Grenze.

Gezeichnet wurden diese Profile aber in erster Linie, um eventuelle Spurenelementvariationen in Abhängigkeit von sich ändernden Metamorphoseverhältnissen zu erkennen. Die Profile durch die Augengneise werden diesbezüglich beherrscht von dem Gegensatz zwischen Ortho- und Paragneisen. In dem Profil von den Gneisschollen im Meißner Syendiorit bei Moritzburg (Großenhainer Serie) zu den migmatitischen Großenhainer Gneisen bei Merschwitz ergeben sich folgende, allerdings geringfügige Elementverschiebungen (jeweils in der angegebenen Reihenfolge mit abnehmender Deutlichkeit):

- steigend: Li, V, Ni, Cr, Ti, Co, Zn;
- fallend: Rb, Pb, Sr;
- gleichbleibend oder indifferent: Ba, Zr, Cu, Sn.

Für die tektonische Einheit der Gneise von Bärnsdorf-Großenhain (Großenhainer Serie) ergibt sich entsprechend folgende Zusammenstellung:

- steigend: V, Cr, Ti, Ba, Ni, Li;
- fallend: Pb, Sn;
- gleichbleibend oder indifferent: Zn, Cu, Co, Zr, Sr, Rb.

Lithium ist danach das einzige granitophile Element, das in den Gneisen der Elbezone mit steigendem Metamorphosegrad angereichert wird. Fallende Gehalte bei steigendem Metamorphosegrad sind anscheinend für granitophile Elemente typisch, steigende für granitophobe.

Die Beträge dieser Veränderungen absoluter Spurenelementgehalte in Abhängigkeit vom Metamorphosegrad sind am Beispiel jedoch so gering, daß ihre Interpretation zunächst nicht verallgemeinert werden kann, zumal der Anteil sekundärer, nicht regionalmetamorpher Prozesse in ihren Auswirkungen auf den untersuchten Elementhaushalt nicht eliminiert werden kann.

4.3. Spurenelementverhältnisse

Die Darstellung von Spurenelementverhältnissen wird in der Literatur vorwiegend für die Faziesanalyse benutzt. Andererseits eignen sich solche Darstellungen der verschiedensten Elementkombinationen - vorwiegend granitophober Elemente - gut zur Wiedergabe metamorpher Entwicklungsreihen, wie sie mit dem Untersuchungsbeispiel vorliegen. Nicht nur mit den Darstellungen Co/Ni und V/Ni lassen sich die Entwicklungsstufen der Großen-

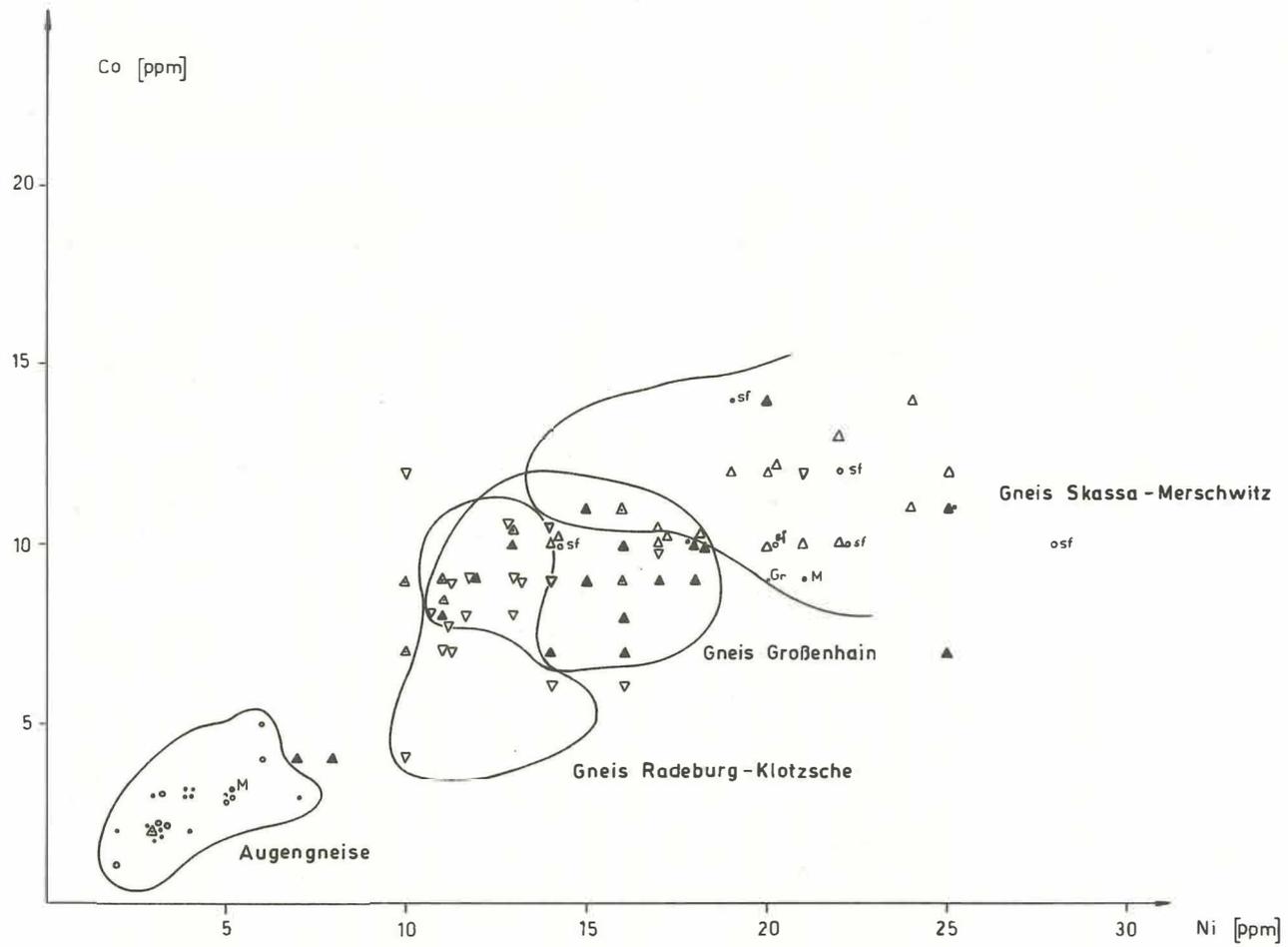


Abb. 12. Co-Ni-Diagramm für die Gneise der Großenhainer Serie und Augengneise (Pluton von Coswig)
(Legende siehe Anlage)

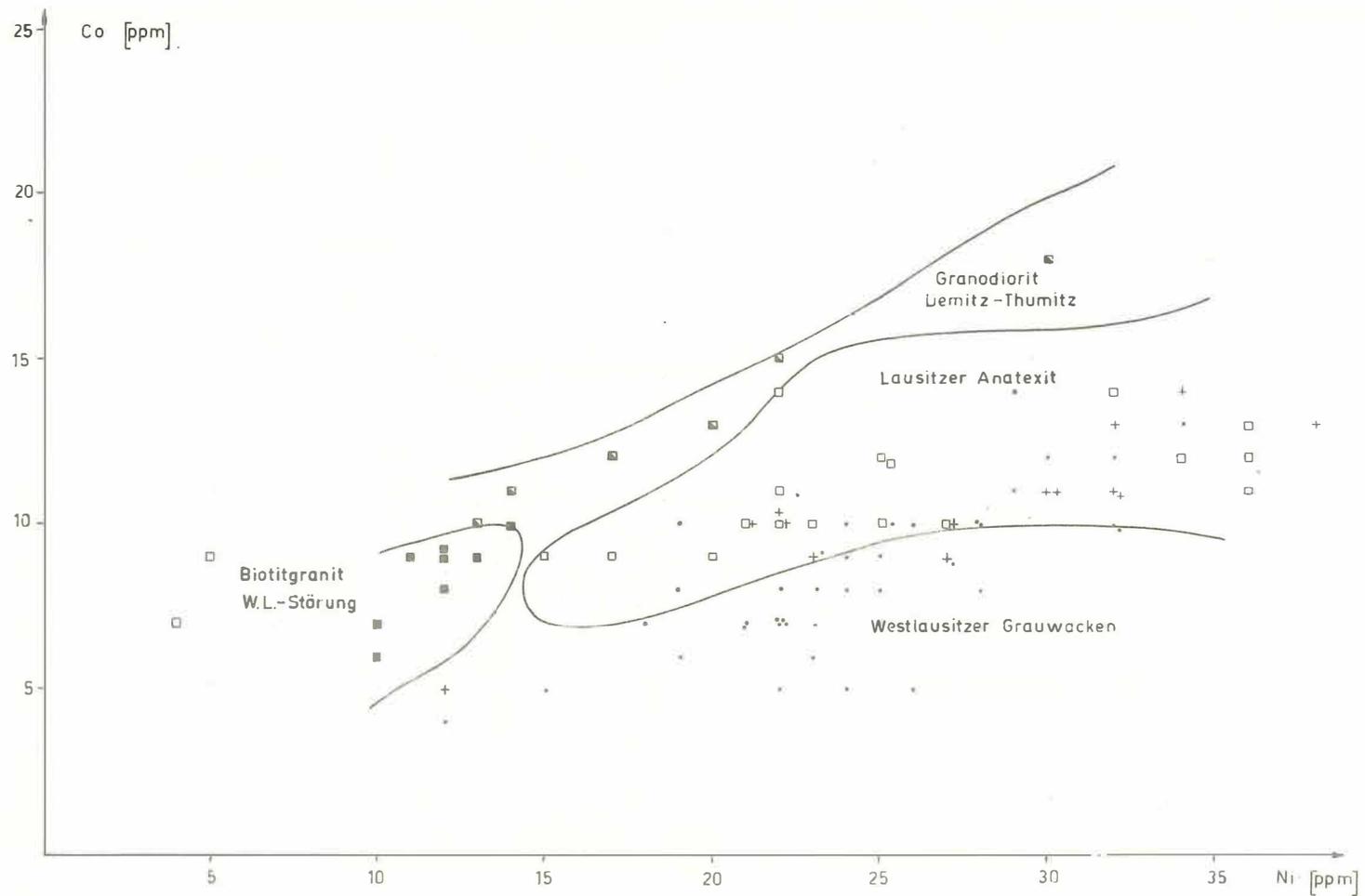


Abb. 13. Co-Ni-Diagramm für die Granodiorite und Grauwacken der Lausitz
(Legende siehe Anlage)

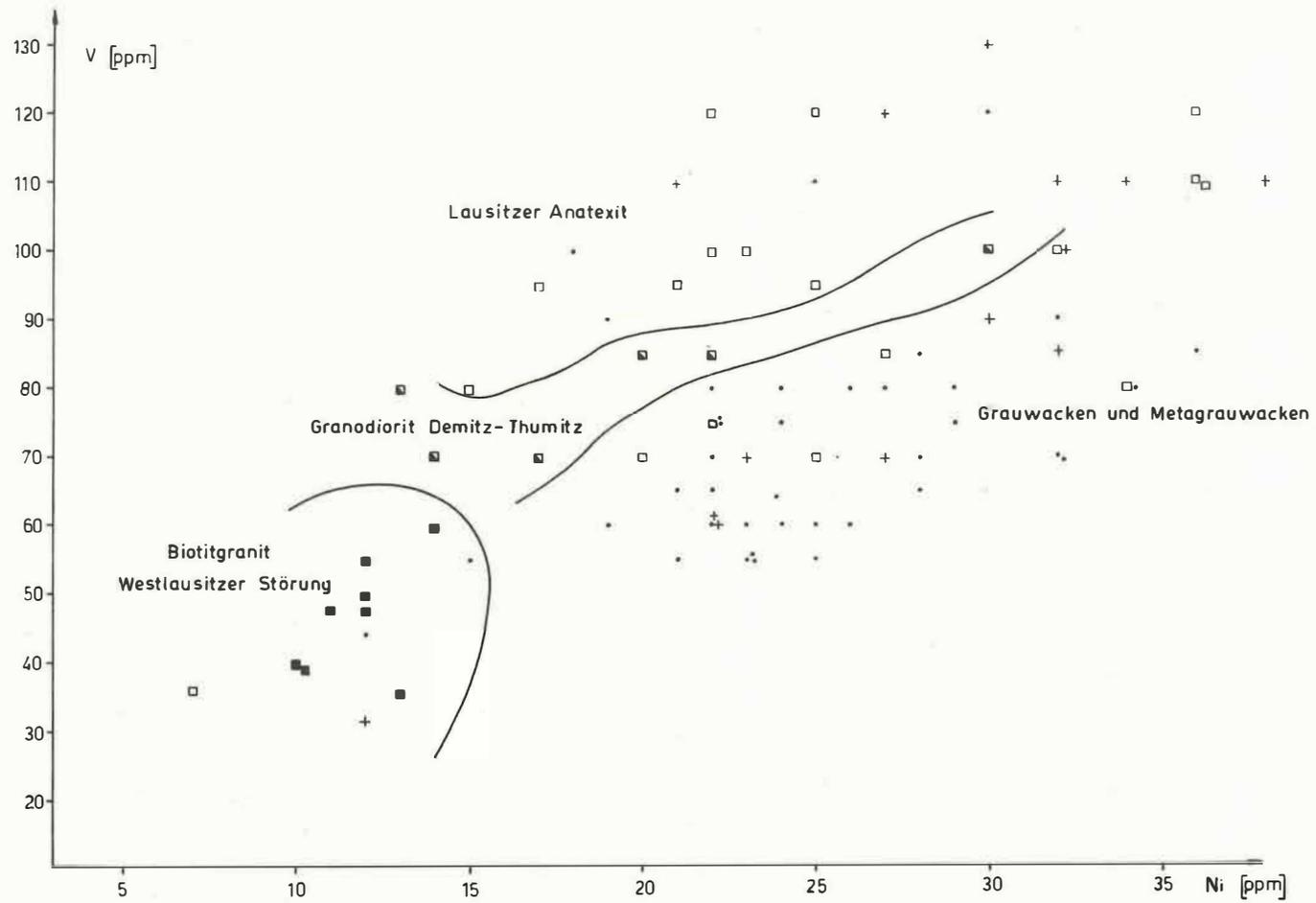


Abb. 15. V-Ni-Diagramm für die Granodiorite der Lausitz, Kamenzer Serie und Röderner Serie
(Legende siehe Anlage)

hainer Serie bzw. der Lausitzer Granodiorite gut erfassen, geeignet sind darüber hinaus auch die Verhältnisse V/Cr, Cr/Zr, Rb/Zr, Co/Cr und Co/Cu. Der Umstand, daß es sich bei diesen Elementen fast ausschließlich um granitophobe bzw. intermediäre Spurenelemente handelt, als deren Trägerminerale bei dem vorliegenden Bestand im wesentlichen nur Biotit und Plagioklas in Frage kommen, weist auf die hervorragende Rolle gerade dieser Minerale für die fazielle Diagnostik granitischer bis granodioritischer Gesteine unter ansteigenden Metamorphosebedingungen hin.

Die Übergänge zwischen den einzelnen Metamorphosestufen der Gneise der Großenhainer Serie (Abb. 12 und 14) sind - wie nicht anders zu erwarten - stark fließend. Lediglich die Augengneise des Elbtals (Pluton von Coswig) sind deutlich abzutrennen. Dagegen ist die Richtung der Entwicklung mit steigenden Metamorphosebedingungen stets gleich - sie tendiert zu höheren Relativgehalten der dargestellten Elemente. Für die entsprechenden Darstellungen der Lausitzer Granodiorit-Entwicklungsreihen (Abb. 13 und 15) gilt dies nicht. Lediglich der Biotitgranit der Westlausitzer Störung verändert seine relative Position zu den anderen Einheiten nicht, während Lausitzer Anatexit und Granodiorit von Demitz-Thumitz ihre Positionen in unterschiedlichen Darstellungen tauschen.

4.4. Mathematisch-statistische Bearbeitung der Daten

4.4.1. Elementkorrelationen

Die korrelativen Beziehungen der Spurenelemente untereinander werden wesentlich davon beeinflusst, in welchem Hauptmineral sie eingebaut sind. Für die untersuchten Gesteine gibt es diesbezüglich nur geringe Variationsmöglichkeiten: Als Spurenelementträger kommen im wesentlichen nur Plagioklas und Biotit, weniger Kalifeldspat und Muskovit in Frage. Plagioklas und Biotit sind gleichzeitig auch jene Minerale, die die deutlichsten Veränderungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Metamorphose-Intensitäten zeigen.

Aus der Einfachkorrelation der Elemente ergeben sich für die einzelnen Gesteinskomplexe signifikante Korrelationen für folgende Elementpaare:

Westlausitzer Grauwacken: Co/Ni, Cr/V, Cr/Ti (alle positiv), Rb/Zr (negativ);
 Metagrauwacken von Rödarn: Co/Ni, Cr/Ni, Cr/V, Cr/Ti (alle positiv), Ni/Zr
 und Cr/Zr (negativ);
 Gneise Radeburg-Klotzsche: Co/Ni (positiv);
 Gneis Großenhain-Bärnsdorf: Co/Ni, Cr/Ni, Cr/V, Cr/Zr, Cr/Ti, Ni/Zr (alle positiv);
 Gneis Moritzburg: Co/Ni, Ni/Zr (beide positiv);
 Gneise Skassa-Merschwitz: Co/Ni, Cr/V (beide positiv);
 Lausitzer Anatexit: Co/Ni, Cr/V, Cr/Ni (alle positiv), Cr/Zr (negativ);
 Biotitgranit Westlausitzer Störung: Ba/Sr, Co/Ni (beide positiv);
 Rechtselbische Augengneise: Co/Ni, Ba/Sr, Ni/Zr (alle positiv), Rb/Zr (negativ);
 Linkselbische Augengneise: Co/Ni, Cr/Ni, Cr/V, Cr/Ti, Ni/Zr, Cr/Zr, Ba/Sr (alle positiv), Rb/Zr (negativ).

Hieraus ist folgendes abzuleiten:

- Chrom ist vor Kobalt, Nickel, Vanadium und Zirkon das Element mit den häufigsten gut korrelierten Bindungen.

- In allen Gesteinen sind Co und Ni gut korreliert.
- Gute Korrelation von Ba und Sr trifft nur für Gesteine mit granitischer Tendenz zu (Biotitgranit Westlausitzer Störung, Augengneise des Elbtals; gut in dieses Schema passen würde auch die gute Ba/Sr-Korrelation für die Gneise von Moritzburg (Einfluß Meißner Massiv), allerdings ist diese Korrelation nicht signifikant).
- Die gute negative Korrelation von Rb und Zr trifft nur für die granitischen Augengneise des Elbtals zu.
- Es sind in den Grauwacken, Gneisen und Granodioriten jeweils ausschließlich granitophobe Elemente, die untereinander gute Korrelationen haben.

Führt man die gute Korrelation der Ba- und Sr-Werte für Gesteine granitischer Tendenz auf eine Zuführung aus der der granitischen Intrusion entsprechenden Krustentiefe zurück, so muß die Anatexis der Lausitzer Grauwacke zum Lausitzer Anatexit in einem gegenüber dem Magmenherd, z.B. der Elbtal-Augengneise, höheren Krustenniveau erfolgt sein.

4.4.2. Komponentanalyse nach R-Methode mit Varimax-Rotation und Clusteranalyse

Beide hier zur Anwendung gekommenen statistischen Verfahren enthalten grundsätzlich eine Klassifizierung mit dem Ziel, die in einer Korrelationsmatrix enthaltenen vielfältigen Informationen zu einer geringeren Anzahl von Merkmalskomplexen zu verdichten. Entsprechend den Erfahrungen von RÖLLIG & STRAACH (1973) eigneten sich auch hier die rotierten Matrizen besser zur Interpretation.

Es fällt auf, daß sich von den Grauwacken der Kamenzer Serie über die Metagrauwacken der Röderner Serie zu den Gneisen der Elbezone zunehmend die granitophoben Elemente mit hoher Wichtung in der ersten Komponente konzentrieren. Daß für die Gneise von Radeburg-Klotzsche die Kombination Pb-Zn-V(?) die höchste Wichtung hat, mag mit der starken kataklastischen Überformung dieser Gesteine an der Westlausitzer Störung in Zusammenhang stehen. Ebenso ist man geneigt, die Auflösung dieser granitophoben Konzentration auf die hochgewichteten Komponenten für die Gneise von Skassa-Merschwitz mit der Migmatisierung in Verbindung zu bringen. Mit abnehmender Wichtung der Komponenten kommen die Bindungen granitophober zu granitophilen und schließlich der granitophilen Elemente untereinander stärker zum Ausdruck. Die Komponenten niedrigster Wichtung haben nur wenig Aussagekraft bzw. dokumentieren schwache bzw. untergeordnete Bindungen. Interessant ist das Verhalten von Lithium. Während es für die Westlausitzer Grauwacken noch kaum von Interesse ist, steigt seine Wichtung in Verbindung mit den granitophoben Elementen über die Metagrauwacken zu den Gneisen und steht für die Gneise von Skassa-Merschwitz mit Nickel und Titan in der ersten Komponente - ist dort sogar bestimmendes Element.

In Tab. 1 - 4 ist in jeder Komponente ein Element hervorgehoben. Für dieses Element ist die Summe seiner Korrelationskoeffizienten gegen die restlichen Elemente der Gruppe am größten. Diese hervorgehobenen, "bestimmenden" Elemente sind - geordnet mit abnehmender Wichtung - für

die Kamener Serie: -Rb, -Co, +Cr;
 die Röderner Serie: +Cr, -Be, +Pb;
 die Gneise von Radeburg-Klotzsche (Großenhainer Serie): +Pb, +Ni, -Ba;
 die Gneise von Großenhain (Großenhainer Serie): +Cr, +Co;
 die Gneise von Skassa-Merschwitz (Großenhainer Serie): +Li, +Zn, +Cu;
 die Gneise von Moritzburg (Großenhainer Serie): +Co, +Cr, -Rb;
 die Anatexite der Lausitz: +V;
 den Biotitgranit der Westlausitzer Störung: -V, +Ba, +Zn, -Co;
 die linkselbischen Augengneise (Pluton von Coswig): +Ni, +Ba;
 die rechtselbischen Augengneise (Pluton von Coswig): +Ni, -Sr.
 (Das Vorzeichen der Elemente bezeichnet die Zugehörigkeit zu den entsprechend gekennzeichneten Merkmalskomplexen I oder II.)

Tab. 1. Auswertung Komponenteanalyse, Kamener und Röderner Serie

Komponente	Wich- tung	Unrotierte Matrix		Wich- tung	Rotierte Matrix	
		Merkmalskomplex I	MK II		MK I	MK II
K a m e n z e r S e r i e						
1	28,6	Ni, Co, Cr, Cu, V, Rb, Be, Sn	Zr, Sr	19,7	Zr	Cu, V, <u>Rb</u>
2	14,5	Pb, Zn	B, Li	16,8		<u>Co</u> , Ni, Be
3	13,4	Be, Cr, Zr, Sr	Cu	13,2	<u>Cr</u> , Ti, V	
4	8,9			10,1		
5	7,5	Ba		9,5	Ba	
6	5,4			8,9	Zn	Li
R ö d e r n e r S e r i e						
1	48,0	Ni, Co, Cr, Ti, V, Ba, Be, Rb, B, Sn, Li	Zr	31,6	Co, <u>Cr</u> , Ni, Ti, V, Rb, Sn, Ba	
2	20,5	Pb, Zn, Sr		21,1		<u>Be</u> , Li, Ti
3	11,0	Cu, Li, B		19,6	<u>Pb</u> , Zn, Sr	
4	7,7	Ti		14,9	Cu	Zr

Tab. 2. Auswertung Komponentenanalyse, Großenhainer Serie

Komponente	Unrotierte Matrix			Rotierte Matrix		
	Wich- tung	Merkmalskomplex I	MK II	Wich- tung	MK I	MK II
Gneis Radeburg - Klotzsche						
1	24,3	Ni, V, Zn, Ba, Pb	Be	20,05	V, Zn, <u>Pb</u>	
2	19,6	Ni, Co, Ti, Zr		18,7	<u>Ni</u> , Co, Ti, Zr, V	
3	13,1	Cu, Sr		13,6	Sn, <u>Be</u>	<u>Ba</u>
4	13,0	Li	Rb, Zr	11,5	Cr, Cu	
5	7,4	Sr	Cr	9,9	Li	
6	6,1	Rb		9,7	Sr	
Gneis Großenhain - Bärnsdorf						
1	38,3	Ni, Co, Cr, Cu, V, Ti, Zr, Li, Be, Sr		25,0	Ni, <u>Cr</u> , Cu, Ti, V, Zr	
2	13,9	Ba, Pb, Zn		24,4	<u>Co</u> , Cr, Ti, Zr, Li, Be, Sr	
3	11,7	Li, Sr	Cu	13,2	Pb, Zn	
4	8,6	Rb	Sn	9,2	B	
5	8,5	B		8,9	Rb	
6	6,4	Sn		7,2	Sn	
Typ Skassa - Merschwitz						
1	28,8	Ni, Cr, Cu, Ti, Ba, V, Pb, Li, Sr		19,5	Ni, Ti, <u>Li</u>	
2	21,2	Zn, Zr, Pb, Rb	Co, Ni	18,9	<u>Zn</u> , Zr, Pb	
3	14,1	Cr, V, Be		11,6	Co, V	
4	8,4			11,4		
5	7,6	Ba, Sn		11,1	Ba, <u>Cu</u> , Sr	
6	6,1	Ba		10,9	Cr, Sn	
7	5,1	Rb		7,8		Rb
Typ Moritzburg						
1	53,8	Ni, Cu, Ti, V, Zn, Zr, Li,	Ba, Rb, Sr	46,8	<u>Co</u> , Ni, Ti, V, Zn, Zr, Li	Ba, Sr
2	20,8	Be, Cr, Pb		20,3	<u>Cr</u> , Pb, <u>Be</u>	
3	12,1	Sn	Rb, Pb	15,3	Sn	<u>Rb</u> , Sr
4	7,2	Cu		11,6	Cu, V	

Tab. 3. Auswertung Komponentenanalyse, Augengneise (Pluton von Coswig)

Komponente	Unrotierte Matrix			Rotierte Matrix		
	Wich- tung	Merkmalskomplex I	MK II	Wich- tung	MK I	MK II
R e c h t s e l b i s c h e A u g e n g n e i s e						
1	53,9	Ba, Be, Li, Sr, Co, Cu, Ni, Ti, V Zn, Zr	Rb,	31,9	Co, Cu, Li, <u>Ni</u> , Ti, V, Zn, Zr	
2	12,1	Pb, Rb, Sn		30,6		Be, Co, Sn, <u>Sr</u> , V
3	11,2	Li	Sn, Sr, Zn	14,1		Rb, Pb
4	6,8	B, Cr		7,0		B
5	6,3	B, Cr		6,8	Cr	
L i n k s e l b i s c h e A u g e n g n e i s e						
1	55,2	Co, Cr, Cu, Ni, Ti, Zn, Zr, Li, Sr	Rb	49,6	Co, Cr, Cu, <u>Ni</u> , Ti, V, Zn, Zr, Sr	Rb
2	17,4	Ba, Be, Sn, Sr		16,9	Be, Sn, <u>Ba</u> , Sr	
3	9,1	Ba, Pb	B	11,0	B, Li	
4	5,5	Li		9,6	Ba, Pb	

Tab. 4. Auswertung Komponentenanalyse, Granodiorite der Lausitz

Komponente	Unrotierte Matrix			Rotierte Matrix		
	Wich- tung	Merkmalskomplex I	MK II	Wich- tung	MK I	MK II
A n a t e r i t d e r L a u s i t z						
1	28,6	Ni, Co, Cr, Ti, V, Zn, Li, Sr	Zr	23,4	Co, Cr, Ni, Ti, <u>V</u>	Zr
2	17,9	Ba, Be, Rb, Sn	Ni	14,5	Li, Sr	
3	13,5	B, Cu		13,5	Rb, Zn	
4	10,4	B	Pb	12,0		Ba, Sn
5	6,6	Li		9,6	Be, Cu	
6	5,3			9,3	B	
B i o t i t g r a n i t W e s t l a u s i t z e r S t ö r u n g						
1	41,8	Co, Cr, Ti, V, Zr, Ba, Pb, Li, Cr	Be, Sn	32,3	Sn	Cr, Ti, <u>V</u> , Zr, Li, Sr
2	23,1	Cu, Ti, Zn, Zr	Ba, Rb	23,4	Cr, <u>Ba</u> , Rb, Sr	
3	18,0	B, Pb, Sn, Zn	Zr	20,9	Ti, <u>Zn</u> , Pb, Li, B	
4	8,0	Ni		15,3		<u>Co</u> , Ni, Li

Die Ergebnisse der Clusteranalyse sind in den Tab. 5 und 6 schematisiert zusammengestellt. Trotz unterschiedlicher methodischer Anlage sollte man von Clusteranalyse und Komponentenanalyse für gleiche Objekte ähnliche Ergebnisse erwarten können. Wo dies nicht der Fall ist, muß man die Auswirkungen nicht signifikanter Beziehungen vermuten (Probenahme, Analytik usw.).

Faßt man die Ergebnisse beider Methoden zusammen, so ergibt sich folgende Elementgruppierung (die Wichtung der Gruppen verändert sich durch die Clusteranalysergebnisse nicht):

Kamenzer Serie: Cr, Ti, V; Ni, Co, Be; Cu, Rb;

Röderner Serie: Co, Ni, Cr, V, Ti, Rb, Sn, Ba; B, Li; Pb, Zn, Sr;

Gneis Radeburg-Klotzsche (Großenhainer Serie): Pb, Zn, V; Ti, Ni, Co, Zr; Cr, Cu;

Gneis Großenhain (Großenhainer Serie): Ni, V, Co, Cr, Ti, Zr, Cu, Li, Be, Sr;

Pb, Zn, Ba, Rb, Sn;

Gneis Skassa-Merschwitz (Großenhainer Serie): Ni, Ti, Li; Pb, Zn, Zr, ?Sr, ?Ba;

Gneis Moritzburg (Großenhainer Serie): Co, Ni, Ti, Zn, Li, V, Zr; Ba, Sr, Rb;

Be, Cr, Pb;

Lausitzer Anateorit: Co, Ni, Cr, Ti, V; Rb, Zn, Ba, Sn, Li, Sr;

Biotitgranit Westlausitzer Störung: Cr, Ti, V, Zr, Li, Sr; Ba, Rb, Pb, Zn;

Linkselsbische Augengneise (Pluton von Coswig): Cr, Co, Ni, Ti, V, Cu, Zn, Zr;

Ba, Sr, Be, Sn;

Rechtselsbische Augengneise (Pluton von Coswig): Co, Ni, Ti, V, Cu, Zn, Zr, Li;

Be, Sn, Sr.

Für die Gesteine des Plutons von Coswig beschreibt diese Gruppierung deutlich den magmatischen Differentiationsprozeß. Erstaunlich ist, daß die nachfolgende Vergneisung im Stoffbestand keine deutlichen Spuren hinterläßt (evtl. Li ?!). Verständlich erscheint auch die stärker zersplitterte Elementgruppierung (gesteuert durch den Sedimentationsvorgang) für die Grauwacken der Kamenzer Serie, die aber schon für die präkambrischen Metagrauwacken und Gneise der Elbezone nicht mehr typisch ist. Typisch für die Gneise scheint dagegen die Verknüpfung granitophiler mit granitophoben Elementen zu sein.

Tab. 5. Auswertung Clusteranalyse, Großenhainer Serie

Gneis Skassa-Merschwitz
(Großenhainer Serie)

|Cu, Zr+Pb, Zn+Sr | + |Ba|
 |Cr, V+Sn|
 |Co+Li, Ni, Ti|
 |Be, Rb|

Gneis Moritzburg
(Großenhainer Serie)

|Ba, Rb+Sr|
 |Be, Cr+Pb| ?+ Sn
 |Co, Zn, Ti, Zr, +Ni+Li+Cu, V|

Gneis Maderburg-Klotzsche
(Großenhainer Serie)

|Pb, Zn+V+Ba|
 |Cr, Cu+Sr|
 |Ni, Co, Ti+Zr | ?+ Rb|
 |Be, Sn | ?+ Li|

Gneis Großenhain-Bärnsdorf
(Großenhainer Serie)

|Sr, Li+Be|
 |Co, Cr+Ti, Zr+Cu(+Ni, V)|
 |Pb, Zn+Ba, Rb|
 |Sn|

Großenhainer Serie

|Ba, Sr+Rb | + B|
 |Co, Ti+Zr+Ni, V+Li | ?+Cu|
 |Pb, Zn|
 |Be, Cr+Sn|

Tab. 6. Auswertung Clusteranalyse, Granodiorite der Lausitz, Kamenzer Serie,
Röderner Serie, Pluton von Coswig

Anatexit der Lausitz

|B, Be+Zr|
 |Rb, Zn+Ba, Sn|
 |Cu, Pb+Li, Sr|
 |Co, Ni+Cr, V(+Ti)|

Biotitgranit Westlausitzer
Störung (Demitz-Thumitzer
Granodiorit)

|B, Zn+Pb|
 |Ti, Zr, Li+Cu|
 |Ba, Rb+Cr, Sr, V+Co, Ni|
 |Be, Sn|

Röderner Serie

|B, Li+Cu|
 |Cr, V+Rb+Ba+Be, Ti+Sn+Co, Ni|
 |Pb, Zn+Sr+Zr|

Kamenzer Serie

|Cr, V+Ti+B, Li+Ba|
 |Co, Ni+Be+Sn|
 |Cu, Rb+Zn|
 |Pb|
 |Sr, Zr|

Linkselbische Augengneise
(Pluton von Coswig)

|? B|
 |Co, Ti, V, Zn, Cr, Ni+Cu+Li|
 |Ba, Sr+Be, Sn|
 |Rb, Pb|

Rechtsehbische Augengneise
(Pluton von Coswig)

|? B|
 |Ba, Sr+Be+Sn|
 |Co, V, Ni+Ti+Zr+Li+Cu, Zn|
 |Pb, Rb+Cr|

5. Wechselbeziehungen Stoffbestand - Metamorphosegrad

Die untersuchten Gesteinskomplexe bieten mit der Folge Grauwacken der Kamenzer Serie - Metagrauwacken der Röderner Serie - Gneise Radeburg-Klotzsche - Gneise Großenhain - Gneise Skassa-Merschwitz (Metamorphosestufen der Großenhainer Serie) einerseits und von den Grauwacken der Kamenzer Serie zu den Granodioriten der Lausitz andererseits ein gutes Beispiel für Untersuchungen der stofflichen, geochemischen Variabilität in Abhängigkeit von steigendem Grad kinematischer bzw. statischer Metamorphose. Hinderlich und für die zu erwartenden Ergebnisse von wesentlicher interpretatorischer Bedeutung sind dabei mögliche Verschiebungen des Stoffbestandes der Gesteine durch jüngere Überprägungen. Zu diesen zu zählen sind die Kontaktmetamorphose durch Magmen des Meißner Massivs, der Lausitzer Granodiorite bzw. des Granits von Coswig, die postkristalline Deformation der Großenhainer Gneise an der Westlausitzer Störung sowie ihre stellenweise intensive Durchtränkung mit mikrogranitischen Restschmelzen seitens des Meißner Intrusivkörpers. Es gibt also genügend Möglichkeiten, Variationen im Stoffbestand auch auf andere Weise als durch fortschreitende Metamorphose zu erklären. Da aber Kontaktmetamorphose an granitoiden Körpern ebenso wie kataklastische Deformation von Gesteinen (Abbau von Plagioklas, Biotit, Aufbau von Mikroklin usw.) in ihren Auswirkungen auf den Stoffbestand eines Gesteins der Richtung nach etwa bekannt sind, besteht eine Möglichkeit, die Ergebnisse kritisch zu wichten. Die relativ starke Betonung granitophiler Elementverknüpfungen für die Gesteine der Großenhainer Serie vom Typ Radeburg-Klotzsche scheint solche Beziehungen zum Ausdruck zu bringen.

Die (nach den im Streichen der Gneise der Elbezone angelegten Profilen) geringfügige Zunahme der Gehalte granitophober Elemente dagegen scheint ebenso wie die als Ergebnis der statistischen Verrechnungen des Datenmaterials sich ergebende zunehmende Betonung der Verknüpfung granitophober Elemente in der Tendenz Ergebnis steigender dynamometamorpher Beanspruchung zu sein.

Die in den Grauwacken der Kamenzer Serie noch auf drei Gruppen verteilten granitophoben Elemente sind in den Gneisen der Großenhainer Serie zu einer Gruppe zusammengefaßt, der eine Gruppe intermediärer bis granitophiler Elemente gegenübersteht.

Welche Bedeutung den in den granitophoben Elementgruppen auftretenden granitophilen Elementen, vor allem Lithium und Rubidium(?), zukommt, ist ungewiß. In ihnen einen Ausdruck der kontaktmetamorphen Überprägung zu vermuten (Muskovitbildung) wäre möglich.

Nach den vorliegenden Ergebnissen gelten diese Entwicklungstendenzen jedoch nur bis an die Grenze zur Migmatisierung.

Mit dem Auftreten der ersten partiellen Lösungserscheinungen in den Gneisen der Großenhainer Serie, Typ Skassa-Merschwitz, endet dieses "granitophobe Regime", und die Betonung granitophiler Elementverknüpfungen steigt an. Damit führen dynamometamorphe Entwicklung und magmatische Differentiation chemisch ähnlich zusammengesetzter Gesteine bzw. Schmelzen zu stofflich etwa gleichen Produkten. Diese Vorstellung stützen könnte die Beobachtung, daß die migmatitischen Gneise von Skassa-Merschwitz und der Westlausitzer Granodiorit von Demitz-Thumitz strukturell zwar höchst verschieden, stofflich jedoch sehr ähnlich aufgebaut sind.

Tab. 7. Vergleich der Hauptelementgehalte beim Übergang Gneis - Migmatit für Gesteine des Schwarzwaldes und der Elbezone

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	P ₂ O ₅	CO ₂
Edukt-													
Biotit-													
Plagioklas-													
1 Gneis	62,3	0,6	18,2	1,8	4,0	0,0	1,2	2,8	3,9	1,9	1,8	-	-
Migmatit	64,0	0,6	17,3	1,2	3,8	0,0	2,4	3,1	3,6	2,1	1,3	-	-
Großen-													
hainer													
2 Gneis	64,0	1,0	15,4	1,3	4,2	0,0	3,3	2,7	3,1	3,0	0,6	0,1	0,2
Merschwitz,													
metatek-													
tischer													
Gneis	69,3	0,7	14,7	0,7	2,5	0,0	1,6	1,7	3,5	4,0	0,7	0,1	0,1
1 Überschuß	1,7	0,0	-	-	-	0,0	1,2	0,3	-	0,2	-	-	-
Defizit	-	-	0,9	0,6	0,2	-	-	-	0,3	-	0,5	-	-
2 Überschuß	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	0,1	-	-
Defizit	-	0,3	0,7	0,6	1,7	0,0	1,7	1,0	0,4	-	-	-	0,1

1: Biotit-Plagioklas-Gneis und dessen Migmatit aus dem Schwarzwald (nach MEHNERT 1951, S. 181)

2: entsprechende Vergleichsgesteine des Präkambriums der Elbezone (Großenhainer Serie)

Tab. 8. Haupt- und Spurenelementgehalte für die Abfolge Metagrauwacken - Gneise - metatektische Gneise im Präkambrium der Elbezone (Hauptelemente in Kationenprozent, Spurenelemente in $\sqrt{\text{ppm}}$)

	Westlausitzer Grauwacke	Gneis Radeburg- Klotzsche	Gneis Großenhain- Bärnsdorf	Gneis Skassa- Merschwitz
Si	59,5	62,2	59,5	62,9
Ti	0,2	0,5	0,7	0,6
Al	15,3	16,1	16,7	15,7
Fe ³⁺	0,1	0,9	0,9	0,7
Fe ²⁺	4,4	1,8	3,2	2,0
Mn	0,02	0,01	0,05	0,07
Mg	3,1	2,7	4,5	2,0
Ca	1,3	1,0	2,6	1,9
Na	4,5	4,7	5,5	6,3
K	3,3	3,7	3,5	4,2
H	7,3	5,4	1,8	2,8
P	0,1	0,1	0,1	0,2
C	0,5	0,2	0,2	0,1
S	-	0,1	0,1	0,1
B	12	5	6	5
Ba	622	720	770	774
Sr	128	197	214	227
Be	2	3	2	2
Li	29	31	38	46
Rb	76	101	100	95
V	92	54	70	81
Tl	4307	3515	3761	4500
Zr	197	190	191	205
Cu	31	20	23	24
Zn	102	75	79	75
Sn	2	4	3	4
Pb	34	59	37	33
Cr	56	40	47	58
Ni	28	32	15	19
Co	11	8	9	11

Aus diesen Ergebnissen ist folgende Regel abzuleiten:

Kinematische Metamorphose "granitoid" zusammengesetzter Paragesteine (präkambri-
sche Gneise der Elbezone) bewirkt im Spurenelementbestand - ausgehend von einer
statistischen Verteilung granitophiler und granitophober Elemente im Edukt -
eine Verstärkung der korrelativen Bindungen der Elemente in Form von getrennten
Gruppierungen granitophober und granitophiler Elemente. Mit den Prozessen partieller
Mobilisation, Migmatisierung und Anatexis (Westlausitzer Granodiorit,
migmatische Gneise von Merschwitz) werden vorhandene granitophob-granitophile
Elementgruppierungen aufgehoben und vermischt.

Diese Regel ermöglicht - unter der Vorbedingung einer entsprechend starken Metamorphose - die Unterscheidung kinematisch und statisch aktivierter Krustenteile.

Differentiation eines Magmas und kinematische Metamorphose sind hinsichtlich der
Entwicklung des Spurenelementbestandes (bzw. dessen korrelativer Bindungsmerkmale)
gegensätzlich gerichtete Prozesse: Die für das Frühstadium der Differentiation typische
Betonung granitophober Elementverknüpfungen trifft bei kinematischer Metamorphose
erst für Bereiche mittlerer bis starker Intensität zu. Abweichungen von dieser Regel
sind zu erwarten, wenn mit sekundären Änderungen im quantitativen Stoffbestand gerechnet
werden muß (Zufuhr, Abfuhr).

In Tab. 7 werden die Hauptelementgehalte eines Biotit-Plagioklas-Gneises aus dem
Schwarzwald und dessen Migmatit (Angaben nach MEHNERT 1951) mit den entsprechenden Werten
für die Großenhainer Serie, Typen Großenhain und migmatitische Gneise von Skassa-
Merschwitz verglichen. Parallele Entwicklungen ergeben sich dabei für

SiO_2 , K_2O im Sinne einer Anreicherung im Migmatit,

Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , Na_2O , H_2O^+ im Sinne einer rel. Verarmung im Migmatit.

Keine Übereinstimmung zeigt die Entwicklung der Werte für TiO_2 , MnO , MgO und CaO , die
zum Migmatit des Schwarzwaldes steigen, zum migmatitischen Gneis von Skassa-Merschwitz
jedoch fallen.

Für die Entwicklungsreihe Kamenzer Serie, Gneis Radeburg-Klotzsche, Gneis Großenhain,
migmatitische Gneise Skassa-Merschwitz (Typen der Großenhainer Serie) sind in Tab. 8 die
arithmetischen Mittelwerte der Haupt- und Spurenelementgehalte zusammengestellt. Aus dem
reinen Zahlenvergleich ergeben sich folgende Ableitungen, für die aber die aus struktu-
reller Lage, Kontaktmetamorphose usw. resultierenden Korrekturen (z.B. für die Gneise
von Radeburg-Klotzsche) zu beachten wären: Mit steigendem Metamorphosegrad verändern sich

1. durchgängig steigend: Na, K, P (Apatit!), Ba, Sr, Li;
2. durchgängig fallend: Fe^{2+} , H, C, S;
3. durchgängig steigend, bei Migmatisierung fallend: Al, Fe^{3+} ;
4. Elemente, die nur auf die Metagrauwacken-Gneis-Grenze reagieren, im Gneis konstant
bleiben:
B, Zn fallen zum Gneis,
Rb, Sn(?) steigen zum Gneis,
V, Ti, Cr, Co(?) fallen stark zum Gneis und steigen dort bis zur Migmatisierung an;
5. konstante Gehalte: Zr, Cu, Be, Mn (z.T. sehr geringe Gehalte!);

6. indifferente Gehalte: Si, Mg, Ca, Pb, Ni (Silizium ist wohl besser zu den im Gneis konstanten Elementen zu stellen, die bei Migmatisierung steigen. Seine Stellung hier kommt durch die hohen Si-Werte der Gneise von Radeburg-Klotzsche zustande, die sicher durch die kataklastische Deformation der Gesteine bedingt sind).

Somit ergibt sich als summarischer Effekt aller metamorphen Prozesse für die Gesteine des Präkambriums der Elbezone die Tendenz einer Granitisierung. Dem widerspricht das Verhalten der Elemente Ti, V, Cr, Co in den Gneisen, so daß man geneigt ist, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der statistischen Untersuchungen eine schwache Basifizierung der Dynamometamorphose zuzuschreiben, die von einer wesentlich intensiveren Granitisierung (Kontaktmetamorphose, Migmatisierung, mechanische Deformation) überlagert wird.

Grundsätzlich ergibt sich aus diesen Gegenüberstellungen, daß der einfache Zahlenvergleich von Analysenergebnissen für die Problematik der Wechselbeziehungen Stoffhaushalt - Metamorphose wenig aussagekräftig ist.

Literatur

- AHRENS, L.H.; PRESS, F.; RUNCORN, S.K.; UREY, H.C.: *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. VI. Oxford, London etc.: Pergamon Press 1965
- ALTHAUB, E.: Das System $Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$. Experimentelle Untersuchungen und Folgerungen für die Petrogenese der metamorphen Gesteine. N. Jb. Mineral., Abh., Stuttgart 111 (1969), Teil I, II, III
- Autorenkollektiv: Geochemie granitoider Gesteine im Erzgebirge und Thüringer Wald. Freiburger Forsch.-H., Leipzig C 259 (1970), 139 S.
- BANKWITZ, P. & E. BANKWITZ: Abschlußbericht Metallogenie Präkambrium, Teilgebiet Schwarzbürger Sattel 1 - Richtprofile. Unveröff. Ber., Zentralinst. Physik d. Erde, Berlin 1973, 110 S.
- BIMAS, R.A.: Zones of progressive metamorphism in the Willyama Complex, Broken Hill District, New South Wales. J. geol. Soc. Austr. 11 (1964), S. 284-330
- CHAKRAVORTY, P.S.; GHOSH, K.P.: The coexisting Kyanite, Sillimanite and Andalusite in regionally metamorphosed rocks near Bansinala, Bankura District, West Bengal, India. 24th IGC, Montreal 1972, Section 2, Petrology, S. 88-99
- CONDIE, K.C.; u.a.: Petrology and geochemistry of early Precambrian graywackes from the Fig Tree Group, South Africa. Bull. geol. Soc. Amer. 81 (1970), S. 2759-2776
- DECKER, F.: Die Geologie der sächsischen Elbtalkreide nach neuen Tiefbohrungen. Unveröff. Diss. geol. Inst. Bergakad. Freiberg 1968, 148 S.
- DEGENS, E.: Die Diagenese und ihre Auswirkungen auf den Chemismus von Sedimentgesteinen. N. Jb. Geol. u. Paläont., Mh., Stuttgart (1959) 2, S. 72-83
- DEGENS, E.: Geochemie der Sedimente. Stuttgart: F. Enke 1968, 282 S.
- DRESCHER-KADEN, F.K.: Die Feldspat-Quarz-Reaktionsgefüge der Granite und Gneise. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1948, 259 S.
- FRISCHBUTTER, A.: Zur Geologie des Präkambriums der Elbezone. Unveröff. Diss., E.-M.-Arndt-Univ. Greifswald 1976

- GALLWITZ, H.: Stratigraphie und tektonische Stellung der Elbtalzone.
Z. dt. geol. Ges. Hannover 105 (1955), S. 208-213)
- GOLDSCHMIDT, V.M.; KREJCI-GRAP, K.; WITTE, H.: Spurenelemente in Sedimenten.
Nachr. Akad. Wiss. Göttingen 2 (1948), S. 35-72
- HINRICHSSEN, T.; SCHÜRMAN, K.: Mineral Reactions in Low-Grade Metamorphic Rocks.
24th IGC, Montreal 1972, Section 2, Petrology, S. 5-10
- KÖHLER, A.; RAAZ, F.: Über eine neue Berechnung und graphische Darstellung von Gesteinsanalysen.
N. Jb. Mineral., Mh., Stuttgart (1951), S. 247-263
- KRAUSKOPF, K.B.: Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in sea water.
Geochim. et Cosmochim. Acta 2 (1956), S. 1-32
- KREJCI-GRAP, K.: Geochemical diagnosis of facies.
Proc. Yorkshire geol. Soc. 34 (1964), S. 469-521
- LANGE, E.; TISCHENDORF, G.; PÄLCHEN, W.; KLEMM, I.; OSSENKOPF, W.: Fortschritte der Metallogenie im Erzgebirge. Zur Petrographie und Geochemie der Granite des Erzgebirges.
Geologie, Berlin 21 (1972) 4/5, S. 457-493
- MEHNERT, K.R.: Zur Frage des Stoffhaushaltes anatektischer Gesteine.
N. Jb. Mineral., Abh., Stuttgart 82 (1951), S. 155-198
- MEHNERT, K.R.: Neue Ergebnisse zur Geochemie der Metamorphose.
Geol. Rdsch., Stuttgart 51 (1961), S. 384-394
- MÖBUS, G.: Die variszische Tektogenese in der Elbtalzone.
Geologie, Berlin 15 (1966), S. 6-18
- MÖBUS, G.: Die geotektonische Entwicklung des Grundgebirges im Raum Erzgebirge - Elbtalzone - Lausitzer Grundgebirge - Westsudeteten.
Abh. dt. Akad. Wiss., Kl. Chemie etc., Berlin (1964) 5, 114 S.
- OESTREICH, W.: Abschlußbericht Metallogenie Präkambrium, Clarkes Metamorphite Erzgebirge.
Unveröff. Ber. zentr. geol. Inst., Berlin 1973, 128 S.
- PIETZSCH, K.: Geologie von Sachsen.
Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1962, 870 S.
- RANKAMA, K.; SAHAMA, G.: Geochemistry.
Chicago: Univ. Chicago Press 1950
- ROHOV, A.B.; u.a.: Vergleichende Geochemie von Geosynklinal- und Tafelsedimenten (russ.).
Geochimija, Moskva (1965), S. 961-976
- RÖLLIG, G.; STRAACH, P.: Zum Einsatz faktorenanalytischer Methoden in der Geologie.
Z. angew. Geol., Berlin 19 (1973) 12, S. 600-609
- RÖSLER, H.J.; LANGE, H.: Geochemische Tabellen.
Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1965, 328 S.
- SCHMIDT, K.: Die Granodiorite des Elbtals.
Abh. dt. Akad. Wiss., Kl. Chemie etc., Berlin (1956) 4, 45 S.
- SCHMIDT, K.: Die Geröllführung algonkisch-kambrischer Grauwacken des Westlausitzer Zuges.
Freiberger Forsch.-H., Berlin C 91 (1960), 80 S.
- SHAW, D.M.: Cluster discrimination in analytical geochemistry using the distance coefficient. In: Topics in mathematical Geology, S. 93-103.
New York 1970

- TISCHENDORF, G.; PÄLCHEN, W.; LANGE, H.: Zur geochemischen Charakterisierung granitoider Gesteine.
Geologie, Berlin 21 (1972) 4/5, S. 554-569
- TRÖGER, K.A.; BEHR, H.J.; REICHEL, W.: Die tektonisch-fazielle Entwicklung des Elbe-Lineamentes im Bereich der Elbtalzone.
Freiberger Forsch.-H., Leipzig C 241 (1969), S. 71-87
- TUREKIAN, K.K.; WEDEPOHL, K.H.: Distribution of the elements in some major units of the earth crust.
Bull. geol. Soc. Amer., New York 72 (1961) 2, S. 175-191
- USDOWSKI, H.-E.: Fraktionierung der Spurenelemente bei der Kristallisation.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1975, 104 S.
- VINOGRADOV, A.P.: Die Durchschnittsgehalte der chemischen Elemente in den Hauptarten der Eruptivgesteine (russ.).
Geochimija 7 (1962) (zit. bei RÖSLER u. LANGE 1965)
- VOJTEVIČ, G.V.; MIROSLIKOV, A.E.; POVARENINNYCH, A.S.; PROCHOROV, V.G.: Kurzes Handbuch der Geochemie (russ.).
Moskau 1970
- WATZNAUER, A.; LINDNER, H.; BEHR, H.J.; TRÖGER, K.A.: Versuch einer Stockwerkskorrelation im Südschnitt des Elbe-Lineamentes (Raum Meißen - Bad Schandau).
Stockwerkbau und Felderteilung, Symp. 25 Jahre geotektonische Forschung an der AdW der DDR, Potsdam 1973, Teil III, S. 575-600 (zugleich Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde 14)
- WEDEPOHL, K.H.: Geochemie (Sammlung Göschen 1224, 1224a, 1224b).
Berlin: W. de Gruyter 1967, 221 S.
- WEDEPOHL, K.H.: Handbook of Geochemistry.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1969, 442 S.
- WERNER, G.D.: Geochemische Untersuchungen an Metamorphiten der Seimberg-Serie im Ruhlaer Kristallin (Thüringer Wald).
Ber. dt. Ges. geol. Wiss., Berlin B 16 (1972), S. 491-526

