

---

# BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

---

Reihe A/Band 29

Behruz Kaschanian

Korngrößenverteilung und Schwermineraführung in den  
Flußsanden der Ziller (Tirol/Österreich)



Berlin 1980

---

Verlag von Dietrich Reimer in Berlin

# BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Reihe A: Geologie und Paläontologie · Reihe B: Geophysik · Reihe C: Kartographie

D 188

Herausgegeben von geowissenschaftlichen Instituten  
der Freien und der Technischen Universität Berlin  
und der Technischen Fachhochschule Berlin

Schriftleitung:  
Dr. G. Pöhlmann (TFH), Dr. J. Pohlmann (FU)  
Dr. H. Seyfried (TU)

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich

---

ISBN 3-49600 214-X

© 1980 by DIETRICH REIMER VERLAG IN BERLIN

Berliner geowiss. Abh.	(A)	29	58 S.	11 Abb., 8 Tab., 3 Taf., 1 Karte	Berlin 1980
------------------------	-----	----	-------	----------------------------------	-------------

Behruz Kaschanian

Korngrößenverteilung und Schwermineralführung in den  
Flußsanden der Ziller (Tirol/Österreich)



1980

---

Verlag von Dietrich Reimer in Berlin



KORNGRÖSSENVERTEILUNG UND SCHWERMINERALFÖHRUNG

IN DEN FLUSSANDEN DER ZILLER

(TIROL, ÖSTERREICH)<sup>x</sup>

von

Behruz Kaschanian<sup>xx</sup>

ZUSAMMENFASSUNG

Die Mineralgesellschaft eines Sandes wird in ihrem qualitativen Bestand vom Ausgangsmaterial im Liefergebiet bestimmt, die quantitative Zusammensetzung hängt dagegen weitgehend vom Transportmechanismus und der Länge des Transportweges ab.

Die besondere Lage des untersuchten Gebietes in den kristallinen Schiefern der Tauernschieferhülle ermöglicht es, die Bindung der dort entstandenen Schwermineralgesellschaften an das Ausgangsgestein zu untersuchen. So wurden die rezenten Abtragungsprodukte im Einzugsgebiet der Ziller quantitativ und qualitativ auf den Mineralbestand hin untersucht. Alle Untersuchungen wurden mit Hilfe von mechanischen, optischen sowie röntgenographischen Methoden durchgeführt. Dabei wurde die konventionelle Methode der Schwermineraltrennung dahingehend verbessert, daß die Proben zentrifugiert und der Bodensatz eingefroren wurde.

Zu Beginn dieser Arbeit wird ein Überblick über die Geologie des Einzugsgebietes vermittelt.

Das Arbeitsgebiet läßt sich in zwei großtektonische Einheiten gliedern:

- a) das tektonisch höhere Unterostalpin und
- b) das tektonisch tiefere Penninikum.

Das Penninikum besteht seinerseits hier aus:

- a) Zentralgneis
- b) Altkristallin (Untere Schieferhülle)
- c) Bündnerschiefer (Obere Schieferhülle)
- d) Permomesozoikum (Hochstegenkalkfazies)

Nach dem gleichen Schema erfolgte auch die Gliederung der Gesteine.

Die mikroskopische Beschreibung befaßt sich vorwiegend mit den Gesteinen im Zentralgneisbereich.

Dabei wurden diese Gesteine nach ihrem Mineralbestand in zwei Großserien eingeteilt:

- a) Melanokrate Zentralgneisgesteine
- b) Leukokrate Zentralgneisgesteine

---

<sup>x</sup> Dissertation an der Freien Universität Berlin

<sup>xx</sup> Anschrift des Verfassers: Dipl.-Geol. Behruz Kaschanian, Institut für Angewandte Geologie der Freien Universität Berlin, 1000 Berlin 33, Wichernstraße 16

Um die Sandproben zu kennzeichnen und einige durchschnittliche Kennwerte von Korngrößenverteilungen bestimmen zu können, wurden von mehreren Proben Kornsummenkurven aufgezeichnet.

Aus zwei typischen Kurven wurden die verschiedenen Parameter berechnet, welche wie folgt aussehen:

a) die mittleren Korndurchmesser (mean size):

$$M_z = 1,68 - 2,27$$

b) die Sortierung (standard deviation):

$$\sigma_1 = 0,85 - 0,80 \text{ (moderately sorted)}$$

c) die Schiefe (skewness):

$$S_{kI} = 0,08 - 0,21 \text{ (nearly symmetrical to positively skewed)}$$

d) und für Kurtosis:

$$K_G = 0,98 - 1,12 \text{ (leptokurtic)}.$$

Außerdem werden die Ergebnisse der Siebanalyse in Tabellen und durch Diagramme dargestellt.

Die generelle Zunahme des Silt/Ton-Anteiles in der Ziller ist graphisch in Abhängigkeit vom Gefälle aufgezeichnet. Aus allen Gesteinen, die dünnschliffmikroskopisch untersucht wurden, sind ebenfalls Schwerminerale gewonnen und mit denen aus den Sandproben verglichen worden.

Es wird festgestellt, daß zwischen diesen beiden Schwermineralgruppen zwar eine deutliche qualitative, jedoch keine quantitative Obereinstimmung besteht.

Die rezenten Sedimente des Einzugsgebietes sind hauptsächlich durch eine Assoziation der Epidot-Granat-Hornblende-Vergesellschaftung mit stabilen Mineralen Zirkon, Rutil und Turmalin charakterisiert.

Diese Assoziation vermischt sich dann mit anderen Mineralen wie Aktinolith, Zoisit und Apatit, die für dieses Gebiet sehr typisch sind.

Auf Grund der Ergebnisse lassen sich hier keine unterschiedlichen distributiven Provinzen voneinander trennen. Hierbei spielt neben der relativ einheitlichen Verteilung der Gesteine vermutlich auch die Größe des Gebietes eine wesentliche Rolle, die für eine solche Differenzierung nicht ausreichend ist.

Die Schwermineralführung der Ziller und deren Nebenflüsse, sowie die qualitative, quantitative und fraktionale Verschiebung innerhalb der verschiedenen Proben wird untersucht und in Diagrammen dargestellt.

Die Stauseeanlagen üben nur quantitativ einen deutlich hemmenden Einfluß auf die Schwermineralführung der Zuflüsse aus.

Es wird einerseits festgestellt, daß man die hier aufgezeigten Schwermineralgesellschaften in der Molasse wiederfinden kann und zum anderen, daß aus einer solchen Schwermineralkombination bei der Endlagerung des Sedimentes nach einer gewissen Entfernung vom Liefergebiet auch eine völlig andere Schwermineralasoziation entstehen kann. Solche Assoziationen wären dann z.B. die Turmalin-Zirkon-Rutil- bzw. die Turmalin-Zirkon-Granat-Vergesellschaftungen.

## SUMMARY

The mineral association of sand is determined in its qualitative components of the initial material in the delivery region. The quantitative composition extensive depends on the transport-mechanism and the lengths of the transportational path.

The special location of the investigated region in the crystalline schists of the "Tauernschieferhülle", enables a research of the bond to the source rock of the originated heavy mineral associations.

Recent erosional products in the drainage area of the Ziller were investigated quantitative and qualitative on mineral constituent. The researches were carried out in assistance of mechanical, optical as well as radiographical methods. The conventional method on separating heavy minerals was improved: the samples were centrifuged and the grounds were frozen.

First a survey of the geology in the drainage area will be mediated.

The region of activity can be divided in two macrotectonic units:

- a) the tectonic higher low-east-alpine and
- b) the tectonic lower Penninikum.

The Penninikum for his part consists of:

- a) Central-gneiss
- b) Age-crystalline ("Untere Schieferhülle")
- c) Bündner-schist ("Obere Schieferhülle")
- d) Permo-Mesozoic (facies of Hochstegenkalk)

According to the same scheme the division of the rocks was ensued.

The microscopic diagnosis mainly occupies with the rocks of the central gneiss region.

According to their mineral constituent, the rocks were classified into two large series:

- a) Melanocratic central-gneiss-rocks
- b) Leucocratic central-gneiss-rocks

To characterize the sand samples and determine some average criterion values of grain-size distributions, grain cumulative curves were drawn.

Different parameter were calculated of two typical curves:

- a) the middle diameter of grain (mean size):

$$M_z = 1,68 - 2,27$$

- b) the sorting (standard deviation):

$$G_1 = 0,85 - 0,80 \text{ (moderately sorted)}$$

- c) the obliquity (skewness):

$$S_{kI} = 0,08 - 0,21 \text{ (nearly symmetrical to positively skewed)}$$

- d) and for curtosis:

$$K_G = 0,98 - 1,12 \text{ (leptocurtic)}$$

The results of the screen analysis are represented in column and diagrams.

Dependent on the incline, the general increase of the silt/clay-portion in the Ziller was graphical drawn. Heavy minerals were recovered of all microsectioned rocks and compared with such of the sand samples.

Between both heavy mineral groups a distinct qualitative conformity was ascertained, however, a quantitative conformity didn't exist.

Recent sediments of the drainage area are mainly characterized by an association of the epidote-garnet-hornblende assemblage with stable minerals zircon, rutile and tourmaline.

Then, the association mingles with other minerals as actinolite, zoisite and apatite, which are typical for this region.

Based on the results, variable distributive provinces can't be separated. The relative inform distribution of the rocks and the size of the region makes such a differentiation impossible.

The heavy mineral direction of the Ziller and affluents as well as the qualitative, quantitative and fractional shifting within the samples was examined and represented in diagrams.

The artificial lake just exert quantitative a distinct hampered influence on the heavy mineral direction of the inflow.

It was ascertained, that the shown heavy mineral association can be found in the molasse. After a certain distance from the delivery region, an entire different heavy mineral association can originate of such a heavy mineral combination at the final bedding of sediments.

Such associations would be: the tourmaline-circon-rutile- respectively the tourmaline-circon-garnet assemblage.

## RÉSUMÉ

L'association minérale d'un sable dans sa composition qualitative en fonction du matériel primaire de la zone d'origine est déterminée; la composition quantitative parcontre dépend principalement du mécanisme ainsi que de la distance de transport.

La position particulière de la zone explorée, au sein des schistes cristallins de la "Tauernschieferhülle", permet d'examiner la liaison entre les associations des minéraux lourds, qui s'y sont formées, et la roche mère.

C'est ainsi que furent analysés les produits de déblayement récents du bassin de réception de la Ziller, afin de déterminer de façon quantitative et qualitative leur composition minérale.

Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide de méthodes mécaniques, optiques et à l'intermédiaire de rayons X. La méthode conventionnelle de séparation des minéraux lourds a été améliorée en ce sens, que les échantillons furent centrifugés et que le dépôt obtenu fut congelé.

Au début du présent mémoire une vue d'ensemble de la géologie du bassin de réception est donnée.

La zone examinée peut être divisée en deux unités tectoniques majeures:

- a) La basse Austroalpine (niveau tectonique supérieur)
- b) Zone Péninique (niveau tectonique inférieur)

La Zone Péninique est composée à son tour de:

- a) "Zentralgneis"
- b) "Altkristallin" (niveau schisteux inférieur, "Untere Schieferhülle")
- c) schistes lustrés en "Glocknerfaciès" (niveau schisteux supérieur, "Obere Schieferhülle")
- d) permo-mésozoïque (faciès de Hochstegenkalk)

Les roches ont été classées suivant le même schéma.

La description microscopique se rapporte principalement aux roches appartenant au "Zentralgneis". C'est ainsi que furent divisées ces roches selon leur composition minérale en deux majeures séries:

- a) roches mélanocrates du "Zentralgneis"
- b) roches leucocrates du "Zentralgneis"

Afin de caractériser les échantillons de sable et d'obtenir des valeurs spécifiques, se rapportant à la distribution de la dimension des grains, des courbes granulométriques de plusieurs échantillons ont été tracées.

De deux courbes typiques ont été calculés les différents paramètres suivants:

- a) le diamètre moyen des grains (dimension moyenne):

$$M_z = 1,68 - 2,27$$

- b) la déviation standard:

$$\sigma_1 = 0,85 - 0,80 \text{ (classement moyen)}$$

- c) l'inclinaison:

$$S_{kI} = 0,08 - 0,21 \text{ (quasi symétrique à inclinaison positive)}$$

- d) la curtosis:

$$K_G = 0,98 - 1,12 \text{ (leptocurtique)}$$

En outre, les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés en forme de tableaux et de diagrammes.

L'accroissement général de la part argileuse dans la Ziller en fonction du dénivellement est montré graphiquement.

De toutes les roches, qui ont été examinées en lames minces, ont aussi été extraits les minéraux lourds, afin de les comparer avec ceux des échantillons de sable.

On constate entre ces deux groupes de minéraux lourds une nette concordance qualitative, mais non quantitative.

Les sédiments récents du bassin de réception sont caractérisés avant tout par une association des minéraux épidote, grenat et amphibole avec d'autres plus résistants, c'est à dire zircon, rutile et tourmaline.

Les minéraux actinote, zoisite et apatite, typiques pour la zone examinée, s'y ajoutent encore.

En raison des résultats, il n'est pas possible d'individualiser des provinces distributives différentes. C'est ainsi que la répartition pratiquement homogène des roches et la grandeur de la zone, trop petite pour une telle différenciation, jouent probablement un rôle essentiel.

A côté du charriage de minéraux lourds de la Ziller et de ses affluents, le décalage qualitatif, quantitatif et fractionnaire au sein des différents échantillons est examiné et représenté en diagrammes.

L'influence des barrages, modérant le charriage de minéraux lourds des cours d'eau, n'est remarquable qu'au point de vue quantitatif.

On constate d'une part, qu'il est possible de retrouver dans la molasse les associations de minéraux lourds présentées, et d'autre part, qu'il est possible que d'une telle combinaison de minéraux lourds se forme avec le dépôt définitif du sédiment, après une certaine distance de la zone d'origine, une autre association de minéraux lourds tout à fait différente.

De telles associations seraient donc par exemple celles à tourmaline, zircon et rutile respectivement à tourmaline, zircon et grenat.

#### VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Angewandte Geologie, FU Berlin, auf Anregung meines verehrten Lehrers, Herrn Prof. Dr. F.-K. List, dem ich für die stets hilfreiche Unterstützung und den jederzeit gewährten Rat bei der Durchführung und der Gestaltung dieser Arbeit danken möchte.

Herrn Prof. Dr. H. Füchtbauer, Universität Bochum, der mich im Rahmen eines Kompaktkurses in die Grundlagen der Schwermineralanalyse einführte, möchte ich an dieser Stelle ebenfalls meinen Dank aussprechen.

Ebenso bin ich Herrn Prof. Dr. H. Ibbeken, FU Berlin, für die in manchen Gesprächen gegebenen wertvollen Hinweise zur Darstellung der Korngrößenanalyse zu Dank verpflichtet.

Herrn Prof. Dr. G. Morteani, TU Berlin, gebührt mein Dank für die Hilfe bei der Bewältigung der petrographischen Problematik und für die Bereitstellung geologischer Unterlagen.

Besonders danke ich Herrn Prof. Dr. K. Germann für die Unterstützung, die er mir bei der Arbeit im Labor und bei den mikroskopischen und röntgenographischen Untersuchungen zuteil werden ließ.

Den Mitarbeitern des Institutes und all denen, die durch Rat und Tat zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle ebenso danken: Herrn Prof. Dr. W.-D. Grimm (München), Herrn Prof. Dr. H. Kallenbach (TU Berlin), Herrn Dr. J. Pohlmann (FU Berlin), Herrn Prof. Dr. M. Richter (FU Berlin), Herrn Dipl. Ing. J. Schneider (HMI), Herrn Dipl. Geol. R. Tehrani (FU Berlin), Frau R. Timm (FU Berlin) und allen Mitarbeitern der Tauernkraftwerke A.G. (Kaprun).

Schließlich sei der Friedrich-Naumann-Stiftung für die finanzielle Unterstützung während der Durchführung dieser Arbeit gedankt.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	8
1.1 Lage des Arbeitsgebietes	9
2. GEOLOGISCHER OBERBLICK	9
2.1 Allgemeines	9
2.2 Das Einzugsgebiet der Ziller	11
3. PETROGRAPHISCHE ÜBERSICHT	15
3.1 Gliederung der Gesteine	15
3.1.1 Die Gesteine der nördlichen Grauwackenzone und der benachbarten Schwazer (= Kellerjoch) Gneise	15
3.1.2 Die unterostalpinen Gesteine	15
3.1.3 Gesteine des penninischen Bereichs	15
3.1.3.1 Zentralgneis	15
3.1.3.2 Gesteine der Schieferhüllen	17
3.1.3.3 Gesteine der Schönachmulde und der Greinerschiefermulde	17
3.2 Mikroskopische Beschreibung	19
3.2.1 Melanokrate Zentralgneisgesteine	19
3.2.1.1 Metagabbro	20
3.2.1.2 Amphibolit	20
3.2.1.3 Biotitschiefer	20
3.2.1.4 Lamprophyre	21
3.2.2 Leukokrate Zentralgneisgesteine	21
3.2.2.1 Granodioritische Gesteine	21
3.2.2.2 Biotitgneis	22
3.2.3 Andere wichtige Gesteine im Arbeitsgebiet	22
3.2.3.1 Hornblendegarbenschiefer	23
3.2.3.2 Serpentin	23
3.2.3.3 Quarzitschiefer	23
4. ARBEITSMETHODEN UND HYDROGRAPHISCHE ANGABEN	24
4.1 Einleitung	24
4.2 Probennahme	24
4.3 Probenaufbereitung	25
4.4 Das Flußsystem	26
5. DARSTELLUNG UND AUSWERTUNG DER GRANULOMETRISCHEN ANALYSE	28
5.1 Modalverteilung	28
5.2 Korngrößenparameter	28
5.2.1 Mean size	28
5.2.2 Standard deviation	32
5.2.3 Skewness	32
5.2.4 Kurtosis	33

	Seite
6. SCHWERMINERALE	33
6.1 Einführung	33
6.1.1 Methodik der Untersuchung	37
6.2 Darstellung der Ergebnisse	37
6.2.1 Mengenverteilung und allgemeine Übersicht	37
6.2.2 Beschreibung der Schwerminerale	41
6.2.2.1 Amphibole	41
6.2.2.2 Anatas	42
6.2.2.3 Apatit	42
6.2.2.4 Disthen	43
6.2.2.5 Epidot	43
6.2.2.6 Granat	44
6.2.2.7 Orthit	44
6.2.2.8 Rutil	45
6.2.2.9 Scheelit	45
6.2.2.10 Staurolith	45
6.2.2.11 Titanit	46
6.2.2.12 Turmalin	46
6.2.2.13 Zirkon	46
6.2.2.14 Zoisit	47
6.2.2.15 Andere Schwerminerale	47
6.2.3 Mineralgesellschaften	48
7. FEHLERBETRACHTUNG	49
8. SCHLUSSBEMERKUNG	50
9. LITERATURVERZEICHNIS	52
ANHANG	I - XIII
Verzeichnis der Analysendaten	
Karte des Einzugsgebietes mit den Probenentnahmestellen	

## 1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Schwerminerale aus definierten und in ihrer petrographischen Zusammensetzung bekannten Herkunftsgebieten wurden bis jetzt nur in wenigen Arbeiten untersucht.

In folgenden Publikationen wurde der Mineralbestand rezenter Flußsedimente in alpinen Liefergebieten behandelt:

VAN ANDEL (1951) beschrieb die Sedimente der Durance in den Westalpen.

GEES (1965) befaßte sich mit der Korngrößenanalyse der Sedimente aus vier schweizerischen Flüssen (Aare, Reuss, Landquart und Ticino).

HOFMANN (1966) untersuchte die Flußsande im Südtessin auf Schwerminerale hin.

HAHN (1967) führte eine ausführliche sedimentpetrographische Untersuchung an Flußsanden des Alpenrheins durch.

MOLLER & FÜRSTNER (1968) untersuchten den Sedimenttransport im Mündungsgebiet des Alpenrheins.

XIDAS (1974) beschäftigte sich in seiner Dissertation mit den Sedimenten im Deltaraum der Tiroler Ache.

Dagegen existiert eine Fülle von Literatur, in der die Schwermineralanalyse als Hilfsmittel für die Beantwortung geologischer Fragen benützt wird.

Im folgenden wird auf einige dieser hier benutzten Arbeiten hingewiesen:

ANDRÉE (1936), BLANKENBURG (1964), BLANKENBURG & JAGUSCH (1964), BRAUNE (1973), BOLOW (1951), CLAUS (1936), DEECKE (1935), DORR (1953), ENGELHARDT (1939/40), FIEDLER (1937, 1940), FÜCHTBAUER (1958, 1963, 1967), GRIMM (1965, 1973), HELLMERS (1952), HOFMANN (1960), HOPPE (1951, 1962a, 1963), LADURNER (1954, 1956), LIST (1965), LUDWIG, G. & LUDWIG, H. (1953), LUDWIG, G. & VOLLBRECHT (1957), MOOS (1935), MOLLER, H. (1948), MOLLER & HAHN (1964), MOLLER & SCHÜTTLER (1965), MOLLER & TRÜGER (1948), RUDOLPH & SEIM (1961), SCHIESSL (1962), SCHMEER (1958), SCHNITZER (1954, 1959), SCHRÖDER (1962), SINDOWSKI (1940), STUMPFL (1958), VAN ANDEL (1952), VATAN (1949, 1950), WEYL (1952), WEYL & WERNER (1951, 1952), WIESENER (1953), WOLETZ (1955, 1963, 1967), ZADORLAKY-STETTNER (1960, 1961).

Danach liegen Schwermineralanalysen an rezenten Flußsanden mit definiertem Einzugsgebiet nur selten vor.

Somit ist die exakte Zuordnung der Schüttungen zu ihren Herkunftsgebieten oft mit Unsicherheiten behaftet.

Mit der vorliegenden Arbeit soll nun durch die Schwermineralanalyse an rezenten Flußsanden der Ziller<sup>1)</sup> mit ihrem Einzugsgebiet die Bindung bestimmter Schwerminerale an bestimmte Liefergesteine aufgezeigt werden.

Die Durchführbarkeit dieser Aufgabe ist durch die besondere morphologische und petrographische Lage des Gebietes in den kristallinen Schieferen gegeben.

Hier ergibt sich die Möglichkeit, eine große Anzahl der akzessorischen Minerale mit hohem spezifischen Gewicht, die sogenannten Schwerminerale, auf ihre Resistivität gegen chemische und mechanische Zerstörung durch Analyse des Schwermineralspektrums im Lauf des Flusses zu verfolgen.

Die Ziller bietet sich auch deshalb an, weil hier die distributive Provinz von vornherein bekannt ist und das Ausgangsmaterial im Liefergebiet für alle petrographischen Untersuchungen zur Verfügung steht. Dies gestattet einen direkten Vergleich zwischen dem Ausgangsmaterial und dem Schwermineralspektrum.

Bei einer Verschiebung im Mineralspektrum sollen dann die verschiedenen Faktoren, die zu einer spezifischen Anreicherung oder zu einer Ausmerzung der einzelnen Minerale geführt haben, näher untersucht werden.

Die petrographische Zusammensetzung des transportierten Materials und deren Leicht- und Schwermineral-Verhältnisse lassen eine Fülle an Informationen über die Entstehung und Veränderung des Stoffbestandes erwarten.

Zu diesem Zweck wurden die Proben nach einem genauen Plan so genommen, daß sie das Gesamtgebiet decken und somit für das Einzugsgebiet repräsentativ sind.

Aus der kollektiven Betrachtung des gesamten Schwermineralspektrums, dem daraus interpretierten Ausgangsmaterial und aus dem - in seiner petrographischen Zusammensetzung schon bekannten - Liefergebiet sollen dann die Grenzen und Möglichkeiten für die Rekonstruktion der distributiven Provinz durch Deutung der Mineralvergesellschaftungen diskutiert werden.

Zum Schluß wird auch der Versuch unternommen, die Analogien, die durch Vergleiche der Mineralvergesellschaftungen des Arbeitsgebietes mit denen aus anderen Gebieten des Alpenraumes entstehen, zu diskutieren.

---

1) Zur Zeit der Niederschrift dieser Arbeit fand man in der Literatur für den Fluß Ziller beide Artikel "der" und "die". Im folgenden wird die Bezeichnung "die Ziller" benutzt.

Neben diesen Überlegungen kann jenen Mineralen, die relativ leichter der mechanischen Zerstörung unterliegen und somit bei der Betrachtung der klastischen Sedimente bis jetzt weniger berücksichtigt wurden, besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die Chlorit-, Amphibol- und Epidot-Zoisit-Gruppen sind hier gute Beispiele. Solche Minerale kommen im Arbeitsgebiet z.B. als Minerale der Strahlsteinreihe oder als Epidot in Ca-reichen, kristallinen Schieferen der Grünschieferfazies vor.

Um all die genannten Aufgaben zu bewältigen wurde zunächst die konventionelle Methode der Schwermineraltrennung solange abgeändert, bis eine schnellere und genauere Aufbereitung des umfangreichen Materials erreicht wurde.

Vor der eigentlichen Arbeit, der Schwermineral-Untersuchung, wird in den Kapiteln 2 und 3 ein Überblick über den heutigen Stand der Kenntnisse in der Geologie des Zillertales sowie über die Petrographie und Gesteinsgliederung im Arbeitsgebiet vermittelt.

### 1.1 Lage des Arbeitsgebietes

Das untersuchte Gebiet liegt auf dem Boden der Republik Österreich im Bundesland Tirol, zwischen dem Inntal und dem Alpenhauptkamm.

Es wird von drei großen Gebirgsgruppen, nämlich Tuxer-, Kitzbühler- und Zillertaler Alpen, aufgebaut (Abb.1).

Seine Grenzlinien werden durch die Hauptwasserscheide des Einzugsgebietes der Ziller gegen die benachbarten folgenden Flußsysteme festgelegt.

- im N, NE und NW: der Inn mit seinen zahlreichen kleinen Zuflüssen.
- im W : das Einzugsgebiet der Sill.
- im E : die Salzach und z.T. die Brixentaler bzw. Kelchsauer Ache.
- im S : die Einzugsgebiete der Rienz und z.T. auch des Eisack.

Die Südgrenze wird gleichzeitig vom Alpenhauptkamm, über den auch die österreichisch-italienische Grenze läuft, gebildet.

## 2. GEOLOGISCHER OBERBLICK

### 2.1 Allgemeines

Der geologische Teil ist unter Zugrundelegung folgender Literatur zusammengestellt worden:

ANGENHEISTER, et al. (1975), GWINNER (1978), HÜLL & MAUCHER (1967), JÄGER, et al. (1967, 1969), KARL (1951, 1956), KOBER (1923), KUPKA (1956), LAMBERT (1964), MORTEANI & RAASE (1974), OXBURGH et al. (1966), PETTIJOHN, et al. (1972), SANDER (1912), SATIER (1975), THIELE (1951, 1970, 1974), TOLLMANN (1963 a, 1963 b, 1965).

Das Gebirge der Alpen bildet orographisch einen Bogen von Genua bis an die Donau bei Wien.

Die Entstehungsgeschichte der Alpen nimmt ihren Anfang im Paläozoikum mit Sedimentablagerungen in dem stetig absinkenden geosynklinalen Meeresbecken der Tethys.

Der gesamte Ablagerungsraum, durch vorhandene Schwellen in einzelne Teilräume gegliedert, war der Ausgangspunkt für die Entstehung verschiedener Sedimentationströge.

In folgende Zonen werden die Alpen der Fazies und dem tektonischen Bau entsprechend aufgeteilt:

Molasse, Helvetikum, Penninikum, Ostalpin, Südalpin und Po-Ebene.

Bei der Bewegung, Faltung und Verengung des Raumes seit der Kreidezeit bildeten sich aus den Schwellen des ehemaligen Geosynklinalmeeres die Massive der Zentralalpen, aufgebaut aus magmatischen und metamorphen Gesteinen.

Die zentralen Massive werden im S von den penninischen, im E von den helvetischen Decken umgeben. Im E stehen dann die höheren tektonischen Einheiten, die ostalpinen Decken, an.

Man untergliedert somit den Gebirgskörper der Alpen in überschobene Teile (Decken) und in autochthone Teile.

Die Gesteine der helvetischen wie auch der penninischen Zone bilden den größten Anteil am Aufbau der Westalpen.

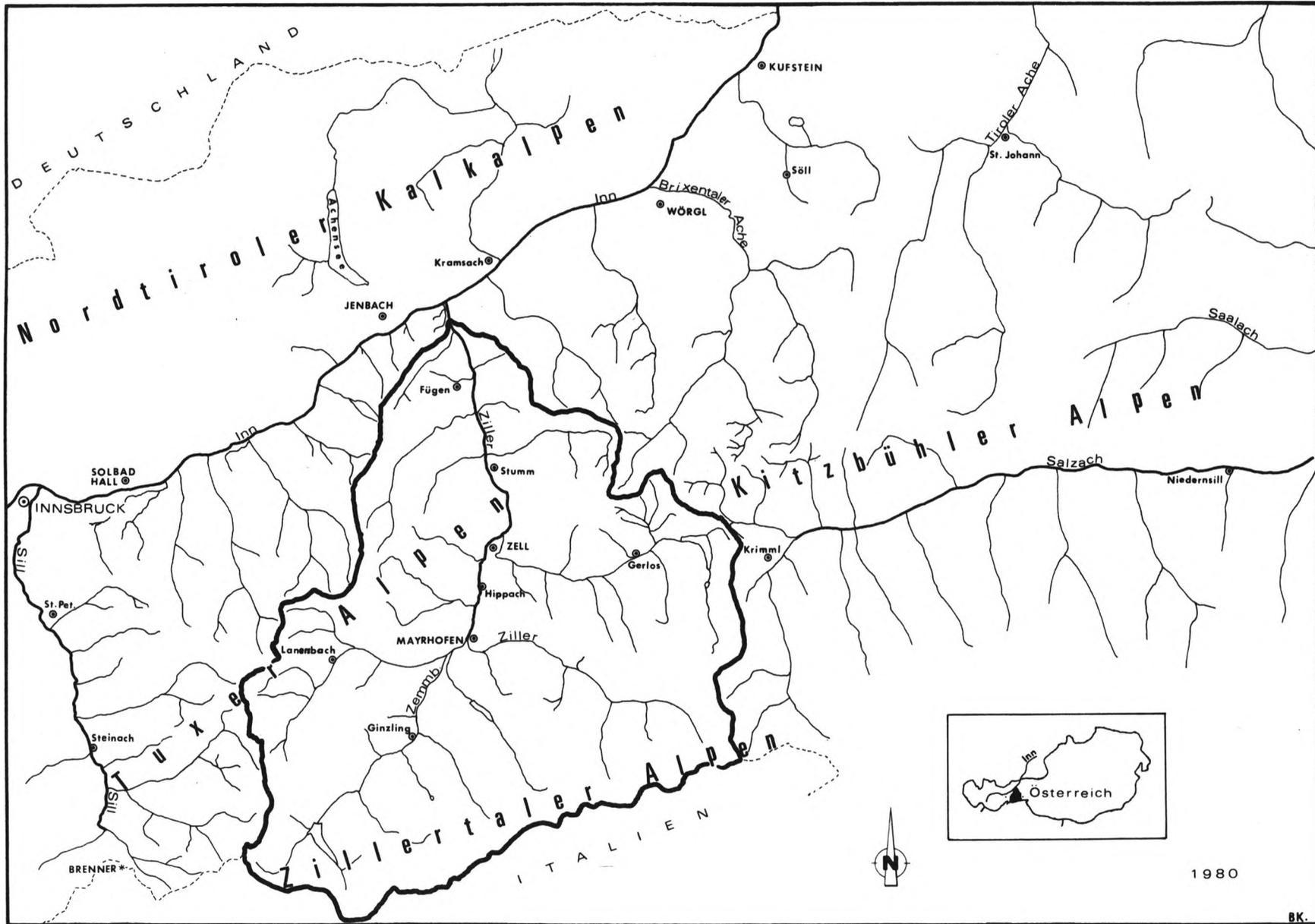


Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes (das Einzugsgebiet der Zillertal ist durch die Wasserscheide gekennzeichnet).

In den Ostalpen kommen das Helvetikum und das Penninikum nur in Form von schmalen Streifen am Nordrand und in einigen Fenstern zum Vorschein.

Bei der Zerschering der helvetisch-penninischen Gebiete in etliche Decken sind auch das vormesozoische Kristallin und das mehr oder weniger metamorphe Mesozoikum (Kern-Decken) in den Deckenbau einbezogen worden.

Das Helvetikum wird östlich des Rheins von der ostalpinen Flysch-Zone überschoben. Es kommt in Vorarlberg und im Allgäu (Bregenzer Wald) noch als großes Fenster zum Vorschein. Das Penninikum, zu dem auch das Arbeitsgebiet gehört, zeigt sich in der ostalpinen Flysch-Zone am Alpen-Nordrand und in Fenstern innerhalb des Ostalpines (Engadin, Hohe Tauern, Rechnitzer-Schieferinsel).

Die ostalpinen Sedimentablagerungen wurden mit ihren kristallinen Kernen über tektonisch tiefere Einheiten hinweg nach Norden verfrachtet.

Für die penninische Fazies der mesozoischen Sedimentation sind die eintönigen Bündnerschiefer charakteristisch.

Die helvetische Fazies der mesozoischen Sedimentation ist durch eine reiche Gliederung von Jura und Kreide gekennzeichnet. Die Ablagerungen setzen sich zusammen aus wechselnden Folgen von fein- und grobklastischem Material mit kalkigen Zwischenschichten. Die Bündnerschiefer bestehen dagegen aus einer wechselnden Serie von Ton- und Kalkschiefern, Quarziten mit allen Übergängen dieser Gesteine zu Sandsteinen und Sandkalken. Hierzu gesellen sich die mesozoischen Ophiolithe, basische bis ultrabasische Eruptivgesteine. Diese Begleitgesteine liegen heute zum großen Teil als alpinmetamorphes Material vor.

In der ostalpinen Fazies der mesozoischen Sedimentation herrschen triassische Karbonat-Ablagerungen vor.

Die Granitgneiskerne der penninischen Decken sind von einer ebenfalls vergneisten, älteren Hülle sedimentogenen Ursprungs umgeben. Die Basis der unterostalpinen Decken besteht aus Graniten und Dioriten.

## 2.2 Das Einzugsgebiet der Ziller

Das Arbeitsgebiet erstreckt sich als Teil der Ostalpen etwa von der nördlichen Grauwackenzone (Inntal) fast bis zur Grenze gegen die Matreier Zone am Südrand des Tauernfensters.

Das wesentliche Teilstück des Einzugsgebietes der Ziller liegt somit innerhalb der westlichen Hohen Tauern im Bereich der Greiner Mulde und deren benachbarten Tuxer- und Zillertaler Gneisen (Abb. 2).

Im folgenden sollen nun in aller Kürze die wichtigsten geologischen Zusammenhänge des Arbeitsgebietes in Anlehnung an Abb. 2 und die heute vorliegenden Daten skizziert werden.

Im Tauernfenster taucht der präalpidische Sockel auf. Er besteht aus variszischen und prävariszischen Metamorphiten, dem Zentralgneiskern.

Dem zentralen Bereich aus granitischen bis tonalitischen, z.T. migmatischen Gesteinen lagern die Schieferhüllgesteine in autochthonem bis parautochthonem und allochthonem Verband auf. Wie aus Abb. 2 ersichtlich, schneiden die Schieferhüllgesteine mit ihren Ausläufern in der Venedigergruppe und den Zillertaler Alpen kleinere Gneiskerne aus dem Zentralkern heraus.

Für das Arbeitsgebiet sind die Greiner-Schiefermulde im SW und die Schönachmulde im NE von Bedeutung, die jeweils den Tuxer-Kern und den Ahornkern vom zentralen Kern abtrennen.

Die alpidische Metamorphose der Schieferhüllen und der Zentralgneis-Massen wird üblicherweise nach SANDER (1912) als "Tauernkristallisation" bezeichnet.

Die Schieferhülle, die, wie schon erwähnt, den zentralen Kern aus verschiedenen Gneisen umgibt, ist wiederum in eine kernnähere (untere) und in eine kernfernere (obere) Schieferhülle geteilt. Nach TOLLMANN (1963) handelt es sich hierbei um zwei unterschiedliche Deckensysteme. FRASL (1958) unterscheidet stattdessen eine Gruppe permomesozoischer (jüngerer) von einer Gruppe paläozoischer (älterer) Serien.

Die "Untere Schieferhülle", die als ein tektonischer Begriff zu verstehen ist, umfaßt die autochthonen bis parautochthonen Einheiten oder solche, die in Form von Decken auf den Gneiskernen ruhen.

Die "Obere Schieferhülle" liegt als Decke (Glockner Decke) über der unteren Schieferhülle.

Zusammengefaßt kann man die lithostratigraphische Gliederung der Schieferhüllen des Tauern Penninikums in folgender Abbildung darstellen (Abb. 3).

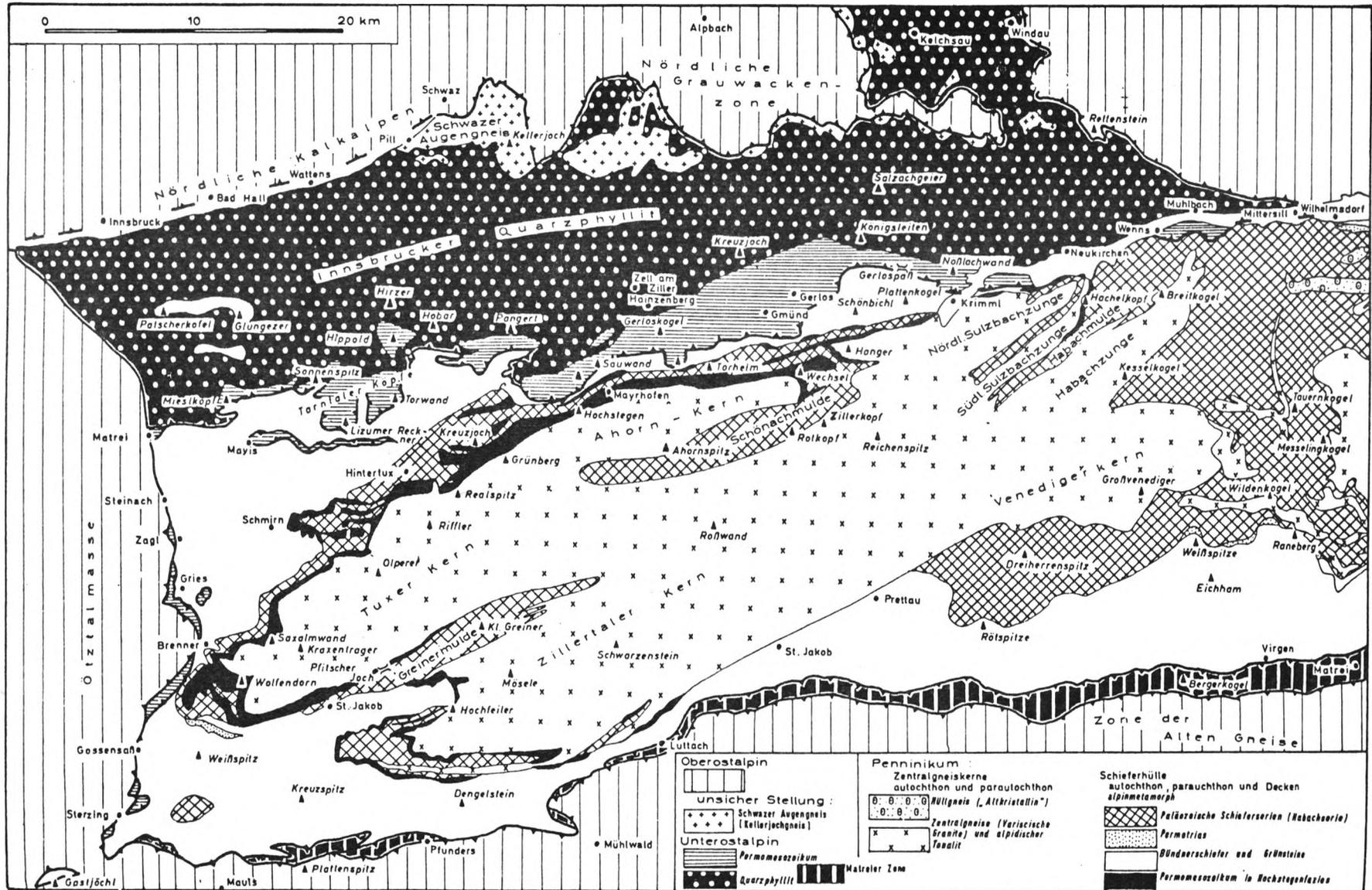


Abb. 2: Der Westteil des Tauernfensters (aus GWINNER 1978).

GEBIET	GROSSGLOCKNER	GROSSVENEDIGER	ZILLERTALER ALPEN	ENTSPRECHENDE AUSTRALPINE SERIEN	
<i>Autor</i> <i>Zeit- abschnitt</i>	FRASL & FRANK (1966)	SCHMIDEGG (1966)	BAGGIO & DE VECCI (1969)		
KREIDE JURA	Bündnerschiefer Serie	Bündnerschiefer Serie	Kalkschiefer mit Ophiolithen	Mesozoikum der Nördl. Kalkalpen	Zentral- alpines Mesozoikum
TRIAS	Seidwinkeltrias	Karbonatserie	Marmore der Pfitscher Serie		
PERM	Wustkogelserie	Quarzite bis Arkosen	Quarzite der Pfitscher Serie	"Verrucano.."	"Verrucano.."
KARBON ----- ALT PALAEOZOIKUM	Habach Serie	Serie der hellen Glimmerschiefer	Greiner Serie	Nördliche Grauwacken Zone	
PRÄ KAMBRIUM	Penninisches Altkristallin z.T.	Penninische altkristalline Serie	Glimmerschiefer der Tuxer u n d GROSSVENEDIGER Serie	?	Australpines Altkristallin

Abb. 3: Vereinfachte lithostratigraphische Gliederung der Schieferhüllen des Tauern-Penninikums (aus ANGENHEISTER, et al. 1975).

Für die mesozonal-metamorphe Gesteinsfolge der Greiner Serie läßt sich in der Literatur keine exakte tektonische und zeitliche Stellung finden.

Diese Gesteine können sowohl als metamorphe Produkte klastischer Sedimente und vulkanischen Gesteinsmaterials als auch solche bituminöser Tonschiefer und grobklastischer Sedimente angesehen werden. Die metamorphen Gesteine der Schieferhülle wie auch des Zentralgneises lassen zwei unterschiedliche metamorphe Phasen erkennen, nämlich ein älteres und damit mesozonales und ein jüngeres bzw. epizonal-metamorphes Stadium. Hierzu findet man z.B. in verschiedenen Gesteinen der Greiner Serie auch unterschiedliche, fazieskritische Mineralparagenesen, die im Abschnitt Petrographie näher betrachtet werden.

Nach MORTEANI & RAASE (1974) macht sich die ältere Metamorphose im Zentralgneis durch den Zerfall der magmatischen An-reichen Plagioklase und die Neubildung einer zweiten Plagioklasgeneration bemerkbar. Hierbei entsteht dann gleichzeitig eine Mikrolithfüllung in den alten Plagioklasen.

Der nach Abb. 2 im N des Gebietes auftretende Innsbrucker Quarzphyllit wird nach bisherigen Untersuchungen zum Unterostalpin gestellt (THIELE 1976, LAGALLY & MILLER 1974). Diesem relativ monotonen, schmutzig-grünlich-grauen Phyllit mit charakteristischen groben Quarzausschwitzungen sind neben schmalen Graphitschiefern auch die stratigraphisch wichtigen Dolomite und Bändermarmore eingeschaltet. In den Karbonaten der Lanersbacher Magnesit-Lagerstätte konnten HÖLL & MAUCHER (1967) an Hand von Conodonten höheres Silur bis tieferes (?) Devon belegen. Auf Grund der fossilführenden Einschaltungen kann man somit ein altpaläozoisches Alter des Quarzphyllites als gesichert ansehen. Der Ahornkern, fast im topographischen Mittelpunkt des Arbeitsgebietes liegend, ist das tektonisch tiefste Element der westlichen Hohen Tauern (THIELE 1974, KOBER 1923). Er besteht nach THIELE (1974) aus porphyrischem Metagranit mit seiner Hochstegenkalkbedeckung. Zu dieser Gesteinsserie gesellen sich dann die im Süden anschließenden Gesteine der Schönachmulde.

Die radiometrischen Bestimmungen erbrachten nach JÄGER et al. (1969) Werte von 246 Mill. Jahren für das Gesamtalter der Zentralgneise. Diese Rb/Sr-Gesamtaltersbestimmungen wurden an Augen- und Flasergranitgneisen des nördlichen Großvenedigergebietes durchgeführt.

Die von SATIR (1975) vorliegenden Daten aus dem Bereich des Zentralgneises der westlichen Hohen Tauern ergaben ein Alter von  $236 \pm 25$  Mill. Jahren. Somit können die beiden Tuxer und Zillertaler Gneise des Arbeitsgebietes aufgrund von Rb/Sr-Gesamtgesteinsaltersbestimmungen vorwiegend in das Perm eingestuft werden. Dieses Alter weist gleichzeitig auf eine bis in das jüngste Perm reichende, sehr intensive thermische Aktivität der variszischen Orogenese hin.

Mit Hilfe von K/Ar- und Rb/Sr-Hellglimmeraltern wurde die jungalpidische Metamorphose im Tauernfenster auf 35 - 26 Mill. Jahren datiert, wobei Abkühlungsalter von 18 - 12 Mill. Jahren das Ende der Tauernmetamorphose markieren (vgl. dazu SATIER 1975).

Zusammenfassend unterscheidet man nach FRASL & FRANK (1966) für das Arbeitsgebiet zwei großtektonische Einheiten:

- Das tektonisch höhere Unterostalpin:  
Quarzphyllit, Permomesozoikum und Matreier Zone im S
- Das tektonisch tiefere Penninikum, das sich wiederum in vier Serien gliedern läßt:
  - a) Zentralgneis mit dem Zillertaler-Venediger Kern: Gneise, Metagranite und Metatonalite;
  - b) Altkristallin mit der sogenannten Unteren Schieferhülle:  
Gneise, Paläozoische Serien, Greinerschiefer und Habachserie (Phyllite);
  - c) Bündnerschiefer mit der sogenannten Oberen Schieferhülle:  
Kalkglimmerschiefer mit wechselnden karbonatischen und pelitischen Anteilen;
  - d) Das Permomesozoikum: Hochstegenkalkfazies.

Anmerkung: Die Bezeichnungen der genannten tektonisch-geologischen Einheiten wurden nach dem allgemein üblichen geologischen Gebrauch übernommen.

### 3. PETROGRAPHISCHE ÜBERSICHT

Von größeren Teilen des Arbeitsgebietes liegen moderne petrographische Beschreibungen vor.

Dennoch war es notwendig, eigene petrographische Untersuchungen durchzuführen. Einmal sollte die Arbeit von der Zielsetzung her aufgebaut werden und zusätzliche Informationen liefern, und zum anderen sollten die sich hier deckenden Eigenschaften der Schwermineralkörner in Flußsanden und deren Äquivalenten im Gesteinsverband des Liefergebietes besser beachtet werden. So wurden die petrographischen Untersuchungen vorzugsweise an solchen Gesteinen vorgenommen, die als wesentlicher Bestandteil des Ausgangsmaterials für die Schwerminerale im Einzugsgebiet in Betracht kommen.

Die unten aufgeführte Literatur lieferte hierbei wertvolle Hilfe:

BECKE (1903), BECKE & LÖWL (1903), BESANG, et al. (1968), BUSCHENDORF (1965), CHRISTA (1931, 1934), CHOUDHURI & WINKLER (1967), DIETIKER (1938), HÜCK (1970), KARL (1959, 1966, 1968), KOBER (1912, 1922, 1923), LAMMERER et al. (1976), MORTEANI (1971, 1974), RAASE (1972), SANDER (1911), STRECKEISEN (1967), THIELE (1951, 1974), WINKLER (1967).

#### 3.1 Gliederung der Gesteine

##### 3.1.1 Die Gesteine der nördlichen Grauwackenzone und die benachbarten Schwazer (= Kellerjoch) Gneise

Dieses Gesteinsmaterial ist im äußersten Norden des Einzugsgebietes verbreitet. Diese Gesteinsgruppe wurde hier aber nicht näher untersucht.

##### 3.1.2 Die unterostalpinen Gesteine

Als wichtigster Vertreter dieser Serie kann hier der Innsbrucker Quarzphyllit erwähnt werden.

Er erstreckt sich zwischen der Nördlichen Grauwackenzone und dem Nordrand des Tauernfensters und herrscht somit im mittleren Bereich des Einzugsgebietes vor.

In diesem grüngrauen und dunklen Phyllit sind, wie bereits erwähnt, Graphitschiefer, graphitische Kiesel-schiefer und Porphyroide wie auch dolomitische Bändermarmore in Form von Zügen und Linsen anzutreffen. Eine von DIETIKER (1938) im Gerlosgebiet beschriebene tektonische Mischserie (die sogenannten Richbergkogelserie) legt sich dann zwischen das penninische Gesteinsmaterial und der oben genannten Serie.

##### 3.1.3 Gesteine des penninischen Bereiches

Der penninische Inhalt des Tauernfensters ist der größte und wichtigste Materialbestand des Einzugsgebietes. Er läßt sich seinerseits wie folgt weiter unterteilen:

###### 3.1.3.1 Zentralgneis

Der Zentralgneis bildet nach BECKE & LÖWL (1903) den intrusiven und selbst metamorph gewordenen Kern der Tauern.

Eine ebenfalls ältere und genauere feldgeologisch-petrographische Studie vom Westrand der Hohen Tauern existiert von SANDER (1911) mit dem Titel: "Geologische Studien am Westrand der Hohen Tauern". In dieser Studie folgerte er für die Zentralgneise eine Entstehung aus psephitisch-psammitischem Ausgangsstoff, wechsellagernd mit Orthogneisen, ohne daß hier ein Anzeichen auf Intrusionen hindeutet.

Der Zentralgneis des Zillertaler Hauptkammes wird in der Legende der italienischen geologischen Karte Blatt Passo del Brennero und Bressano in zwei Serien gegliedert (MORTEANI 1971):

- Die Serie der granitischen und granodioritischen Gneise und
- die Serie der Flasergneise und Augengneise.

Für die Bezeichnung der Gesteine ist nach diesem Autor die aus dem Gefüge und dem Mineralbestand abzuleitende, ursprünglich magmatische bzw. sedimentogene Herkunft ausschlaggebend.

Damit werden alle metamorphen Serien, deren Ursprung in Eruptivgesteinen zu suchen ist, mit Tiefengesteinsnamen und der Vorsilbe "Meta" und solche aus sedimentogenem Ausgangsmaterial als Gneise bezeichnet.

Eine genauere Gliederung dieser Gesteine sieht bei MORTEANI (1971) wie folgt aus:

- Meta-Tonalite
- Migmatisch granitisch-granodioritische Diatexitgneise
- Inhomogene migmatische Augengneise
- Homogene Augen- und Flasergneise
- Meta-Granite
- Feinkörnige helle Granit-Granodiorit-Gneise
- Bändergneise und Anatexite
- Feinschieferige Übergangsgneise
- Porphyrische Gneise

Unter Zugrundelegung dieser Einteilung wurden in der vorliegenden Arbeit die folgenden vier Gesteinsgruppen nach ihrer regionalen Verteilung und der petrographischen Eigenschaft zusammengefaßt:

#### *Meta-Tonalite*

Der südliche Meta-Tonalitzug baut die Gipfel des NE-SW-streichenden Zillertaler Hauptkammes auf.

Der nördliche bzw. zentrale Metatonalitzug, der bei KARL (1959) dem Tonalitgranit im Großvenedigermassiv gleichgesetzt ist, überquert, über den Zillergrund ziehend, das Stillupptal.

Nach STRECKEISEN (1967) haben die Metatonalite vorwiegend eine quarzdioritische, in Randbereichen mehr granodioritische Zusammensetzung.

#### *Diatexitgneise*

Es handelt sich um migmatische, granitisch bis granodioritische und diatektische Gneise, die sich an die Nordgrenze des südlichen Metatonalitzuges anschließen.

Eine andere Gruppe der diatektischen Gesteine ist der inhomogene migmatische Augengneis. Die Augengneise unterscheiden sich von Diatexitgneisen durch intensivere tauernkristalline Umbildung und starke Kalifeldspatblasten, die meist regellos im Gefüge liegen. Der Biotit-Muscovit-Gneis mit seltenen Kalifeldspatäugen ist ein Vertreter der Augengneise.

#### *Augen- und Flasergneise*

Es sind relativ homogene Augen- und Flasergranitgneise, deren "Augen" aus Alkalifeldspäten, Kalifeldspäten, Quarz und Plagioklas bestehen können.

Der linsenförmige Quarz ist schwach rosa gefärbt und die Augen sind meist von Muscovit umhüllt.

Diese Gesteine unterscheiden sich untereinander durch unterschiedliche Muscovit-Biotit-Verhältnisse und durch das Mengenverhältnis von Karbonat- zu Silikatmineralen.

#### *Meta-Granite bis -Granodiorite mit Bändergneisen und Anatexiten*

Es sind verschiedenartige Gesteinsgruppen, die zum großen Teil einen allmählichen Übergang zueinander und damit auch zu Augen- und Flasergranitgneisen deutlich machen.

Die Metagranite sind bezeichnend für einen hellen, mittelkörnigen Biotit-Muscovit-Gneis. Dieses Gestein ist regellos, massig und wechselnd stark vergneist mit zuweilen auftretenden Augensprossungen bestehend aus Kalifeldspat.

Die feinkörnigen hellen Granit-Granodiorit-Gneise enthalten oft langgestreckte, cm-große Muscovit-Biotit-Flecken oder fischförmige Schollen.

Neben diesen Gesteinstypen treten noch eine Reihe verschiedener Gesteinsarten im Zentralgneis auf, wie etwa: Bändergneise, Anatexite und porphyrische Gneise.

Die Serie der porphyrischen Gneise wird von KOBER (1923) als Ahorngneis und von RAASE (1972) als Porphyrganitgneis des Ahornkernes bezeichnet.

Der biotitreiche Augengneis ist ein typischer Vertreter der Anatexite. Aus den Berichten der genannten Autoren geht es hervor, daß der Ahornkern vor allem von diesem biotitreichen Augengneis aufgebaut wird. Kennzeichnend für das Gestein mit porphyrischem Gefüge sind die 1 - 4 cm großen Kalinatronfeldspäte. Das Grundgewebe besteht dann aus Quarz, Feldspat und Glimmer.

### 3.1.3.2 Gesteine der beiden Schieferhüllen

Maßgebend für die Reihenfolge der Darstellung der Gesteine der Schieferhüllen ist die Gliederung der Legende der geologischen Übersichtskarte im Anhang. Sie stützt sich außerdem auf die geologisch-petrographischen Ergebnisse der oben genannten Autoren.

Es sind zwei Gesteinsgruppen zu unterscheiden:

#### *Untere Schieferhülle*

Die Gesteine der *K a s e r e r s e r i e* sind dunkle, kalkige bis kalkfreie Phyllite, die schwarz oder licht- bis dunkelgrün und quarzreich sein können.

Andere Gesteine sind: Kalkglimmerschiefer, Feldspatglimmerschiefer, Chlorit-Serizitschiefer, Kalkphyllite und Breccien.

Beim *H o c h s t e g e n k a l k* handelt es sich um überwiegend teils plattigen, teils grob gebankten Kalkmarmor, der bläulichgrau gefärbt und fein- bis mittelkörnig sein kann.

Außerdem gehören zum Gesteinsverband auch Einschaltungen von dolomitischem Kalk oder Dolomit in Form von Bändern und Nestern.

Die unter dem Begriff *P o r p h y r m a t e r i a l s c h i e f e r* auftretende Serie beinhaltet plattige, hell- bis dunkelgrüne Grauwackengneise.

Diese zeigen dann Übergänge zu Feldspatglimmerschiefer, Arkosegneis und Feldspatquarzit. Für das porphyrische Aussehen der Gesteine sind die Quarzagen verantwortlich.

#### *Obere Schieferhülle*

Die *B ü n d n e r s c h i e f e r* setzen sich aus blaugrauen Kalkphylliten bis Kalkglimmerschiefern, Glimmermarmoren, hellen und dunklen Karbonatquarziten, Quarz-Serizit-Schiefern, Quarziten und dunklen, kalkfreien bis kalkarmen Phylliten zusammen.

Als Einschaltungen kommen dazu noch Chloritschiefer, Epidot-Amphibolit- und Epidot-Chloritschiefer.

Die *K a r b o n a t i s c h e T r i a s* besteht hauptsächlich aus graublauem, massigem und gebändertem Kalkmarmor und hellem geschiefertem Dolomit.

Dazu kommen außerdem dunkle Kalktonschiefer, Rauhwacken und ähnliche Gesteine.

Die *W u s t k o g e l s e r i e* umfaßt eine Reihe von hellgrünen, kalifeldspatreichen Arkosengneisen, Feldspatquarziten und Phengitquarziten.

### 3.1.3.3 Gesteine der Schönachmulde und der Greinerschiefermulde

Im südlichen Teil der Schönachmulde herrschen überwiegend quarzitische Gesteine und saure tuffitische Gesteine vor. Bei den genannten Gneisen handelt es sich um graue bis grünlichgraue Gesteine mit feinschuppigem Muscovit. Am Aufbau der quarzitischen Gesteine sind wechselnde Mengen Muscovit, kein Biotit und nur selten Feldspat beteiligt. In den nördlichen Bereichen der Schönachmulde walten vor allem Quarzphyllite bis Glimmerschiefer, Muscovitquarzite sowie Grauwacken- bis Arkosengneise vor.

Es treten ebenfalls tuffitische Gesteine, granatführende Phyllite, Graphitquarzite und meist nur wenig Hornblende-Garbenschiefer auf.

Die Greinerschieferserie setzt sich aus folgenden Hauptgesteinstypen zusammen:

Biotitschiefer, Amphibolite bis Hornblendite, Hornblendegarbenschiefer, Biotitplagioklasgneise, Konglomeratgneise und Marmore in Form von kleinen Linsen.

Der Mineralbestand und das Gefüge der Amphibolite sind sehr variabel. Bei Glimmergneisen ändert sich der Biotit-Muscovit-Anteil sehr stark.

Eine Grenzziehung zwischen diesen Gesteinsserien scheint allerdings wegen Wechsellagerungen und allen erdenklichen Übergangsformen nur schwer durchführbar zu sein. Sie lassen sich dennoch petrographisch und makroskopisch gut von einander unterscheiden.

Gesteinsproben Analyse		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		CHEMISCHE ANALYSE		SiO <sub>2</sub>	62,28	61,77	61,95	54,79	74,49	56,19	72,83	74,68	66,13	72,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,55			18,00	16,07	17,30	14,67	12,01	14,14	14,34	14,11	14,26	14,78	15,19
TiO <sub>2</sub>	0,60			1,18	0,24	2,37	0,14	1,77	0,26	0,16	1,29	0,38	0,19	0,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,77			1,84	0,64	2,17	0,10	2,02	0,44	0,37	0,69	0,28	0,34	0,59
FeO	3,87			2,54	4,31	6,09	0,71	4,96	1,34	1,07	2,50	0,79	0,63	0,85
MnO	0,09			0,07	0,38	0,16	0,00	0,14	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01
MgO	1,94			1,36	2,25	2,99	0,16	7,18	0,25	0,23	1,90	0,60	0,31	0,37
CaO	4,67			5,22	4,16	6,91	0,99	4,48	1,16	1,48	2,98	1,10	1,20	0,25
Na <sub>2</sub> O	3,94			4,36	4,32	3,84	3,18	1,56	2,76	3,73	3,41	3,49	3,28	3,30
K <sub>2</sub> O	2,11			2,33	3,04	1,83	4,43	4,48	5,74	2,95	4,44	5,43	4,38	3,89
H <sub>2</sub> O	1,17			0,95	1,02	1,14	0,51	2,43	0,52	0,61	1,18	0,73	0,78	1,00
H <sub>2</sub> O-	0,08			0,20	0,01	0,17	0,08	0,30	0,07	0,06	0,07	0,04	0,09	0,08
CO <sub>2</sub>	0,02			0,10	-	0,18	0,00	2,27	0,00	0,07	0,89	0,51	-	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,18			0,15	1,94	0,18	0,10	0,09	0,13	0,06	0,14	0,13	0,14	0,07
C. I. P. W. - NORMMINERALE		Quarz	16,77	14,74	13,78	6,17	36,91	14,00	31,52	37,91	22,03	29,41	34,52	38,74
		Orthoklas	12,46	13,76	17,96	10,81	25,60	26,47	33,95	17,00	26,23	32,08	25,87	22,98
		Albit	33,32	36,87	36,53	32,47	26,93	13,19	23,30	31,52	28,84	29,52	27,74	27,91
		Anorthit	21,86	22,66	10,58	24,57	4,30	7,22	4,91	6,50	8,24	1,38	5,03	0,84
		Korund	0,77	-	1,79	-	3,20	1,91	1,60	2,60	0,67	2,14	2,79	5,24
		Diopsid	-	1,26	-	6,06	-	-	-	-	-	-	-	-
		Hypersthen	9,65	4,08	13,29	10,24	1,42	22,63	2,50	2,00	6,71	2,12	1,35	1,60
		Magnetit	2,56	2,66	0,92	3,15	0,11	2,93	0,61	0,50	1,00	0,41	0,49	0,85
		Ilmenit	1,13	2,24	0,45	4,50	0,31	3,36	0,50	0,31	2,45	0,72	0,36	0,47
		Apatit	0,42	0,35	3,65	0,42	0,21	0,24	0,31	0,10	0,33	0,31	0,33	0,14
		Calcit	0,04	0,22	-	0,41	-	5,16	-	0,21	2,04	1,61	0,00	0,00
		Wasser	0,01	0,01	0,01	0,01	0,60	0,3	0,60	0,70	0,01	0,01	0,01	0,01

Tab. 1: Erläuterung s. gegenüberliegende Seite

### 3.2 Mikroskopische Beschreibung

Die zur mikroskopischen Untersuchung im Dünnschliff herangezogenen Gesteinsproben stammen hauptsächlich aus dem Bereich des Zentralgneises oder der Greiner Serie. Hinzu kommen noch einige Proben aus dem nördlichen und westlichen Teil des Arbeitsgebietes.

Zunächst wird versucht, eine kurze mikroskopische Beschreibung der jeweiligen Gesteine zu geben und ihre Mineralbestände annähernd zu ermitteln. Die akzessorischen Minerale und ihre Verbreitung in verschiedenen Gesteinen werden dann im Abschnitt "Schwermineraluntersuchung" beschrieben, um Wiederholungen zu vermeiden.

Was aber die detaillierte Beschreibung des Gesteinsmaterials aus der Greiner Serie und aus dem Zentralgneis anbelangt, so kann auf die Arbeiten von CHRISTA (1931, 1934), KARL (1959), MORTEANI (1971) und LAMMERER et al. (1976) verwiesen werden. Die in Tab. 1 zusammengestellten Daten umfassen die Ergebnisse der chemischen Analysen und die Berechnung der C.I.P.W.-Normminerale einiger Gesteine des Zentralgneises nach MORTEANI (1971). Sie sollen die Möglichkeit geben, die hier angezeigten Werte des Mineralbestandes mit den Ergebnissen der chemischen Analysen zu vergleichen.

Es muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß die von MORTEANI (1971) berechneten normativen Mineralbestände von den hier durch Modalanalyse ermittelten Werten gänzlich abweichen. Diese Abweichung ist eine normale Folgeerscheinung, die den Unterschied zwischen einer rein mathematischen Berechnung und einer quantitativen Bestimmung des Mineralbestandes widerspiegelt.

Die Benennung der Gesteine erfolgte hier nach dem quantitativ bestimmten modalen Mineralbestand, der mit Hilfe eines "point counter" ermittelt wurde. Sie zeigt also z.T. Abweichungen von den in der Tab. 1 angegebenen Bezeichnungen (vergl. GLAGOLEW 1934). Im Durchschnitt wurden pro Schliff 900 - 1500 Punkte ausgezählt.

Der Mineralbestand wurde jeweils aus drei Modalanalysen gemittelt, falls es nicht anders angegeben ist.

#### 3.2.1 Melanokrate Zentralgneisgesteine

Nach CHRISTA (1931, 1934) und LAMMERER et al. (1976) kann man hier zwischen jüngeren basischen Gängen und älteren Einlagerungen von Meta-Gabbros, Amphiboliten und Biotitschiefern unterscheiden. Zu diesen dunklen Gesteinen gesellen sich noch die Lamprophyre. Sie zeigen grundsätzlich eine scharfe Abgrenzung zum Nebengestein (LAMMERER et al. 1976).

---

Tab. 1: Chemische Analysen und C.I.P.W.-Normminerale aus dem Bereich der zentralen granitischen und tonalitischen Gneise des Arbeitsgebietes, nach MORTEANI (1971)

Die Nummern der Gesteinsproben bedeuten von 1 bis 12 wie folgt:

- 1) Meta-Tonalit
- 2) Meta-Leukotonalit
- 3) Meta-Tonalit
- 4) Plagioklasamphibolith
- 5) Mittelkörniger Aplitgranit
- 6) Biotit-Plagioklasgneis
- 7) Heller mittelkörniger diskordanter Meta-Granit
- 8) Heller feinkörniger diskordanter Meta-Granit
- 9) Porphyrischer Gneis
- 10) Mittelkörniger diskordanter heller Meta-Granit
- 11) Grobkörniger heller Meta-Granit
- 12) Feinkörniger heller diskordanter Meta-Granit

### 3.2.1.1 Metagabbro

Diese Gesteine bauen nach CHRISTA (1931) die Felspyramide der westlichen oder V. Hornspitze auf.

Die untersuchten Gesteine wurden auf der italienischen Seite im Weißenbachtal und unterhalb von Mitterbach als Flußgerölle gesammelt.

Es sind dunkelgrüne, mittel- bis grobkörnige Gesteine, in denen man makroskopisch hellgrüne Amphibole erkennen kann. Mikroskopisch erkennt man die poikilitisch ausgebildeten, gemeinen Hornblenden mit einem Kern von feiner undurchsichtiger Substanz, die die Kornform von Klinopyroxenen widerspiegelt.

#### Mineralbestand:

Plagioklas	30 - 49
Hornblende	40 - 49
Biotit	15 - 38
Epidot	4 - 12

Außerdem: Quarz, Karbonat, Apatit, Titanit, Chlorit.

### 3.2.1.2 Amphibolit

Die untersuchten, dunkelgrünen, schieferigen Gesteine stammen aus der Gegend vom Pfitschtal, der Berliner Hütte, der Furtschagel-Spitze und aus dem Zillergründl.

Dabei wurde festgestellt, daß es innerhalb der Amphibolite verschiedene Gesteinsarten gibt, die sich im Mineralbestand, im Gefüge und auch im makroskopischen Aussehen unterscheiden. Sie können in die Reihe Amphibolit/Hornblende-Biotit-Gneis eingeordnet werden.

Biotit war in allen Proben anzutreffen, wobei sein Gehalt in den vorliegenden Gesteinen in Verbindung mit dem Gehalt an Hornblende schwankt.

Die Hornblende wurde nach optischen und röntgenographischen Bestimmungsverfahren und nach der Immersionsmethode untersucht. Daraus ergibt sich für die Amphibole eine tschermakitische bis pargasitisch-hastingsitische Zusammensetzung. Sie sind z.T. hypidiomorph und isometrisch.

Die Gesteine bestehen vorwiegend aus Hornblende, Plagioklas, Biotit, Epidot und Quarz.

#### Mineralbestand:

Quarz	3 - 10
Plagioklas	26 - 36
Hornblende	18 - 65
Biotit	10 - 38
Epidot	0,5-12
Hellgl.	0 - 0,5

Außerdem: Erz, Apatit, Titanit, Karbonat, Ilmenit, Chlorit und Klinozoisit.

### 3.2.1.3 Biotitschiefer

Die Mineralkomponenten der Biotitschiefer können in ihrer Zusammensetzung stark variieren und dementsprechend dem Gestein verschiedene Namen geben: Hornblende/Biotit/Glimmer-Schiefer in verschiedenen Kombinationen. Sie sind im Bereich der sauren Magmatite überall verbreitet.

Die vorliegenden Handstücke stammen aus dem Hundskehlgrund und dem Zillergrund.

Bei CHRISTA (1934) werden sie als granatreiche Chlorit-Biotitschiefer erwähnt.

Die in unterschiedlichen Mengen auftretenden Minerale sind: Hornblende, Biotit, Granat, Muscovit, Chlorit und Epidot.

#### Mineralbestand (aus 5 Modalanalysen):

Quarz	8 - 20	Hornblende	5 - 16
Plagioklas	25 - 38	Chlorit	4 - 10
Biotit	22 - 41	Epidot	10 - 13

Außerdem: Granat, Karbonat, Kalifeldspat, Klinozoisit, Titanit, Zirkon.

#### 3.2.1.4 Lamprophyre

Diese basischen Ganggesteine prägen zusätzlich das Bild der Zentralgneise.

Nach LAMMERER et al. (1976) benutzen sie sehr häufig s- und Klufflächen der Gneise als Aufstiegsbahnen.

Bei CHRISTA (1931) sind alle Ganggesteine basischer Zusammensetzung unter der allgemein üblichen Bezeichnung Lamprophyre zusammengefaßt.

Diese metamorph geprägten Lamprophyre haben oft ein narbiges Aussehen, das durch bis 0,6 mm große Karbonatblasten verursacht ist. Dadurch lassen sie sich auch makroskopisch von den grobkörnigen karbonatfreien Amphiboliten unterscheiden. Die vorliegenden Handstücke wurden im Bereich des hinteren Floitentaales und im Oberen Zementgrund entnommen.

Mineralbestand:

Plagioklas	20 - 32
Hornblende	18 - 36
Biotit	18 - 39
Epidot	8 - 12
Karbonat	0 - 15

Außerdem: Chlorit, Klinozoisit, Titanit.

#### 3.2.2 Die leukokraten Zentralgneisgesteine

Sie setzen sich nach CHRISTA (1931, 1934) aus Granodioriten, Graniten, Quarzdioriten und Biotitgneisen zusammen.

##### 3.2.2.1 Granodioritische Gesteine

Diese Gesteinsserie, die von KARL (1966) als Tonalitgranit, von MORTEANI (1971) als Meta-Tonalit beschrieben wurde, hat eine granitische bis quarzdioritische, im wesentlichen aber eine granodioritische Zusammensetzung.

Diese Gesteine bestehen hauptsächlich aus Plagioklasen, Biotiten und Quarz, daneben auch Kalifeldspat, Epidot und Akzessorien.

MORTEANI (1971) gibt für die hornblendefreien Meta-Tonalite aus dem Gebiet des hinteren Stillupp- und Floitentaales folgenden Modalbestand an:

Quarz	11,3
Plagioklas (Oligoklas-Andesin)	62,7
Biotit	15,4
Kalifeldspat	6,3
Akzessoria	0,3

Das Gefüge der Gesteine aus dem Zillergrund und Sondergrund ist vorwiegend gneisig, mittelkörnig und mitunter schlierenförmig ausgebildet. Ein typisches Merkmal des Gesteins ist der hohe Biotitgehalt. Die Biotite sind manchmal von idiomorphen feinen Titanitkörnern umgeben. Es treten außerdem Verwachsungen von Biotit mit Chlorit auf. Gelegentlich findet man im Schliff auch die braunroten Orthit-Körner, die von einem feinkörnigen Material (Klinozoisit?) umsäumt sind. Die Biotite zeigen einen starken Pleochroismus der Farbtöne oliv nach hell gelblich-rötlichbraun oder dunkelbraun nach olivgrün. Diese verschiedenen Farbtöne sind wahrscheinlich ein Ausdruck für den unterschiedlichen Eisengehalt im Mineral. Im allgemeinen ist das ehemalige magmatische Gefüge des Gesteins, nämlich Fluidaltextur, richtungslose Körnigkeit und eine intensive aplitische und lamprophyrische Durchaderung sowie stellenweise alte Feldspäte mit hypidiomorphen Kornumrissen, gut erkennbar.

Die meisten Mikrolithe in den Plagioklasen sind Klinozoisit-, Zoisit- oder Serizit-Mineralen, die aus der Entmischung der Anorthit-Komponenten hervorgegangen sind.

Die Augen- und Flasergranitgneise haben eine fast ähnliche modale Zusammensetzung wie die oben genannten granodioritischen Metamorphite. Sie zeigen aber kein magmatisches Korngefüge mehr. Also sind sie tektonisch intensiver beeinflusst. Das Gestein hat ein granoblastisches Grundgewebe, in dem sich 0,5 bis 2 cm große Kalifeldspat-Augen befinden. Nach Mineralbestand und Gefüge kann man diese Gesteine auch als Feldspatblastengneis bezeichnen. Die Meta-Granodiorite weisen im allgemeinen einen höheren Quarz- und niedrigeren Karbonat- und Chloritgehalt auf als die zuletzt genannten Gesteine.

Mineralbestand:

Quarz	20 - 35
Plagioklas	25 - 52
Kalifeldspat	0 - 18
Biotit	10 - 25
Muscovit	0 - 11
Hornblende	0 - 4
Klinozoisit	2 - 12
Epidot	0 - 8
Chlorit	0 - 3

Außerdem: Granat, Rutil, Titanit, Apatit, Zirkon, Orthit und Erz.

### 3.2.2.2 Biotitgneis

Die Benennung der Biotitgneise kann entsprechend der modalen Zusammensetzung sehr verschieden sein. Danach kann sie aus dem Wort "Gneis" und einigen der folgenden Mineralnamen gebildet werden: Muscovit-Epidot-Amphibol-Biotit-Gneis.

Wegen der Vielfalt dieser Gesteinsserie sind hier wahrscheinlich bei der Modalanalyse nicht alle Vertreter dieser Serie erfaßt worden.

MORTEANI (1971) erwähnt hierzu die Meta-Granite, die makroskopisch als schwach geregelte, helle, mittelkörnige Biotit-Muscovit-Gneise angesehen werden können.

Im Dünnschliff erkennt man ein von Glimmerkomponenten gebildetes Parallelgefüge, während es bei Granodioriten richtungslos und körnig ist, wie oben bereits erwähnt.

Mineralbestand:

a) Muscovit-Biotit-Gneis

Quarz	26 - 40
Plagioklas	32 - 42
Kalifeldspat	4 - 28
Biotit	2 - 12
Muscovit	2 - 22
Epidot	0 - 4
Chlorit	0 - 5
Granat	0 - 1

Außerdem: Titanit, Chlorit, Karbonat, Apatit, Orthit, Erz, Rutil.

b) Muscovit-Epidot-Biotit-Gneis

Quarz	10 - 40
Plagioklas	32 - 42
Kalifeldspat	2 - 12
Biotit	5 - 32
Muscovit	2 - 19
Epidot	1 - 14
Chlorit	0 - 1

Außerdem: Granat, Calcit, Titanit, Apatit, Erz, Zirkon.

Außerdem treten im Arbeitsgebiet häufig Biotitgneise auf mit einem Anteil an Hornblende bis fast 20 %.

### 3.2.3 Andere wichtige Gesteine im Arbeitsgebiet

Neben den oben beschriebenen Gesteinsgruppen wurden aus etlichen weiteren Gesteinen des Einzugsgebietes Dünnschliffe hergestellt und mikroskopisch untersucht. Bei diesen Proben wurden allerdings keine Modalanalysen durch-

geführt, da wegen der inhomogenen Gesteinszusammensetzung Modalanalysen nur geringe Aussagekraft gehabt hätten; andererseits wurden nur die Gesteine näher untersucht, die direkt als Liefergesteine in Betracht kamen.

Die Untersuchung beschränkte sich lediglich auf die qualitative Analyse des Gesteins und die Bestimmung der akzessorischen Anteile und die Abschätzung des Mineralbestandes. Im folgenden werden einige wichtige Gesteine dieser Untersuchungsreihe kurz beschrieben:

### 3.2.3.1 Hornblendegarbenschiefer

Bei der Dünnschliffuntersuchung an 5 Proben der Hornblendegarbenschiefer machten sich zuerst zwei Hauptgruppen bemerkbar, die sich in Farbe, Gefüge und Mineralbestand von einander unterscheiden.

Der Gehalt an Hornblende, Feldspat und Quarz ist in den verschiedenen Arten des Gesteins sehr uneinheitlich. Die jeweilige mineralogische Zusammensetzung und die vorherrschenden Minerale in der Grundmasse, wie Muscovit, Chlorit oder auch Fuchsit verursachen dann die auffallend lichte bzw. dunkle Färbung.

Charakteristisch sind außerdem für das Gestein die schwarzglänzenden, gebogenen oder besenförmigen Hornblende=porphyroblasten, eingebettet in einem ziemlich feinkörnigen Grundgewebe.

Neben den Hauptgemengteilen wie Hornblende, Quarz, Plagioklas, Muscovit, Biotit treten auch Minerale wie Chlorit, Granat, Calcit, Epidot, Ilmenit, Klinozoisit, Rutil und Erz in manchmal beträchtlichen Mengen auf.

Die hellen Gesteine haben eine weiße, fast isometrisch ausgebildete Grundmasse, bestehend aus hauptsächlich saurem Plagioklas und Quarz.

Die grünen, büschelig und leistenförmig auftretenden Hornblenden sind von tschermakitischer Zusammensetzung.

Der Gehalt an Hornblenden liegt zwischen minimal 25 und maximal 50 Volum.%.

Der Karbonatgehalt unterliegt großen Schwankungen von 0 - maximal 25-Volum.%. Dabei handelt es sich überwiegend um Calcit mit gelegentlich auftretenden gelb- bis bräunlichen Dolomit-Rhomboedern oder auch Dolomitporphyroblasten. In der Grundmasse ist fast immer Epidot, seltener auch Klinozoisit anzutreffen. Der Anteil dieser beiden Minerale kann im Gestein zwischen 10 - 30 % schwanken.

Die Epidotindividuen sind dann idiomorph bis xenomorph ausgebildet und treten in stark wechselnden Mengen auf. An Akzessorien kommen Zirkon und Apatit am häufigsten vor. Die Apatitindividuen sind hier schwach zwei=achsig und besitzen manchmal Gas- oder Flüssigkeitseinschlüsse. Wegen der stark wechselnden Mengenverhältnisse der Bestandteile lassen sich nur schwer repräsentative Durchschnittswerte der Mineralgehalte aufstellen.

### 3.2.3.2 Serpentin

Diese Proben stammen alle aus Serpentinlinsen an der Basis der Greinerserie. Sie wurden sowohl vom Anstehenden (Ochsner-Rotkopf) als auch aus den Flußgeröllen im Pfitschtal genommen.

Die überwiegend massigen Serpentine bestehen hauptsächlich aus einem feinblättrigen, wirrschuppigen Gitterwerk von Antigorit und Erz (Magnetit).

In dem dichten Gefüge des Gesteins sieht man noch Reste von Pyroxenaggregaten, die hier als Diallag identifiziert wurden. Diese Minerale sind dann von kleinen Erzblättchen (Magnetit) gefüllt.

Olivinreste sind dagegen kaum beobachtet worden. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich in der bevorzugten Serpentinisierung von Olivin gegenüber dem Diallag.

### 3.2.3.3 Quarzschiefer

Das Gestein wurde westlich von Mayerhofen in der Nähe der Geschößwand-Hütte (Geschößberg) entnommen.

Makroskopisch handelt es sich um ein grünlich-grau gefärbtes und stark gefaltetes Gestein mit einem flasrigen Aufbau aus quarzreichen Partien, das insgesamt bräunlich verwittert. Mikroskopisch erkennt man die stark miteinander verfalteten Lagen aus Quarz und Muscovit und etwas Chlorit, wodurch die hohe tektonische Beanspruchung des Gesteins zum Ausdruck kommt. In diesen Lagen erkennt man manchmal zahlreiche feinkörnige Rutilnadelchen mit feinem Graphit.

Die Quarze sind in der Hauptsache mosaikartig und selten schwach verzahnt eingeordnet. Sie zeigen eine schwach undulöse Auslöschung.

Neben den oben erwähnten Mineralen treten auch gelegentlich einzelne Apatit-, Zirkon-, Turmalin- und Pyrit-Individuen auf.

#### 4. ARBEITSMETHODEN UND HYDROGRAPHISCHE ANGABEN

##### 4.1 Einleitung

Das oberflächlich abfließende Wasser trägt als geologisch wirksame Kraft Hänge ab, durchfeuchtet Feinmaterial und macht so den Hangschutt rutsch- und gleitfähig. Es transportiert als strömendes Medium, als Fluß oder Bach, Gesteinsmaterial über weite Strecken mit kaum merklichem Gefälle.

Die größte Menge der Verwitterungsprodukte der Gesteine auf dem Festland wird durch Flußsysteme transportiert und umgelagert.

Das transportierte Material kann im Einzugsgebiet eines Flußlaufes durch Abtragung und Solifluktion, im Flußlauf selbst durch Seiten- und Tiefenerosion, aus Strudellöchern und durch Korrosion entstanden sein. Denudation, die die Menge des angelieferten Materials bestimmt, ist abhängig von dem Verwitterungszustand des Gesteins, der Festigkeit des Bodens und der anfallenden Wassermenge.

Es besteht also eine Gesetzmäßigkeit in der Erosion, und jedes Flußgebiet besitzt eigene Transport- und Ablagerungsgesetze.

Daher gehört die Untersuchung von Korngrößenverteilungen neben der Bestimmung des Mineralbestandes zu den wichtigen Hilfsmitteln der Rekonstruktion des Ablagerungsraumes.

Das Ausmaß, der Mineralbestand, die Schichtung und die Form eines Sedimentkörpers hängt von vielen Faktoren ab: Tektonik, Relief, Angebot an Wasser und an Sediment, Vegetationsbedeckung, Klima usw.

Im folgenden werden zunächst zur Charakterisierung der Sandproben die wichtigsten Parameter des Korngemisches zusammengestellt.

Die hier aufgeführten Parameter dienen allerdings - bedingt durch die Art der Probennahme - nicht dazu, irgendwelche geologischen Fragen über die Ablagerung, Transport usw. mittels der Korngrößenuntersuchung zu beantworten. Diese Untersuchung soll lediglich einmal Auskunft über die Korngrößenverhältnisse der Sandproben geben und zum anderen zeigen, wie eng die Beziehung zwischen Korngrößenaufbau und Schwermineralspektrum in den vorliegenden Proben ist.

Die Grundlage für solche Beziehungen ergibt sich dann aus den Eigenschaften der Mineralkörner, die sich je nach Größe im Primärgestein, Gestalt und spez. Gewicht in verschiedenen Korngrößengruppen im Sediment anreichern können.

##### 4.2 Probennahme

Die hier bearbeiteten Proben lassen sich hinsichtlich der Zeit ihrer Entnahme in zwei Serien einteilen.

Die erste Serie wurde von Prof. List im Jahre 1966 genommen. Diese sind auf der Karte des Einzugsgebietes (s. Anhang) mit einem spitzen Pfeil und kleineren Ziffernummern gekennzeichnet.

Die zweite Serie wurde dann vom Verfasser in den Jahren 1978/79 genommen. Diese Proben sind auf der genannten Karte mit einem Dreieckspfeil und größerer Ziffernummer markiert.

Die erst genannten Proben stammen aus einer Zeit, wo das Flußsystem der Ziller durch den Bau der Schlegeiser Stauanlagen noch nicht beeinflusst war.

Bei der Probennahme in beiden Fällen wurde darauf geachtet, daß nur frisch sedimentierte Flußufer- bzw. Flußbettsande aufgesammelt wurden.

Jede Einzelprobe wog dann nach dem Trocknen bei 70° etwa zwischen 2- bis 4 kg.

Neben diesen Sandproben wurden außerdem sowohl aus Anstehendem - vor allem aus dem Bereich der Greiner Mulde - als auch von den Bach- oder Flußgeröllen Gesteinsproben gesammelt. Zusammen sind es 191 Einzelproben.

Sämtliche Sandproben wurden bei dem ersten Arbeitsgang, nämlich bei der Aufbereitung im Labor, beim Sieben und bei der Korngrößenbestimmung mitberücksichtigt.

Bei der Auswertung und Schwermineraluntersuchung erwiesen sich allerdings 60 Sediment- und 45 Gesteinsproben als ausreichend.

Um das Flußsystem hinreichend repräsentativ zu erfassen, wurde versucht, das Flußsystem quantitativ zu beschreiben. Zu diesem Zweck wurde auch zunächst eine kombinierte und vereinfachte Karte für die Geologie und das Entwässerungsnetz des Gebietes entworfen. Die Lage sämtlicher Sedimentproben ist einmal, wie erwähnt, auf dieser Karte und zum anderen auf der Karte mit den Angaben der Schwermineralgehalte (Abb. 11, s. Anhang) markiert.

### 4.3 Probenaufbereitung

Die Proben wurden zunächst bei 70<sup>0</sup> zwei bis drei Tage getrocknet. Danach wurden sie portionsweise in einer Aluminumschale mit 15%-tigem Wasserstoffsuperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) angesetzt. Diese wurden einen halben Tag so stehen gelassen, bevor sie weiter bearbeitet wurden.

Nach der wiederholten Trocknung und Wägung wurde das Material naß mit dem 2mm Sieb von Hand gesiebt.

Der Durchgang mit dem Material < 2mm wurde mit dem 63-Mikron-Sieb unter Berücksichtigung der Disaggregation der Körner gesiebt. Dieser zweite Durchgang, d.h. < 0,063mm (die Suspension) wurde mit einer Filterkerze aufgefangen.

Die auf diese Weise gewonnenen Fraktionen - Kies (>2mm), Sand (2 - 0,063mm), Silt/Ton (<0,063mm) - wurden dann getrocknet und gewogen.

Für die weitere fraktionelle Teilung der Fraktion 2 - 0,063mm wurde ein Siebsatz nach DIN 4188 in folgenden Größen zusammengestellt (alle Angaben in mm):

1,4 - 0,71 - 0,5 - 0,4 - 0,355 - 0,25 - 0,2 - 0,18 - 0,125 - 0,09 - 0,063

Nach der Feststellung aller Gewichtsanteile zur Analyse der Korngrößenverteilung, wurden aus diesen Fraktionen folgende Korngrößenbereiche zum Zweck der Schwermineraluntersuchung zusammengefaßt:

> 0,5 mm  
0,5 - 0,25 mm  
0,25 - 0,18 mm  
0,18 - 0,125 mm  
0,125 - 0,063 mm

Da neben den meist frischen Körnern einige Individuen von einem Oxidhäutchen überkrustet waren, wurden die Proben zusätzlich mit Essigsäure behandelt, um eine einwandfreie Identifizierung der Körner zu erreichen (vgl. KASCHANIAN, 1977). Zur Gewinnung der Schwerminerale wurden die Proben zentrifugiert. Als Schwerelösung wurde Tetrabromäthan (Br<sub>2</sub>CHBr<sub>2</sub>, D=2,963) verwendet.

Nach eigener Erfahrung ist die Gesamtheit der gewonnenen Schwerminerale bei Anwendung einer Zentrifuge stets höher und die eventuell auftretenden Fehler in den verschiedenen Fraktionen - ab 0,25 mm abwärts - gleichmäßiger verteilt als bei der Anwendung der Scheidetrichter-Methode. Außerdem führt dieses Verfahren schneller zum Ziel.

Die Schwierigkeit dieser Methode besteht jedoch im Dekantieren der überstehenden Flüssigkeit mit dem Leichtmineralanteil. Sie läßt sich aber durch Einfrieren des unteren Teiles der Flüssigkeit mit dem Bodensatz, ohne daß die überstehende Flüssigkeit mit einfriert, bewältigen.

Technisch wäre dies noch besser möglich, wenn man die speziellen Geräte und den Laborbedarf dafür konstruieren würde (s.u. ).

Für die einwandfreie und schnelle Durchführung dieses Arbeitsganges sollten folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- a) Das Zentrifugenglas sollte aus einem bruchfesten Material mit möglichst großer Temperaturleitfähigkeit bestehen. Es soll außerdem große und plötzliche Temperaturschwankungen aushalten können. Das Glas soll eventuell in der Mitte eine Verengung aufweisen (Sanduhrform ).
- b) Das Kälteschockgerät sollte große Sicherheit (Explosionsgefahr bei der Gasabkühlung!) und eine breite Anwendungsmöglichkeit für verschiedene Kältebereiche und Glasgrößen aufweisen. Das Einstecken der Gläser in die Öffnung des Gerätes und damit die Tiefe soll variierbar sein, damit die Dicke des Eises auch vorgegeben werden kann.
- c) Der Kältevorgang muß in einigen Sekunden ablaufen. Bei länger andauerndem Einfrierprozess kann sich entweder der gesamte Glasinhalt verfestigen oder es verändert sich nur die Dichte der Flüssigkeit durch Temperaturänderung.

Da bei Arbeitsbeginn kein reguläres Gefriergerät und auch nicht der notwendige Arbeitsmittelbedarf zur Verfügung stand, wurde zuerst versucht, mit einfachen Mitteln die oben angegebenen Voraussetzungen zu erfüllen. Hierfür wurden zunächst verschiedene Kältemischungen mit Tieftemperaturen von -22<sup>0</sup>C für Kochsalzmischung und ca. -51<sup>0</sup>C für Chlorcalcium (CaCl<sub>2</sub> + 6H<sub>2</sub>O)-Mischung getestet, die alle erfolglos blieben.

Weitere Experimente haben dann gezeigt, daß man hierzu extrem tiefe Temperaturen von etwa  $-78^{\circ}\text{C}$  benötigt, um die Kälte durch die dicke Wand des Glasbodens hindurchzuführen und damit das sekundenschnelle Einfrieren des Bodensatzes mit Flüssigkeit zu ermöglichen. Eine von dieser Temperatur nur geringfügig abweichende Temperaturerhöhung führte bei Verwendung der vorliegenden Zentrifugegläser zu Mißerfolg. Öffnet man nun eine mit flüssiger Kohlensäure gefüllte Bombe, so entsteht infolge der adiabatischen Ausdehnung von  $\text{CO}_2$  eine Temperatur von  $-78^{\circ}\text{C}$ .

Um diese Temperatur unmittelbar, schnell und ohne Verlust, mit dem Bodenteil der Zentrifugegläser in Berührung zu bringen, wurde eine Holzkiste in der Größe eines Schuhkartons angefertigt. Die Innenwände der Kiste wurden mit Styroporplatten beklebt.

An zwei Seiten der Kiste wurden Öffnungen (Ventile) für das Ein- und Ausströmen der Kohlensäure angebracht. Die Stecklöcher für die Gläser konnten für zwei Glasgrößen verwendet werden (siehe Abb. 4 ).

#### 4.4 Das Flußsystem

Bei Mayerhofen, dem geographischen Mittelpunkt des Einzugsgebietes, vereinigen sich die Quelltäler des Zillertales zu einem breiten Haupttal. Die Quellflüsse sind, von W nach E, der Tuxer Bach, der Zemmbach und der Zillerbach. Das Haupttal zieht sich ziemlich geradlinig in nördlicher Richtung bis zur Mündung in das Inntal hin.

Das Flußtal der Ziller ist auf dieser Hauptstrecke etwa 30 km lang. Die Talsohle ist in diesem Bereich sehr flach, und sie sinkt bis zur Mündung und Vereinigung mit der Talsohle des Inntales nur 100 m ab (Abb. 6 ).

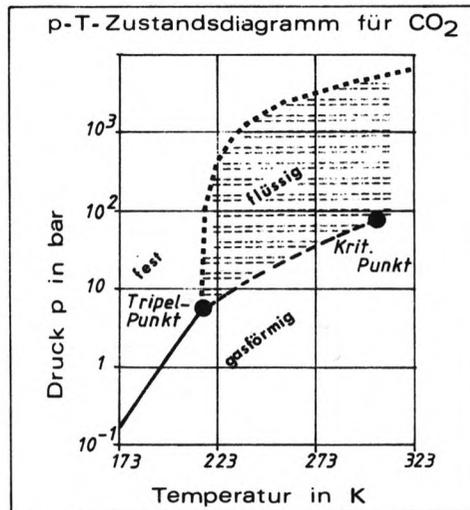
Die größeren Seitentäler lassen sich wie folgt gliedern:

- a) Das Tuxer Tal ist das wichtige Quelltal im Westen. Der Tuxbach entwässert ein etwa  $116 \text{ km}^2$  großes Gebiet. Seine Wasserführung ist  $4,17 \text{ m}^3/\text{s}$  im Jahresdurchschnitt, gemessen bei Persal (Finkenberg).
  - b) Von allen Seitentälern der Ziller ist das Gebiet des Zemmbaches am stärksten verzweigt. Sein Einzugsbereich, etwa  $228 \text{ km}^2$  groß, entwässert den südlichen Teil des Arbeitsgebietes. Die wichtigsten Taläste sind von SW nach NE: Zamser-, Zemm-, Floiten- und Dornauberger Tal. Das letztgenannte bildet den unteren Talabschnitt des Zemmbaches. Die Abflußmenge des Zemmbaches, gemessen am Pegel bei "Saustein Aste", beträgt im Jahresdurchschnitt ca.  $10,40 \text{ m}^3/\text{s}$ .
  - c) Stillupptal und Zillergrund bilden die Quelltäler der Ziller im Südwesten. Das Einzugsgebiet des Stillupptales ist  $70,3 \text{ km}^2$  groß mit der Wasserführung von  $3,43 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der Zillerbach oder kurz die Ziller entwässert in diesem Abschnitt ein etwa  $167,2 \text{ km}^2$  großes Gebiet. Die Abflußmenge beträgt bei Ahornbahn ca.  $4,41 \text{ m}^3/\text{s}$ .
  - d) Im Osten entwässert der Gerlosbach ein großes Gebiet von  $227,5 \text{ km}^2$ . Die Wassermenge beträgt hier etwa  $9,58 \text{ m}^3/\text{s}$  im Jahresdurchschnitt, gemessen bei Rohr.
- Fassen wir all die genannten Zahlen zusammen, dann beträgt die Größe des Einzugsgebietes bei Mayerhofen ca.  $612 \text{ km}^2$  und die Abflußmenge  $28,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Diese Zahlen vergrößern sich bei Hart, kurz vor der Mündung der Ziller, auf  $1126 \text{ km}^2$  für das Einzugsgebiet und auf  $49,3 \text{ m}^3/\text{s}$  für die Abflußmenge. <sup>2)</sup>

Die Abflußbilanzen der Ziller zeigen, daß das Abflußverhalten hier klimatisch bedingt ist. Hochwasser herrscht in den Monaten Mai bis August in Folge der Schneeschmelze, Niedrigwasser in den Wintermonaten bei schneebedecktem Boden. Der Bau von künstlichen Stauanlagen wirkt sich allerdings ausgleichend auf die Wasserführung und hemmend auf die Sedimentführung aus.

---

<sup>2)</sup> Die Angaben über die Wasserführung der Flüsse des Einzugsgebietes wurden mit freundlicher Genehmigung den Unterlagen der Tiroler Wasserwerke entnommen.



Kritische Kenndaten von CO<sub>2</sub> :

Kritische Temperatur	304,15 K
Kritischer Druck	73,51 bar
Kritische Dichte	464 kg/m <sup>3</sup>

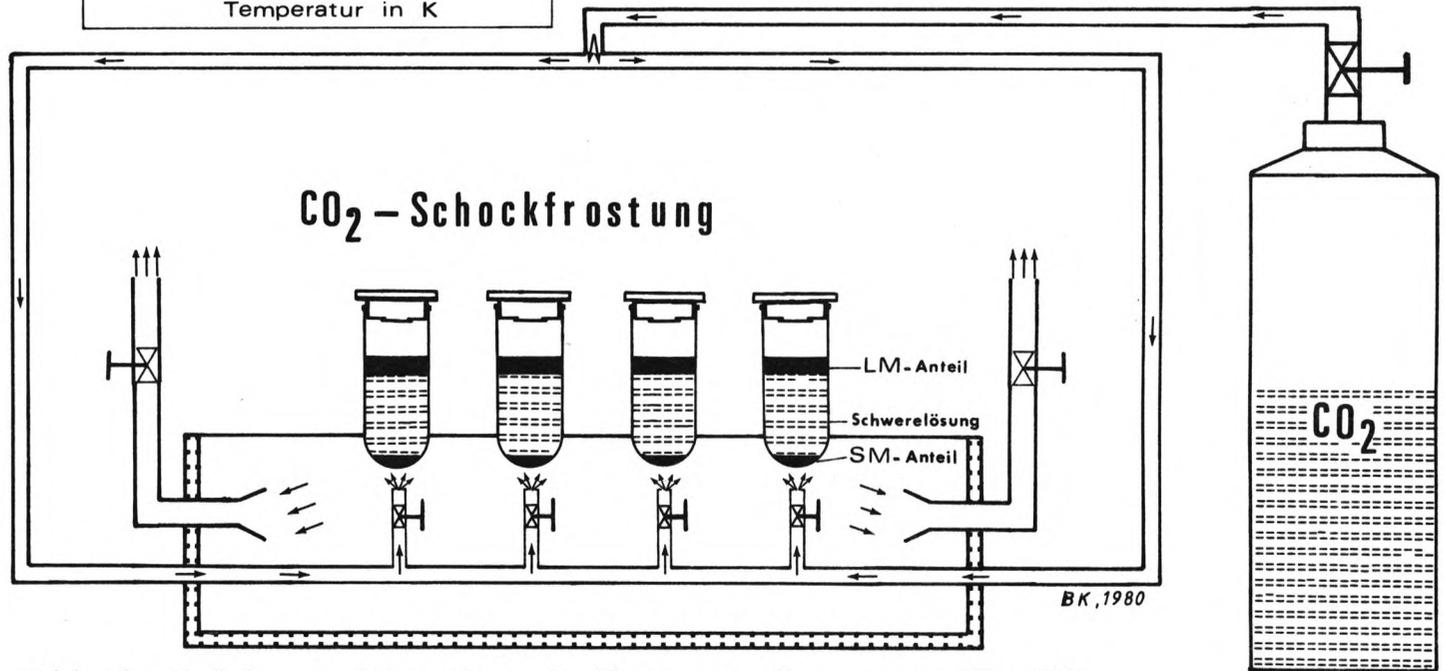


Abb. 4: Gefriergerät und p-T-Zustandsdiagramm für CO<sub>2</sub>

## 5. DARSTELLUNG UND AUSWERTUNG DER GRANULOMETRISCHEN ANALYSE

### 5.1 Modalverteilung

Für den Vergleich der Proben wurden die Kies-Sand-Silt/Ton-Anteile, die in der Tab. 8 (s. Anhang) zusammengestellt sind, auch in einem Diagramm dargestellt. Aus der graphischen Darstellung (Abb. 5) kann man rein visuell eine ganze Reihe von wichtigen Eigenschaften der Korngrößenverhältnisse erkennen. So verdeutlicht die Darstellung die hohe Konzentration des Sand-Anteiles in allen Proben und außerdem die allgemeine Zunahme des Silt/Ton-Anteils zur Flußmündung hin. Weiterhin kann man daraus entnehmen, daß die stoffliche Zusammensetzung in den Nebenflüssen mit Ausnahme des Sidan-Baches annähernd gleich bleibt. In Abb. 6 wurde die Veränderung des Silt/Ton-Anteiles und des Flußgefälles miteinander in Beziehung gebracht.

Daraus ist zu entnehmen, wie mit zunehmendem Transportweg und abnehmendem Gefälle der Silt/Ton-Anteil im Flußbereich zwischen Mayerhofen und der Mündung in den Inn ansteigt. Im Bereich des Zemmbaches ist dies aber nicht mehr der Fall. Hier findet fast eine Umkehrung statt. Das ist wahrscheinlich damit zu erklären, daß die strömende Wassermenge in dieser höher gelegenen Region flüßauf stark abnimmt, und der Verwitterungsschutt auf der Strecke bleibt. Betrachtet man diese Darstellungen näher, dann wird klar, wie eng diese drei Faktoren, nämlich Wassermenge, Gefälle und Sedimentanfall von einander abhängig sind.

Bei dieser Darstellung sind die Silt/Ton-Anteile der Nebenflüsse in Zahlen angegeben.

### 5.2 Korngrößenparameter

Um die Proben genügend zu kennzeichnen und einige durchschnittliche Kennwerte von Korngrößenverteilungen zu ermitteln, wurden von 14 Proben aus dem Ziller-Hauptfluß und von 9 Proben aus dem Zemmbach die Kornsummenkurven aufgezeichnet (Abb. 7). Zwei dieser Kurven sind hier in Abb. 8 als typische Kornsummenkurven für Ziller (Kurve B) und für Zemmbach (Kurve A) dargestellt. Die verschiedenen Parameter dieser Kurven sind nach FOLK & WARD (1957) berechnet und bei der Abb. 8 wiedergegeben. Die Formel für die Ermittlung dieser Parameter sind auch in der Arbeit von HAHN (1967) zusammengestellt. Für diese Aufzeichnung wurde Wahrscheinlichkeitspapier verwendet. Die Korngröße wurde im logarithmischen Maßstab ( $\phi$  - Einheiten) auf der Abszisse aufgetragen. Mit Hilfe der dort angegebenen mm-Skala kann die Umrechnung von  $\phi$ -Werten in absolute Korngrößen - und umgekehrt - schnell erfolgen.

Die Phi-Skala hat bei zunehmend feinerem Korn größere Zahlen. Außerdem fallen die ganzzahligen Phi-Werte mit den Kornklassengrenzen der in den USA am häufigsten verwendeten WENTWORTH-Skala zusammen. Diese Darstellungsweise gestattet eine direkte, breitere Vergleichsmöglichkeit mit anderen Bearbeitungen von Flußsanden.

Näheres über die "Vorteile" der Phi-Skala kann man bei TANNER (1969) lesen. Aus den Summenlinien ist erkenntlich, daß die Verteilung des Sediments von der Lognormalität z.T. abweicht. Die Abweichung der Summenlinie von einer logarithmischen Normalverteilung (gerade Linie) resultiert aus einem Gemisch von zwei oder mehreren log-normalen Komponenten mit verschiedenen Medianwerten. Sie weist auf eine polymodale Korngrößenverteilung hin. Die Summenlinien A und B stellen eine konvexkonkave Kurve mit mäßig steilem Mittelteil dar. Diese Kurvenart ist nach WALGER (1961) für Flußsande sehr typisch.

Aus den in der Abb. 8 zusammengestellten Kornsummenkurven lassen sich folgende Parameter ableiten:

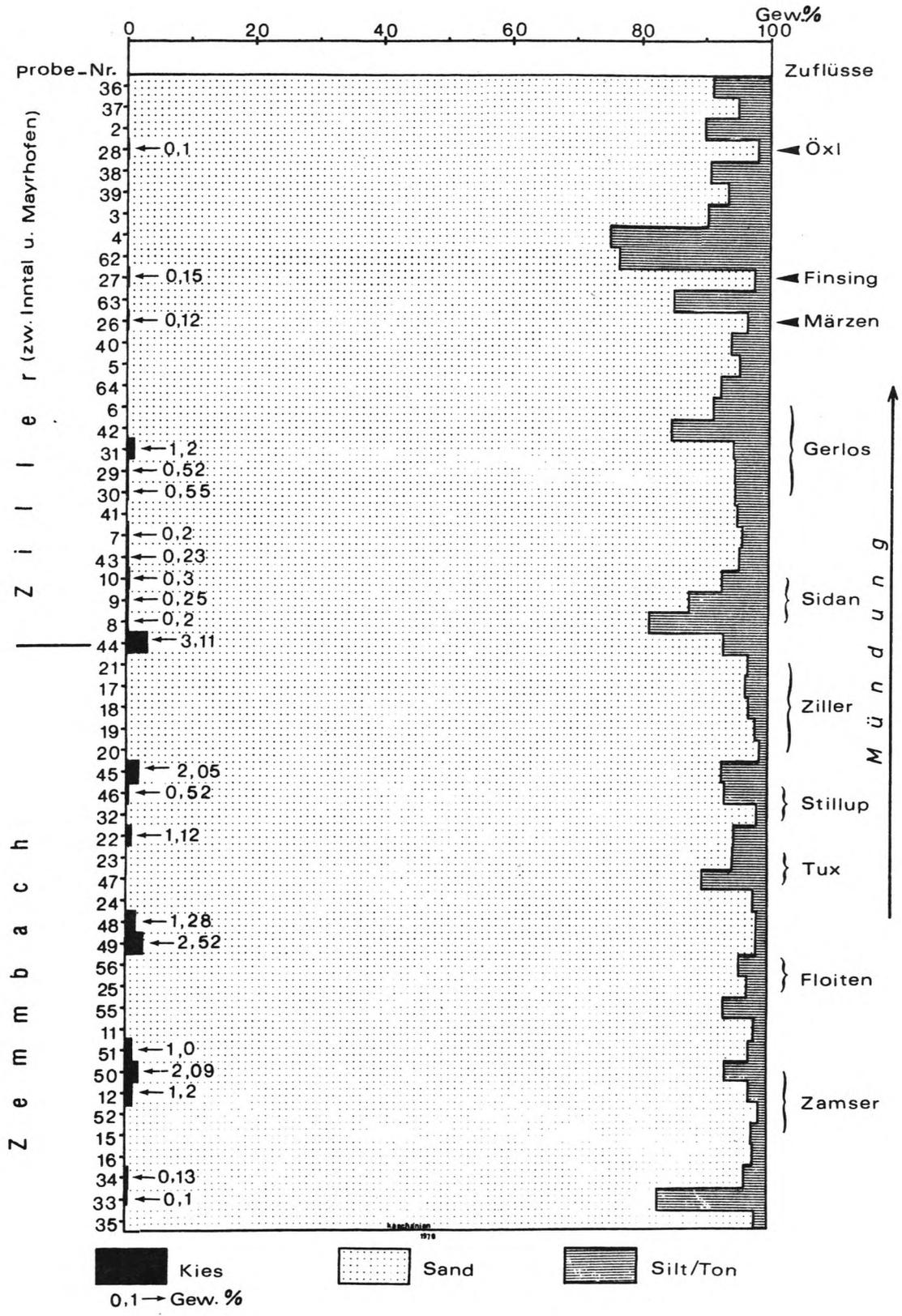
#### 5.2.1 Mean size

Die Größe  $M_z$  wird nach FOLK & WARD (1957) als Maß für die mittlere Korngröße (mittlerer Korndurchmesser) definiert:

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

---

Abb. 5: Darstellung der Gewichtsprozentanteile des Kies-, Sand- und Silt/Ton-Anteils im Verlauf des Flusses (Zemmbach + Ziller)



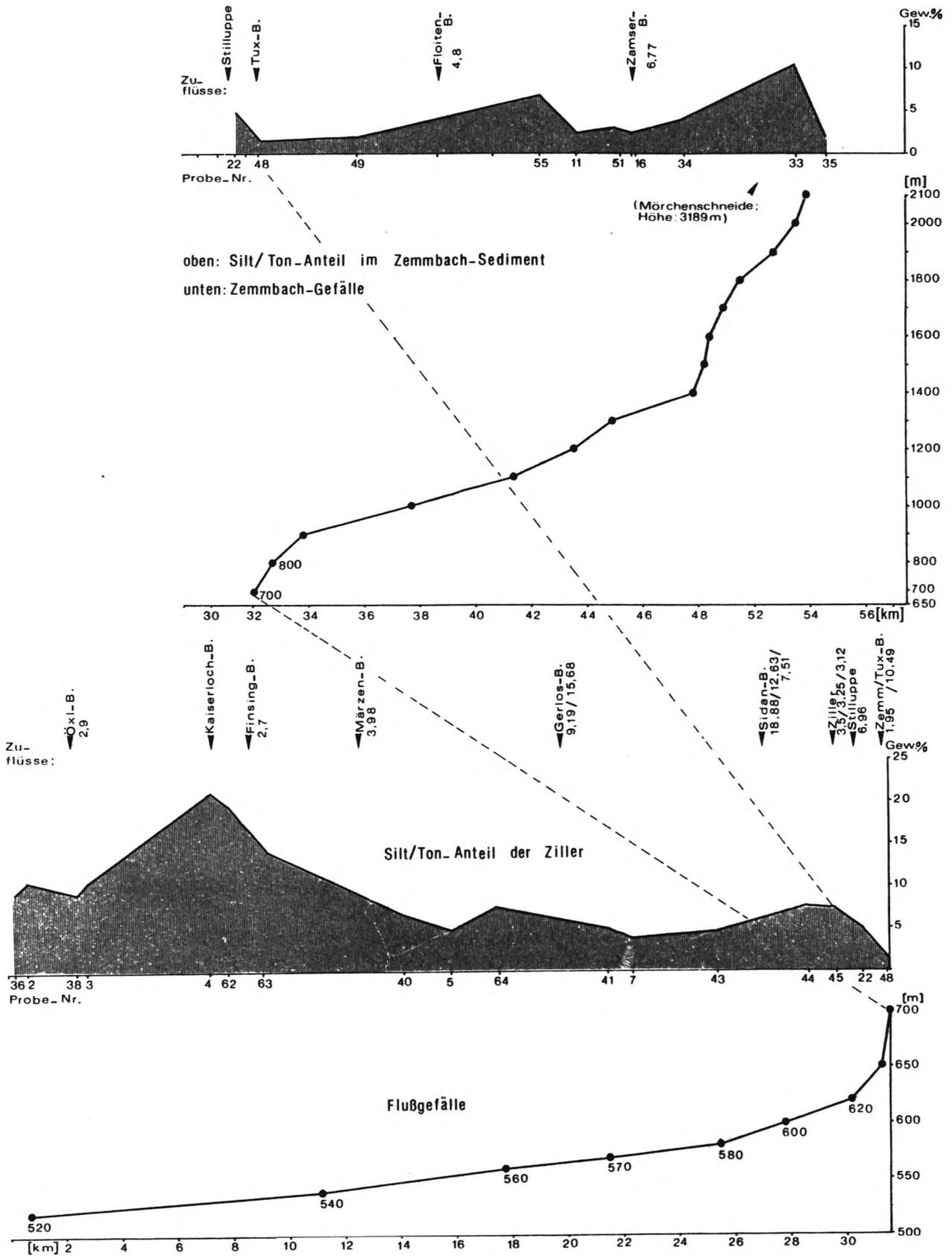


Abb. 6: Beziehung zwischen dem Flußgefälle und dem Silt/Ton-Anteil in den Proben

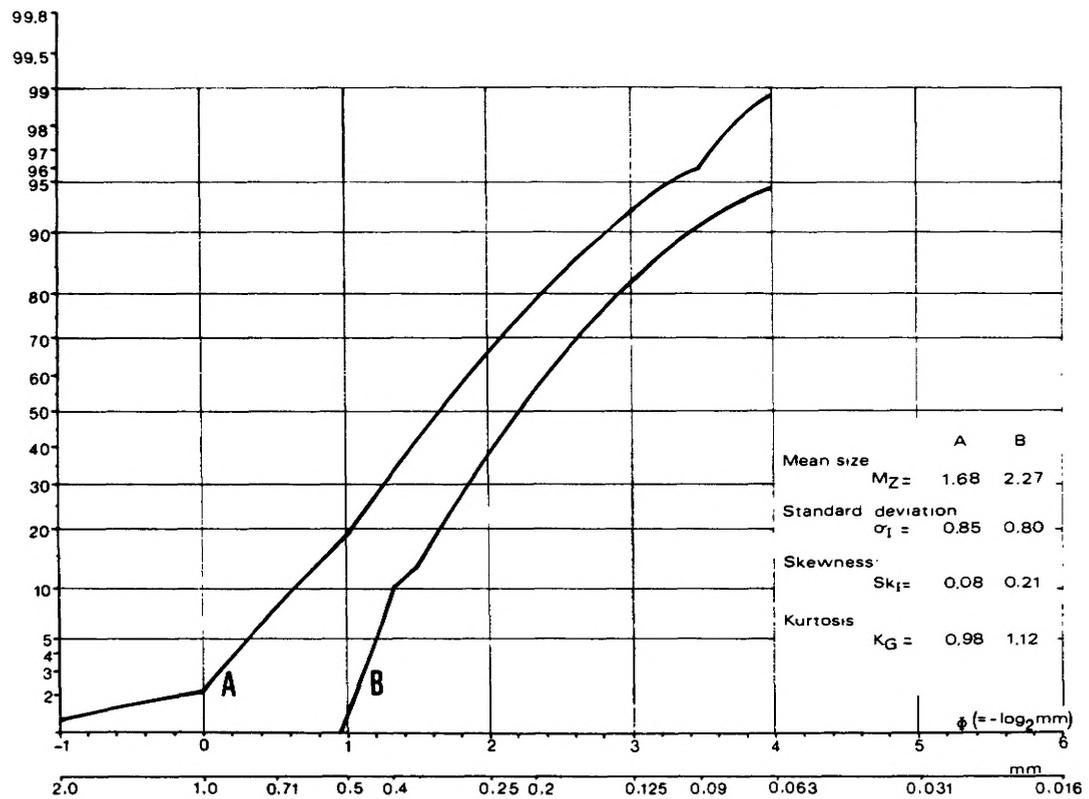
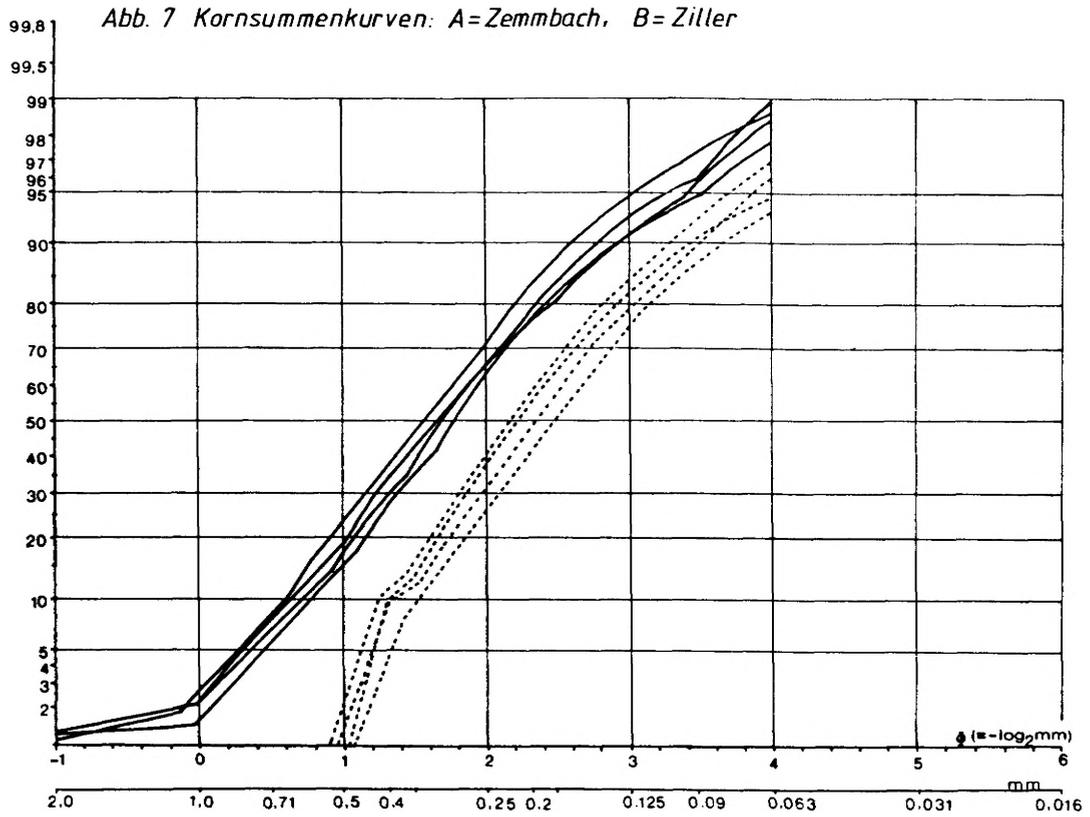


Abb. 8: Zwei typische Kornsummenkurven für Sedimente des Zemmbaches (A) und der Ziller (B).

Die errechneten  $M_z$ -Werte betragen hier 1,68 für die A-Kurve und 2,27 für die B-Kurve.

Folgende vergleichbare  $M_z$ -Werte für Flußsande finden sich in der Literatur:

- bei FOLK & WARD (1957) :  $M_z = -1,70 - 3,20 \phi$
- bei POLLACK (1961) :  $M_z = 1,85 - 3,61 \phi$
- bei HAHN (1967) :  $M_z = -1,61 - 5,27 \phi$
- und in dieser Arbeit :  $M_z = 1,68 . 2,27 \phi$

### 5.2.2 Standard deviation

Dieser Parameter wird im deutschen Sprachgebrauch als "Sortierung" bezeichnet und er wird nach FOLK & WARD (1957) als "inclusive graphic standard deviation" wie folgt definiert:

$$G_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

Die Sortierung ist ein Maß für die Abweichung der Verteilung vom Medianwert. Nach HENNINGSEN (1969) wäre "Klassierung" hierfür das richtigere Wort.

Gut sortierte Proben haben steile Summenkurven. Je kleiner die Zahl, desto "besser sortiert" ist das Material. Das bedeutet gleichzeitig die Konzentration des Materials in wenigen Siebfraktionen.

Dieses Maß kann bei solchen Proben angewandt werden, bei denen die feinste wie auch die größte Fraktion weniger als 5% der betreffenden Probe ausmacht. Diese Voraussetzung ist bei den meisten der hier vorliegenden Proben erfüllt. Die hier berechneten Durchschnittswerte sind aus der Abb. 8 ersichtlich. Danach gilt  $G_I=0,80$  für die Ziller und  $G_I=0,85$  für den Bereich des Zemmbaches. Für den Alpenrhein wurden diese Zahlen von HAHN (1967) zwischen 0,32 bis 2,64 und der mittlere Wert von 0,70 bis 1,80 angegeben. Die Sortierungswerte zeigen nur geringe Abweichungen innerhalb der Flußsande der Ziller. Nach FRIEDMAN (1961) betragen diese Werte für größere Flußsande ( $M_z < 1 \phi$ ) zwischen 0,80 bis 2,0.

Der Sortierungsgrad von 0,72 bis 1,00 wird von FOLK & WARD (1957) als "moderately sorted (ms)", d.h. mäßig sortiert, bezeichnet. Dieser Sortierungsgrad gilt nach unserer Berechnung für ca. 60% der vorliegenden Proben.

### 5.2.3 Skewness

Dieser Parameter wird bei FOLK & WARD (1957) als "inclusive graphic skewness" (=Schiefe) wie folgt definiert:

$$SK_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2 \cdot \phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2 \cdot \phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Die Schiefe gilt als Maß für die Symmetrie bzw. Asymmetrie einer Kornverteilungskurve.

In der Einteilung von FOLK (1957) sind die Maße so festgelegt, daß sie innerhalb der Grenzen -1 und +1 variieren.

Die Schiefe 0 charakterisiert eine Verteilung, die symmetrisch ist. Bei dieser Verteilung sind dann der Medianwert und Mittelwert identisch.

Die errechneten Skewness-Werte betragen 0,08 für die Proben aus dem Zemmbach und 0,21 für die Proben aus der Ziller.

Diese positiven Werte weisen darauf hin, daß  $M_z$  auf der feinerkörnigen Seite des Medians liegt. Die Symmetrie der untersuchten Proben ist dann im Durchschnitt nach FOLK (1957) als "nearly symmetrical" bis "positively skewed" zu bezeichnen.

Die Schiefe ist allerdings von der Anzahl der Messungen sehr stark abhängig, was hier nicht genau berücksichtigt wurde.

Als Vergleichswerte für Flußsande sind hierzu wiederum nach HAHN (1967) die Werte von -0,89 bis +0,76 für den Alpenrhein zu nennen.

#### 5.2.4 Kurtosis

Dieser Parameter wird ebenfalls bei FOLK & WARD (1957) als "inclusive graphic kurtosis" wie folgt definiert:

$$K_G = \frac{\sigma_{95} - \sigma_5}{2,44 \cdot (\sigma_{75} - \sigma_{25})}$$

Kurtosis-Werte schwanken im System FOLK zwischen etwa 0,40 und 3,0. Die Kurtosis gleich 1 entspricht dann einer lognormalen bzw. einer symmetrischen Verteilung. Dieser Parameter ist somit ein Maß für die Abweichung einer logarithmischen Normalverteilung. Sie gibt gleichzeitig Auskunft über das Verhältnis von Sortierung im zentralen Bereich zu Sortierung in den Randbereichen einer Verteilung. Hohe Kurtosis macht sich bereits bei der Siebanaalyse dadurch bemerkbar, daß einige wenige Fraktionen sehr viel Material haben und zugleich eine große Anzahl von Fraktionen vorliegt.

Niedrige Kurtosis-Werte sind dementsprechend dann zu erwarten, wenn alle Korngrößenklassen etwa gleichmäßig vorhanden sind. FOLK bezeichnet die Werte zwischen 0,67 - 0,90 als "platykurtic" und die Werte von 0,91 - 1,11 als "mesokurtic" und die Zahlen 1,12 - 1,50 als "leptokurtic". Die Verteilung der vorliegenden Proben ist nach obiger Definition von FOLK "mesokurtic" bis "leptokurtic", wobei hier "leptokurtic" überwiegt. Als Beispiel hierzu sind die in Abb. 8 angegebenen Zahlen von 0,98 (Zemmbach) und 1,12 (Ziller) zu erwähnen.

Vergleichswerte aus dem Gebiet des Alpenrheins finden sich bei HAHN (1967) mit  $K_G = 2,59 - 0,65$ .

Die in Abb. 5 zusammengestellten charakteristischen Werte von:

$$\begin{aligned} M_z &= 1,68 - 2,27 \\ \sigma_I &= 0,85 - 0,80 \\ S_{kI} &= 0,08 - 0,21 \\ K_G &= 0,98 - 1,12 \end{aligned}$$

stimmen mit den Untersuchungen von HAHN (1967) und mit denen von FRIEDMAN (1961, 1962) für vergleichbare Flußsande überein.

## 6. SCHWERMINERALE

### 6.1 Einführung

Unter den verschiedenen sedimentpetrographischen Untersuchungsverfahren ist die Schwermineralanalyse eine viel benutzte, jedoch häufig umstrittene Methode, Ablagerungsräume zu untersuchen und Faziesbereiche abzutrennen.

Die Schwermineralanalyse kann sowohl qualitativ als auch quantitativ geschehen.

In dieser Arbeit wurden sowohl die Schwermineralarten als auch die Schwermineralgehalte der Gesamtprobe bzw. der einzelnen Korngrößenfraktion bestimmt.

Die Grundlage für die Typisierung von Sedimenten bildet das Schwermineralspektrum. Es ist das gegenseitige Zahlenverhältnis von verschiedenen Schwermineralen zueinander. Aus der Schwermineralanalyse kann die im Sediment enthaltene Schwermineralgesellschaft ermittelt werden. Die Art des Schwermineralspektrums wird durch jene Gesteinskomplexe im Rückland bestimmt, die das Ausgangsmaterial des Sedimentes bilden.

Eine Verschiebung des Schwermineralspektrums erfolgt entweder quantitativ durch mechanische und chemische Vorgänge während des Transportes und der Ab- und Umlagerung oder aber auch qualitativ, die von einem Wechsel des Liefergebietes ausgehen kann.

Als Schwermineral-Lieferanten lassen sich die Liefergebiete nach GRIMM (1965) in epi-, meso- und katazonale Gebiete sowie in Granitgebiete mit folgenden typomorphen Schwermineralen einteilen:

In der Epi- bis Mesozone wird die Granat-Hornblende-Epidot-Vergesellschaftung mit Staurolith und Disthen als wichtigen Nebengemengteilen wirksam.

Für die Katazone gilt demzufolge eine Granat-Hornblende-Zusammensetzung mit Augit und Zirkon ohne Epidot.

Die Granitgebiete machen sich durch Zirkon-Assoziationen mit Turmalin, Monazit, Apatit und Biotit kenntlich.

Die Beziehung zwischen Schwermineralarten und ihren zugehörigen Gesteinen wird bei GRIMM (1965) wie folgt dargestellt (Tab. 2).

Gesteinsgruppe	Schwermineral-Kombination
Basische bis ultrabasische Eruptiva:	Anatas, Brookit, basaltische Hornblende, Olivin, rhombische und monokline Pyroxene, Rutil, Spinell.
Saure bis intermediäre Eruptiva:	Apatit, Hornblende, Korund, Monazit, Titanit, Turmalin, Zirkon.
Pegmatitisch-pneumatolytische Bildungen:	Apatit, Beryll, Dumortierit, Flußspat, Korund, Monazit, Spodumen, Topas, Turmalin.
Sedimentäre Rest-Vergesellschaftungen:	Rutil, Titanit, Turmalin, Zirkon.
Epizonale Metamorphite:	Chlorit, Chloritoid, Epidot, Glaukophan, Klinozoisit, Serizit (Talk), Turmalin, Zoisit.
Mesozonale Metamorphite:	Amphibole (grün und blau) und Strahlsteine; Andalusit, Disthen, Epidot, Granat, Klinozoisit, Staurolith, Zoisit.
Katazonale Metamorphite:	Disthen, Granat, Pyroxen (Augit und Diallag), Rutil, Sillimanit.
Kontaktmetamorphite (mit und ohne Stoffzufuhr):	Amphibole (grün), Strahlsteine; Andalusit, Epidot, Flußspat, Granat (meist Grossular), Pyroxene (meist Diopsid), Titanit, Topas, Turmalin, Vesuvian, (Wollastonit), Zoisit.

Tab. 2: Schwerminerale verschiedener Ausgangsgesteine (nach GRIMM 1965)

Eine Mineralgesellschaft erfährt vom Liefergebiet bis zur Ablagerung Veränderungen am Einzelkorn und in der stofflichen Zusammensetzung durch Transportart, Transportmedium und Korneigenschaft.

Aus diesen Ausmerzungs- bzw. Anreicherungsverfahren im Mineralspektrum lassen sich zweierlei Informationen ablesen:

Einmal können sie uns Hinweise auf die Geschichte des Sedimentes während des Transportes liefern; und umgekehrt lassen sich die Mineralarten auf ihre Transporteigenschaften hin näher untersuchen, wenn der Mechanismus des Transportes schon vorher bekannt ist. Gerade in diesem zweiten Fall liegen keine hinreichenden Detailuntersuchungen vor, wie ein Mineralkorn im Einzelfall beim Transport reagiert und welche seiner Eigenschaften für die Veränderungen zunächst ausschlaggebend ist. Außerdem sind in der Natur die Mineralarten schon im Ausgangsmaterial unterschiedlich ausgebildet.

Wenn die Schwerminerale zu stratigraphischen Korrelationen herangezogen werden, muß zusätzlich mit Problemen gerechnet werden, die der diagenetischen Empfindlichkeit der meisten Schwerminerale entspringen.

Die folgende Tabelle (Tab. 3) gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Schwermineralkombinationen in den verschiedenen Sedimenten, vor allem aus dem Alpenraum mit dem Schwerpunkt in der Molasse.

Sie kann dann zum Vergleich mit der hier durchgeführten Schwermineralanalyse und bei der Schlußdiskussion benutzt werden.

Faßt man die Ergebnisse dieser Tabelle zusammen, so erhält man die folgende Reihenfolge des stratigraphischen Auftretens der Schwerminerale:

Turmalin/Zirkon	:	bis zur Oberkreide
Granat	:	ab Oberkreide
Staurolith/Apatit	:	ab Unteroligozän/Tertiär
Epidot	:	ab Oberoligozän
Hornblende	:	in der Ostmolasse

Schwerminerale	Autoren	Fundorte und Erläuterungen
G-St-Ap	LEMKE, et al. (1953)	in der süddt. Molasse, untergeordnet verbreitet.
G-St-Ap + (Glc)	MÖLLER & TRÜGER (1948)	in der subalpinen Molasse/bei Kempten
G-St-Ap + (Glc, Turmalin)	GRIMM (1965)	im unteren Teil der Chattsande in Oberbayern (chattisch bis früh-aquitänisch)
G-St-Ap + (Zi, Spi)	FOCHTBAUER (1958)	in den älteren süddt. Molasseschichten
G-E-(H)	GRIMM (1965)	in den jüngeren Sedimenten der Molasse (Miozän); in der schweizer bzw. schwäbischen Molasse
G-E-(H) + (Tit)	SCHNABEL (1976)	im oberkarbonen Hochwipfelflysch (Westfal)
G-E-H + Agt	VAN ANDEL (1950)	in den Rheinsedimenten
E-G-H	HAHN (1967)	in den Flußsanden des Alpenrheins
E-G-H	diese Arbeit	in den Flußsedimenten der Ziller
Zi-Tu-Ap	SCHERIAN-NIEDERMAYER (1973)	in den Werfener Schichten, Kötschach (Gailtaler Alpen)
Zi-Tu-Rt	WOLETZ (1950)	in dem unteren Teil der kalkalpinen Oberkreide bis ins Untercompan (zwischen Tirol und Wienerwald)
Zi-Tu-Rt	HAHN (1967)	in den Flußsanden des Alpenrheins (zugeteilt der Helvetischen Provinz)
Zi-Tu-Rt + (Ap, G)	WOLETZ (1950)	in den klastischen Gesteinen des Wienerwaldes
Zi-Tu-Rt + (H)	SCHNABEL (1976)	im oberkarbonen Hochwipfelflysch (Namur)
Tu-Zi-G + (Ap)	FOCHTBAUER (1958)	in den nordalpinen Ablagerungen, die älter sind als die Molasse (kalkalpine Trias, Flysch, Helvetikum)
G-Zi-Tu + (Rt, Ap)	SCHNABEL (1970)	in den Sandsteinen der Sieveringer Schichten im Flysch des Wienerwaldes
Zi-Mo + (G, And, Tit)	GRIMM (1965)	Leithorizonte innerhalb der G-St-Ap und G-E-(H)/Chattsande
G-Ap-Zi + (Rt, Tu)	FAUPL (1975)	in den Sandsteinen des marinen Komplexes der Grestener Schichten/Ostalpen zwischen Wienerwald und Traunsee

Tab. 3: Schwermineralkombinationen der verschiedenen Sedimente (vor allem der Molasse), zusammengestellt nach den hier aufgeführten Autoren.

Außerdem sind in der Tab. 4 die Unterschiede in der Sedimentzusammensetzung der moldanubischen und der alpinen Herkunft nach GRIMM (1965) zusammengestellt.

Die Verbreitung, Häufigkeit und Herkunft einzelner der hier untersuchten Minerale werden dann bei der Beschreibung des jeweiligen Minerals näher erläutert (s.u.).

Liefergebiet	Leitminerale	Hauptminerale	Haupt- oder Nebengemengteile	regelmäßiger Nebengemengteil
Moldanubische Herkunft	Andalusit, Dumortierit Monazit Sillimanit	Zirkon (Xenotim)	Titanit	Anatas Brookit Braune Hornblende
Alpine Herkunft	Blaue Hornblenden: (Crossit, Glaukophan) Chloritoid	Granat Epidot	Staurolith Apatit Grüne Hornblende Dunkelroter Spinell	Zoisit

Tab. 4: Charakteristische Schwerminerale eines Molassesedimentes aus den Alpen, sowie aus dem Moldanubikum (zusammengestellt nach GRIMM 1965):

Hauptgemengteil = >20% des durchsichtigen Schwermineralanteiles,

Nebengemengteil = 3 - 20%.

Akzessor = < 3%

Tab. 5: Liste der im Text, in den Abbildungen und Tabellen verwendeten, Abkürzungen

Agt	Augit	Ilm	Ilmenit
Ak	Aktinolith	Kb	Karbonat
Alm	Almandin	Klz	Klinozoisit
Amph	Amphibol	Mgst	Magnesit
Ana	Anatas	Ms	Muscovit
And	Andalusit	Mt	Magnetit
Andr	Andradit	Orth	Orthit
Ap	Apatit	Opx	Orthopyroxen
Asb	"Asbest"	Py	Pyrop
Bar	Baryt	Pyr	Pyrit
Bi	Biotit	Pyrh	Pyrrhotin
Bro	Brookit	Rb	Riebeckit
Cc	Calcit	Rt	Rutil
Chl	Chlorit	Sch	Scheelit
Cht	Chromit	Sill	Sillimanit
Cpx	Klinopyroxen	Spess	Spessartin
Ctd	Chloritoid	Spi	Spinell
Di	Disthen	St	Staurolith
Dia	Diallag	Tc	Talk
Dio	Diopsid	Tit	Titanit
Dol	Dolomit	Tr	Tremolit (= Grammatit)
E	Epidot	Ts	Tschemakit
G	Granat	Tu	Turmalin
Gl	Glimmer	Verw	Verwachsungen
Glc	Glaukophan	Zi	Zirkon
Gross	Grossular	Zin	Zinkblende
H	Hornblende	Zo	Zoisit
Hm	Hämatit		
Hyp	Hypersthen		

### 6.1.1 Methodik der Untersuchung

Das Verfahren zur Gewinnung von Schwermineral-Konzentraten aus den Sandproben wurde bei der Probenaufbereitung (Kap. 4.3.) ausführlich beschrieben. Für die Gewinnung monomineralischer Fraktionen wurden, je nach Bedarf, verschiedene Methoden angewandt: Zuerst wurden die dia-, para- und ferri- bzw. ferromagnetischen Minerale voneinander getrennt. Für diesen Trennungsgang wurde neben einem Handmagnet auch der Labormagnetscheider vom Typ "FRANTZ isodynamic magnetic separator" angewandt. Weitere Trennprobleme konnten mit Hilfe von Micropanner oder durch Auslesen von Hand unter einem Binokular bewältigt werden.

Die Verwendung des Micropanners bietet noch weit vielfältigere Anwendungsmöglichkeiten als die bisher bekannten. Doch würde die Beschreibung der Versuche, die hier durchgeführt wurden, nicht dem Rahmen dieser Arbeit entsprechen. Für die Reinigung einiger Proben von Glimmerkonzentraten wurde außerdem eine Glasplatte benutzt.

Die Anwendung einer Glasplatte für die Glimmertrennung beruht auf der Beobachtung, daß diese Minerale die Eigenschaft haben, an glatten Flächen zu haften. Dieser Hafteffekt läßt sich verstärken, indem man anstatt Glas eine Platte aus Kunststoff benutzt, die sich beim Säubern elektrisch auflädt.

Streupräparate wurden für die Auszählung und Untersuchung der Mineralkörner hergestellt. Das Einbettungsmitel war neben Caedax ( $n = \text{ca. } 1,60$ ) auch eine selbsthergestellte Caedax-Kunstharz-Mischung mit der Lichtbrechung  $n = 1,665$ .

Die Bestimmung der Schwerminerale erfolgte polarisations-mikroskopisch durch Ermittlung von Lichtbrechung, Doppelbrechung, optischer Achsenzahl, optischem Charakter, Messung der Auslöschungsschiefe und des Achsenwinkels.

Um die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen nach optischen Methoden zu kontrollieren, wurden zahlreiche Mineralfraktionen auch röntgenographisch untersucht.

Wo keine sichere Mineralbestimmung gewährleistet war, wurde die Immersionsmethode angewandt.

Für die Behandlung der Körner mit verschiedenen Immersionsflüssigkeiten wurden Gelatine-Präparate (nach MÜLLER 1964) hergestellt.

Bei der Auszählung der Mineralkörner wurde verschieden verfahren. Lag z.B. ein Streupräparat mit einem Gemisch der gesamten durchsichtigen Minerale einer Korngrößenfraktion vor, so wurden stets 500 durchsichtige Mineralkörner bestimmt und ausgezählt; handelte es sich aber um ein Streupräparat mit nur einigen Mineralarten, so wurden je nachdem 200 bis 300 solcher Körner bestimmt.

## 6.2 Darstellung der Ergebnisse

### 6.2.1 Mengenverteilung und allgemeine Übersicht

Nach der üblichen Methodik wurden die Schwermineralanteile aller Proben in Einzelfraktionen ausgewogen. Diesen Schwermineralen wurden die ferromagnetischen Bestandteile mit einem Handmagneten sorgfältig entzogen und ebenfalls ausgewogen. Der daraus berechnete Prozentsatz ferromagnetischer Minerale, bezogen auf den Gesamtschwermineralgehalt der vier untersuchten Fraktionen (= 100%), und die prozentualen Schwermineralgehalte der einzelnen Fraktionen sind in Tab. 8 (siehe Anhang) zusammengefaßt.

Die Ergebnisse sind in der Abb. 9 graphisch dargestellt. Bei der ersten Betrachtung dieser Abbildung fällt sofort der relativ hohe Schwermineralgehalt in allen Proben auf, meistens bedingt durch die hohen Glimmeranteile.

In den Angaben der Schwermineralgehalte wurden sämtliche Minerale mit dem spezifischen Gewicht größer als 1,96, also auch eine große Reihe von Glimmern, zusammengefaßt. Eine weitere wesentliche Rolle spielen auch die opaken Minerale.

Die relativ großen Differenzen im Schwermineralgehalt können einmal auf solche im Ausgangsgestein und auch auf unterschiedliche Wasserführung der Zuflüsse und die Morphologie des Gebietes zurückgeführt werden. Außerdem spielen hier wiederum die unterschiedlichen Glimmeranteile der Proben eine wichtige Rolle.

Betrachtet man die Abb. 9 so, daß die Zuflüsse unberücksichtigt bleiben, so erhält man - abgesehen von den wenigen Ausnahmen (z.B. Probe 5) - ein Bild des abnehmenden Gesamtmineralgehaltes von der Quelle bis zur Mündung. Die weiteren Untersuchungen ergaben, daß bei Nichtberücksichtigung des Glimmeranteiles dieses Bild zwar etwas ausgewogener wird, jedoch im wesentlichen erhalten bleibt.

Dem Diagramm ist weiterhin zu entnehmen, daß die Schwermineralgehalte in den beiden mittleren Fraktionen, nämlich 0,18 - 0,25 mm und 0,125 - 0,18 mm, im Durchschnitt größer sind als in der feineren (0,125 - 0,063 mm) und in der gröberen (0,25 - 0,5 mm).

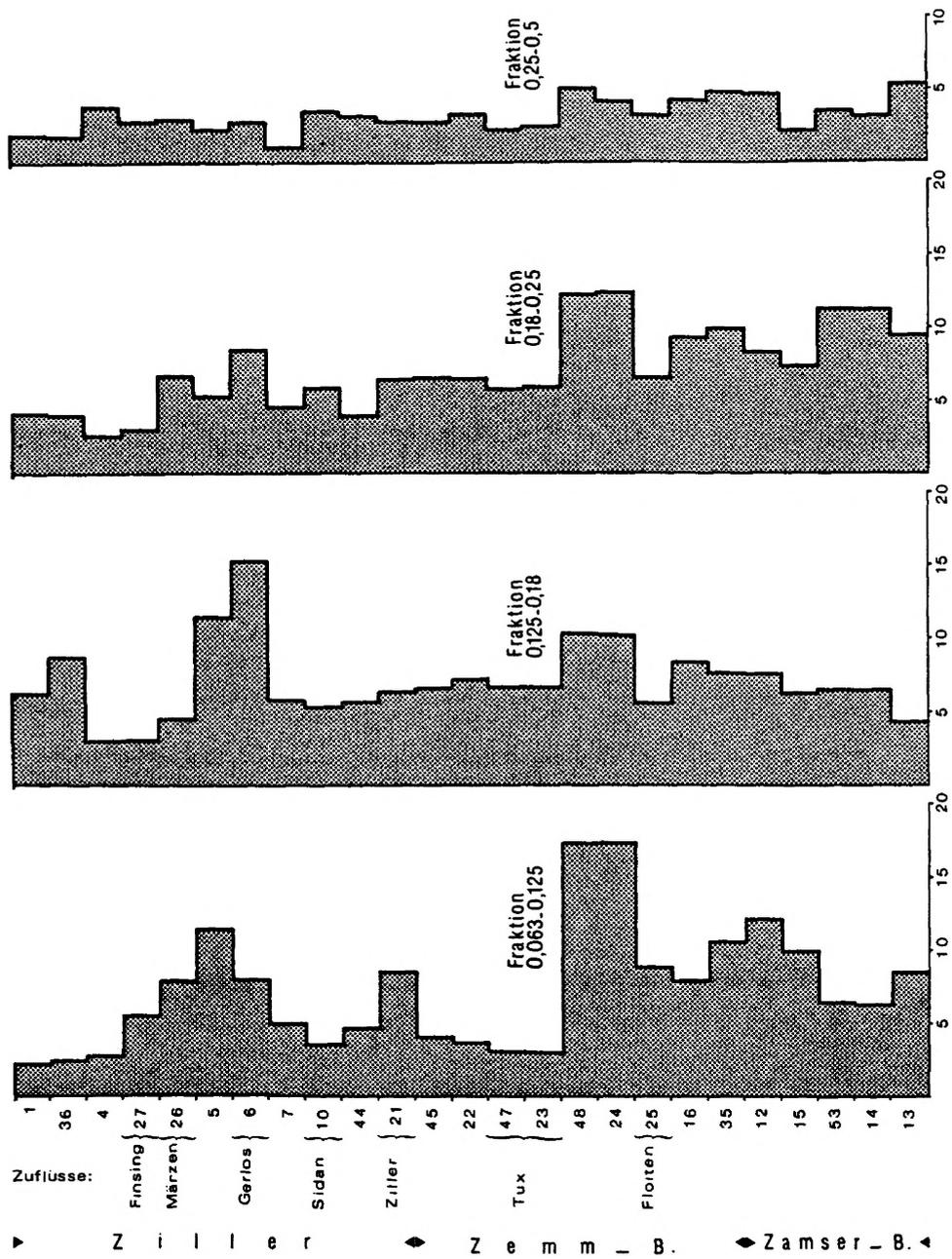


Abb. 9: Gesamtschwermineral-Gehalte im Gewichtsprozent an Fraktionen 0,063 - 0,50 mm (einschließlich Glimmer und opak)

Diese Verteilung entspricht allerdings nicht ganz der bis jetzt in der Literatur vertretenen Ansicht, daß nämlich die größte Menge an Schwermineralen in der feinsten Fraktion anzutreffen sei. Als Beispiel kann die von WOLETZ (1958) erwähnte Fraktion von 0,05 - 0,1 mm genannt werden.

Dagegen zeigen auch einige andere Arbeiten, z.B. KRUMBEIN & PETTIJOHN (1938) und SCHIESSL (1962), daß die Mineralführung einer bestimmten Fraktion nicht allzusehr von der Korngröße abhängig ist.

Die eigenen Erfahrungen zeigen, daß es hierzu keine allgemein gültige Regel gibt, solange man nicht all jene Faktoren und Prozesse kennt und berücksichtigt, die die Entstehung des Sedimentes herbeigeführt haben. Das Studium etlicher Arbeiten über Schwerminerale und die eigenen Beobachtungen geben Anlaß anzunehmen, daß mit der Entfernung des Sedimentes vom Liefergebiet einerseits die Konzentration an Schwermineralen in einer einzigen Fraktion (und zwar den feineren) zunimmt und andererseits die Primärbeeinflussung des Sedimentes durch das Liefergebiet und das Ausgangsgestein fortwährend geringer wird.

Somit ist eine Parallelisierung des mengenmäßigen Auftretens der Minerale in den hier gezeigten Fraktionen mit denen aus anderen Bearbeitungen nur bedingt zweckmäßig.

Für die hier vorliegenden quantitativen Mineralverteilungen fallen zuerst zwei Merkmale des Sedimentes auf: In der Regel liegt die größte Menge an Glimmer in den beiden mittleren Fraktionen vor. Die Verteilung zeigt dennoch eine Besonderheit: Sie zeigt eine quantitative Zunahme des Glimmeranteiles in der feineren Fraktion von den Proben im Quellgebiet zu den Proben in der Mündung.

In der Fraktion 0,063 - 0,125 können somit hinsichtlich der Länge des Transportweges im äußersten Fall 60% des Gesamtglimmeranteiles auftreten.

Erze kommen gleichfalls in größeren Korngrößenklassen am häufigsten vor.

Nach RUCHIN (1958) treten Erze in dem Korngrößenbereich 0,8 - 0,4 mm häufiger als in den übrigen Fraktionen auf. Das oben besprochene Diagramm (Abb. 9) macht die Unterschiede in der stofflichen Zusammensetzung mit wechselnder Korngröße erkennbar.

Die mineralogische Zusammensetzung des Gesamtsedimentes kann allerdings nicht aus diesen Ergebnissen abgeleitet werden, da in Wirklichkeit die einzelnen Fraktionen mit unterschiedlichem Anteil am Gesamtsediment beteiligt sind.

Die prozentualen Gewichtsanteile der ferromagnetischen Minerale lassen sich am sichersten ermitteln. Aus der Tab. 8 (siehe Anhang) wird ersichtlich, daß ihre Mengenanteile in den älteren Proben vor der Fertigstellung der Stauseeanlagen "Schlegeis" relativ größer sind als in den Proben der letzten Jahre. In der Probe 13 aus dem Zamsbach an der Einmündung wurde der höchste Anteil von 17,19% des Gesamtschwermineralgehaltes (von vier Fraktionen) ermittelt.

Die Probe 15, unterhalb des Sees genommen, beinhaltet dagegen nur 1,42% dieser Mineralgruppe. Es handelt sich hierbei vor allem um Magnetitkomponenten, die hier im Quellgebiet in größeren Fraktionen gehäuft auftreten und vom Stausee dann zurückgehalten werden. Die qualitative Zusammensetzung der Proben bleibt trotzdem gleich.

In der Tabelle 7 (im Anhang) sind die Ergebnisse der Schwermineralanalysen zusammengefaßt.

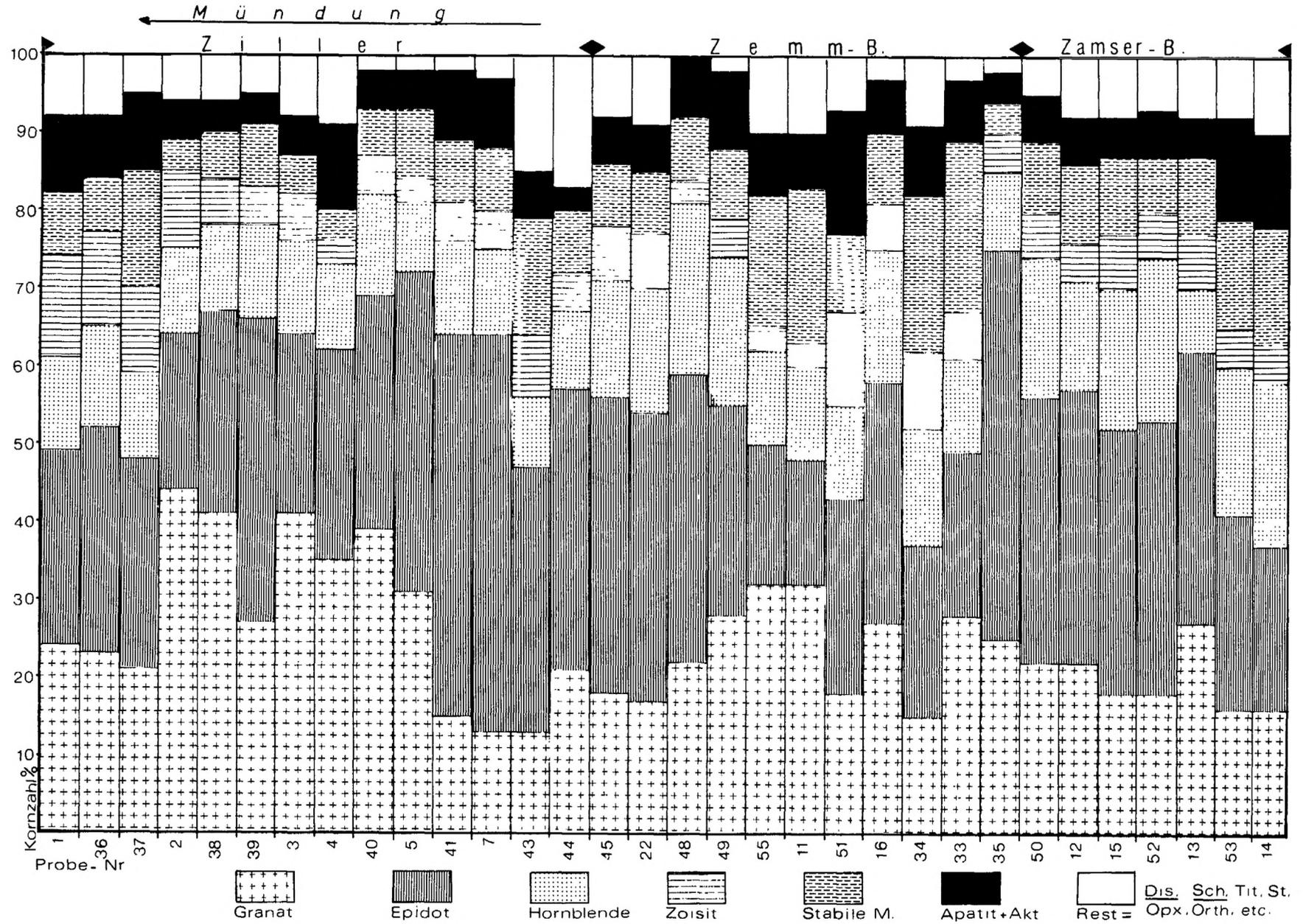
Abb. 10 zeigt die Schwermineralverteilung der einzelnen Proben im Bereich zwischen den Quellgebieten vom Zemm- bzw. Zamsbach bis zum Inntal. Die Proben aus den kleineren Nebenflüssen wurden bei dieser Darstellung nicht berücksichtigt. Ihre Analyseergebnisse können jedoch aus der Tabelle 7 (Anhang) entnommen werden.

In dem genannten Diagramm sind die Apatit- und Aktinolith-Anteile aus zeichnerischen Gründen zusammengefaßt.

Der hier als "Rest" bezeichnete Mineralbestand setzt sich aus einer Fülle verschiedener Minerale zusammen. Sie weisen in verschiedenen Proben, vor allem in den Nebenflüssen, unterschiedliche quantitative wie auch qualitative Zusammensetzungen auf.

Der Hauptanteil dieses Restbestandes besteht z.B. im Bereich von Zemm-Zamsbach und im Gebiet vom Floiten-, Stillupptal aus Disthen. In den Bächen Märzen, Finsing und Üxel ist es mehr oder weniger Orthopyroxen. Die Proben aus dem Tuxtal weisen schließlich mehr Scheelit (und Magnesit, nicht ausgezählt) auf. Neben diesen drei Hauptgruppen treten dann in geringen und wechselnden Mengen die Minerale Titanit, Stauroolith, Orthit, "Asbest", Diallag, Zinkblende, etc. auf. Außerdem sind hier andere Minerale, die in beträchtlichen Mengen auftreten, vorhanden.

Sie wurden jedoch nicht im einzelnen ausgezählt, sondern ihr Vorhandensein nur registriert, wie etwa: verschiedene Glimmerarten, Chlorit, opake Anteile, Magnesit, Hämatit etc. Die Chlorite, die bei der Schwermineral-



analyse eine große Rolle spielen, hätten hier ausgezählt werden müssen. Da jedoch bei der Trennung von Glimmer auch die Chlorite z.T. abgetrennt werden, war die Ermittlung ihrer wahren Werte nicht gewährleistet.

Die oben genannten Mineralunterschiede (Restbestände) wurden entweder durch Einzelangabe des Mineralgehaltes (z.B. Disthen, Staurolith, Titanit) oder durch Aufzählen einzelner Minerale in abnehmender Reihenfolge kenntlich gemacht.

Der Hauptgemengteil, über 50% des Restbestandes, wurde dort zusätzlich unterstrichen. Die mengenmäßige Verteilung der wesentlichen Schwerminerale bedarf zunächst keiner weiteren Erklärung, da sie aus dem Diagramm entnommen werden kann.

Nähere Erläuterungen hierzu werden einmal bei der Beschreibung der einzelnen Minerale und zum Schluß bei der Diskussion der Ergebnisse gegeben.

## 6.2.2 Beschreibung der Schwerminerale

Im folgenden werden die wichtigen durchsichtigen Mineralgruppen in ihren charakteristischen Eigenschaften einzeln beschrieben. Die Reihenfolge ist alphabetisch.

### 6.2.2.1 Amphibole

Die große Familie der Amphibole ist in den vorliegenden Proben überwiegend durch grüne Hornblenden und aktinolithische Hornblenden ( Strahlsteinreihe ) vertreten. Alle beobachteten Hornblenden zeigen einen deutlichen Pleochroismus von gelbgrün, entsprechend  $n_x$ , nach dunkelgrün oder blaugrün, entsprechend  $n_z$ .

Dagegen treten in den Proben braune Hornblenden äußerst selten auf.

Von etlichen Hornblenden aus verschiedenen Bereichen des Einzugsgebietes wurden die optischen Eigenschaften - Pleochroismus, optische Achsenwinkel, Lichtbrechung und Auslöschungsschiefe - genau bestimmt und miteinander verglichen. Für die genaue Ermittlung des Brechungsindex  $n_z$  nach der Immersionsmethode wurde eine Mischung von Methyljodid mit  $\alpha$ -Monobromnaphthalin verwendet.

Die gemessenen Achsenwinkel ( $2V^x$ ) ergaben einen Wert von  $63 - 67^\circ$  für die gelblichgrünen bis blaugrünen Individuen und  $79^\circ - 88^\circ$  für die blaßgelben bis hell-blaugrünen Exemplare. Die Lichtbrechung der Hornblenden nimmt im allgemeinen mit wachsender Intensität der Färbung ebenfalls zu. An Hand dieser Messungen lassen sich also optisch (und damit auch chemisch ) verschiedene Hornblendearten im Einzugsgebiet feststellen, die dann regional auch unterschiedlich verbreitet sein können.

Vergleicht man diese optischen Daten mit den bei TRÜGER (1971) angegebenen, so erhält man für diese Amphibole eine Zugehörigkeit zur Mischungsreihe Aktinolith-Hornblende-Tschermakit.

Mit anderen Worten finden sich in den vorliegenden Proben folgende Mischglieder der Calcium- und Alkali-Amphibole: Tremolit (= Grammatit)-Tschermakit-Edenit-Pargasit bis z.T. Hastingsit.

Dazu kommt noch eine weitere Varietät mit einem bläulichgrünen bis grünlichblauen Pleochroismus, die man nach TRÜGER (1969) als "Barroisit" bezeichnen könnte. Für diese Bezeichnung wird aber keine klare Definition angegeben. Außerdem besteht nach TRÜGER (1969) chemisch zwischen dem grünlichblauen Barroisit und dem rein grünen bis olivgrünen Haupttyp des Tschermakit kein wesentlicher Unterschied.

Manche Körner lassen deutlich das Übergangsstadium einer Hornblende in die andere erkennen.

Hier ist dann oft das Korninnere tschermakitisch mit starkem Pleochroismus, während die Kornränder schwach pleochroitische aktinolithische Hornblenden darstellen. Solche Körner verkörpern wahrscheinlich die Glieder unvollständiger Umwandlungsstadien von tschermakitischen zu aktinolithischen Hornblenden während der Tauernkristallisation. Ein weiteres Merkmal vieler Körner sind ihre Einschlüsse. Als Einschlüsse kommen relativ viele Bestandteile wie Plagioklas, Quarz, Glimmer, Epidot, Ilmenit, Titanit und Rutil vor.

Nach KARL (1959) sind die mit Titanit oder Rutil gefüllten Amphibol-Korninnenbereiche ein Hinweis für den tauernkristallinen Umlagerungsprozess der ehemals titanreichen Amphibole.

Die Morphologie der Körner weist mehr prismatische Formen nach (110) mit unregelmäßig begrenzten Enden und zahlreichen Spaltrissen auf. Die Kornform der Aktinolithe ist dementsprechend faserig und langprismatisch nach (110).

---

Abb. 10: Prozentuale Verteilung (Kornzahl-Prozente) der wichtigen transparenten Schwerminerale im Verlauf des Flusses.

Der Hornblendeanteil zeigt im Bereich der Haupttäler, Zammer-Zemm-Zillertal prozentual kleine Veränderungen. Der größte Anteil wurde in den Proben 14, 52, 53 und 48 registriert. In den Proben 1 bis 4 im Unterlauf des Flusses sind die Hornblendenanteile etwas geringer. In den zuletzt genannten Proben trifft man immer mehr solche Körner mit Korrosionserscheinungen, wobei die frischen Körner weiterhin dominierend sind. Dies weist wahrscheinlich auf die leichte Verwitterungsanfälligkeit der Hornblenden hin.

Die dunkler gefärbten Körner scheinen statistisch gesehen korrosionsanfälliger zu sein als vergleichbare hellere Exemplare.

Auffallend ist auch eine fraktionelle Veränderung des Hornblendegehaltes in den erwähnten Proben aus dem Unterlauf des Flusses. Es nimmt also der Hornblendeanteil (Kornzahl%) in den feineren Fraktionen flußabwärts leicht zu, ohne daß sich an der Gesamtkornzahl der vier Fraktionen viel ändert.

Von diesem Zerkleinerungsprozess werden, wie auch bei der Korrosionsanfälligkeit, die dunkleren Körner anscheinend eher betroffen als die helleren.

#### 6.2.2.2 Anatas

Die häufigste Farbe der beobachteten Anatase ist mehr oder weniger gelblichbraun, honiggelb, hyazinthenrot bis braun oder schwarz je nach der Korngröße. Anatase wurden in den Einzugsgebieten Zammer-, Zemm-, Flöiten- und Stillupbach oder auch in Spuren in den übrigen Proben aus dem Haupttal der Ziller öfter beobachtet.

Die Morphologie der Kristalle ist tafelig und begrenzt durch (100). Verwachsungen mit anderen titanhaltigen Mineralen sind auch nicht selten. Neben gut geformten und durchsichtigen Kristallen treten auch häufig fast undurchsichtig erscheinende Aggregate auf.

Anatase sind leicht mit gleich gefärbten und nicht immer stengelig ausgebildeten Rutilen zu verwechseln, wenn sich keine Möglichkeit anbietet, den optischen Charakter genau zu bestimmen.

Ansonsten lassen sich Rutil und Anatas gut von einander unterscheiden, da Anatas eine deutlich geringere Doppelbrechung hat als Rutil und eine gute Spaltbarkeit senkrecht zur Hauptachse besitzt. Außerdem erscheint der optisch negative Anatas entgegen dem langnadeligen Rutil oft tafelig und körnig. Als Ausgangsmaterial für Anatas kommen neben Paragenesen der alpinen Klüfte auch Gesteine der schwachen Epimetamorphose wie auch die kristallinen und sedimentären Gesteine in Betracht.

#### 6.2.2.3 Apatit

Apatit ist ein beständiger Bestandteil in sämtlichen Proben. Als Ausgangsgestein für Apatite kommen die meisten magmatischen bzw. metamorphen Gesteine des Einzugsgebietes und die alpinen Klüfte in Betracht, wobei sie primär vorzugsweise aus Graniten stammen können.

Die beobachteten Apatite sind in den meisten Fällen farblos, manchmal auch trüb und sie weisen oft Flüssigkeitseinschlüsse oder Gasblasen auf.

Erfahrungsgemäß wurden die klaren idiomorphen Körner als Kluftapatite der alpinen Klüfte angesehen: In den Proben aus dem Zammerbach bilden die Apatite nicht selten sechsseitige und an den beiden Kanten abgestumpfte und gelegentlich mit Talk ( $D = 2,7 - 2,8$ ) verwachsene Körner. Dagegen sind in den Proben 33 und 34, im oberen Zemm- bach, mehr oder weniger rundliche bis tafelige Körner, ohne deutliche Kanten, anzutreffen.

Als Anwachs- und Begleitminerale wurden außerdem einige Male auch Asbest- oder Epidot-Reste bei frischen, größeren Individuen gefunden.

In allen anderen Proben, vor allem aus dem Tuxbach und dem Zillertal treten auch stark schwarz pigmentierte, xenomorphe bis idiomorphe Körner auf. Diese feinstverteilte Substanz bildet einen in der Längsrichtung der Apatite orientierten Kern, dessen einzelne Aggregate bei starker Vergrößerung winzige schwarze, nadelförmige Individuen, orientiert ebenfalls in der Längsrichtung des Wirtminerals, erkennen lassen.

Aus diesen Beobachtungen und der Untersuchung der Apatite in den frischen Sandproben, die noch keinen nennenswerten Transportweg hinter sich haben, wird klar, daß die in Flußsanden auftretenden verrundeten Körner keinen direkten Hinweis auf die Verrundung der Apatite durch Abrollung geben können. Denn sie besitzen demnach bereits im Ausgangsgestein, nämlich in den kristallinen Schieferen, mehr oder weniger gerundete Formen.

#### 6.2.2.4 Disthen (Cyanit)

Disthen, ein typisches Mineral der regionalmetamorphen Gesteine, wird in der Literatur (z.B. GRIMM 1965), als ein ständiges Akzessor in alpinen Schüttungen erwähnt.

Er gehört dem höheren pT-Bereich der Amphibolitfazies an, kommt aber auch in manchen Granuliten und Eklogiten vor. Das Auftreten von Disthen fällt im Arbeitsgebiet anscheinend nicht mit dem von Staurolith zusammen. Er erscheint in etlichen Proben, in denen man keinen Hinweis auf Vorhandensein von Staurolith finden kann.

Nach eigenen Untersuchungen ist dennoch die Koexistenz von Disthen mit Staurolith in den Gesteinen der Greinerserie als sicher anzusehen. Disthen tritt in sämtlichen Proben als einziger Vertreter der  $Al_2SiO_5$ -Modifikation auf. In den Proben 14, 53 und 54 aus dem Furtschaglgebiet wurden die schönsten und größten Disthenexemplare gefunden.

Die angegebenen Disthenminerale in den bearbeiteten Proben dürften in Wirklichkeit etwas größer sein als sie hier dargestellt sind: Denn bei der Zusammenstellung der Tabelle 7 sind hier nur die Korngrößen bis 0,5 mm bearbeitet worden. In den Proben aus dem äußersten Süden des Arbeitsgebietes treten aber Disthenkörner auch etwas häufiger in den gröberen Fraktionen auf. Vor allem ihre langgestreckte Form verhindert, daß die Körner reibungslos durch die Siebmaschen laufen.

Der Disthen hat oft, wenn es sich um die seltenen, klaren Exemplare handelt, eine ungleich verteilte Farbe, die von bläulichen Randzonen zur Mitte hin ins Weiße verläuft. Die Morphologie ist prismatisch bis langprismatisch mit fast immer deutlich erkennbaren Spaltformen, die auf (100) liegen. Sehr typisch für diese leistenförmigen Körner ist, daß sie von ausgeprägten rechtwinkligen Spaltrissen durchzogen werden. Die Lichtbrechung ist mäßig, die Doppelbrechung niedrig. Die Auslöschungsschiefe beträgt auf (100)  $28^{\circ}$  bis  $30^{\circ}$ . Außer den klaren Körnern treten auch die z.T. durch Graphit dunkel und eisengrau gefärbten Aggregate häufig auf.

Als Verwachsung wurde, und zwar vorwiegend in den drei genannten Proben (14, 53 und 54), häufig Disthen mit Glimmer beobachtet. Manche Einschlüsse im Disthen konnten als Plagioklas oder Quarz identifiziert werden.

Diese können als eingeschlossenes reliktes Interngefüge angesehen werden. Dies wäre dann ein Hinweis auf die syn- bis posttektonische Entstehung und das tauernkristalline Alter dieser Minerale.

#### 6.2.2.5 Epidot (Klinozoisit)

Innerhalb der untersuchten Schwerminerale ist Epidot mit all seinen Varietäten das am häufigsten vorhandene Mineral. Deshalb wird diese Mineralgruppe hier etwas eingehender beschrieben.

Im Dünnschliff: Epidot ist in einem großen Teil der untersuchten Gesteine aus dem Einzugsgebiet verbreitet. Er tritt, als eine typische tauernkristalline Bildung, bevorzugt in den zentralen granitischen bis tonalitischen Gneisen auf. Sein Anteil geht aber in den Gesteinen der Schönachmulde merklich zurück, wobei gleichzeitig der Karbonatanteil zunimmt. In den beschriebenen Hornblendegarbenschiefen (Kap. 3.2.3.1) ist Epidot ein wesentlicher Bestandteil der Grundmasse.

In den erwähnten Gesteinen erweisen sich die Epidote oft als Verdrängungsmineral von Biotit oder als Abbauprodukte von Hornblenden. Als solche besitzen sie häufig winzige Titanit-Einschlüsse. Außerdem kommt Epidot in Form von strahligen Kränzen um Apatit vor. Epidote enthalten als Kern manchmal idiomorphe, wenig isotropisierte Orthite. Mitunter findet man in Epidoten auch ein dichtes Haufwerk von winzigen, stark licht- und doppelbrechenden Teilchen (Titanit?). Aus dem Korngefüge kann man ferner erkennen, daß die Epidotkörner z.T. aus den rekrystallisierten ehemaligen Mikrolithen der Plagioklase hervorgegangen sind. Diese relativ großen Epidotkörner können dann bei den syn- bis posttauernkristallinen Rekrystallisationsprozessen durch die Zerbrechung ihres Plagioklaswirtes ins freie Gefüge gelangen.

Nach KARL (1955) sind die Epidotminerale in voralpidischen granitischen Geröllen aus den paläozoischen Tauern nicht vorhanden. Dies kann als ein weiterer Hinweis für die Mineralneubildung von Epidoten bei der alpidischen Metamorphose betrachtet werden.

Epidote treten ebenfalls auf Klüften der chloritischen Gesteine auf, die sich aber durch ihre nadel-säulchenförmige Gestalt von weingelb bis rötlichgelber Farbe von anderen Epidoten unterscheiden können.

Im Körnerpräparat: Bei der Schwermineraluntersuchung läßt sich aufgrund von Doppelbrechungsbestimmungen ein allgemeines Vorherrschen der Fe-armen Epidote bis Klinozoisite feststellen.

Ein charakteristisches Merkmal der untersuchten Epidote ist das häufige Auftreten der zonaren Exemplare. Bereits BECKE (1903) erwähnte den Zonarbau der tauernkristallinen Epidote. Zu einer petrographischen Erklärung des Zonarbaues jedoch gibt es in der Literatur keine eindeutige Stellungnahme. Solche zonaren Epidote treten fast in allen Proben auf und sind somit in verschiedenen Gesteinen des Einzugsgebietes weit verbreitet. Diese Minerale bringen dann wahrscheinlich die hier abgelaufenen Metamorphoseprozesse zum Ausdruck. Die zonar gebauten Epidote bestehen überwiegend aus einem Fe-reicheren Kern und einer Fe-armen Hülle. In der Schwermineraluntersuchung wird Epidot oft als Leit- oder Hauptmineral für alpine Herkunft aus Ca-reichen kristallinen Schieferferfazies erwähnt.

Er findet sich also auch in Schüttungen aus den epi- bis mesozonal überprägten Zentralalpen. Nach GRIMM (1965) treten Epidote mäßig auch in den meisten moldanubischen Schüttungen in der Molasse auf.

Die Morphologie der Körner ist teils idiomorph und prismatisch, teils rund oder nur bruchförmig. Die Farbe schwankt zwischen gelb bis gelbgrün (Epidot) und farblos (Klinozoisit) mit schwachem bis mäßigem Pleochroismus. Die Interferenzfarbe unter gekreuzten Nicols ist rot bis grün bzw. eine übernormale Farbe.

Wegen seiner sehr guten Spaltbarkeit nach (001) tritt der Epidot im Körnerpräparat meist in Form von Spaltblättchen nach dieser Fläche auf.

Eine Verwechslung zwischen gelbgefärbten Epidoten und Stauroolith ist unter Umständen nicht ausgeschlossen. Bei der Betrachtung des Schwermineraldiagrammes ist eine schwache Abnahme des Epidotgehaltes vom Flußoberlauf zur Flußmündung hin ersichtlich.

#### 6.2.2.6 Granat

Neben Epidot ist Granat die zweit häufigste Mineralart bei der Auszählung. Granate treten in den penninischen Gneisen, Glimmerschiefern und Amphiboliten des Einzugsgebietes sehr häufig auf.

Granat ist wahrscheinlich zum Großteil syntektonisch gebildet. Die Korndimensionen der Granate können je nachdem bei 0,1 mm und darunter oder bis mehrere Millimeter oder Zentimeter Größe liegen. Es wurden außerdem in der Gesteinsserie der Anatexite auch größere Exemplare bis 4 cm gefunden. In den granitischen bis tonalitischen Gneisen taucht er akzessorisch ebenfalls auf. Als Einschlüsse in Granaten wurden sowohl im Dünnschliff als auch im Körnerpräparat verschiedene Minerale wie Quarz, Ilmenit, Rutil, Titanit und Plagioklas beobachtet.

Die Quarzeinschlüsse können hier vielleicht als  $\text{SiO}_2$ -Ausscheidung während der Granatblastese betrachtet werden. Aus zahlreichen Proben wurden Granatkörner unter einem Binokular nach ihren äußeren und unterschiedlichen Merkmalen sortiert und sowohl röntgenographisch als auch nach der Immersionsmethode untersucht. Dabei handelt es sich vorwiegend um Almandine mit kleinen Mengen von Spessartin und noch weniger Grossular und Andradit.

Die Lichtbrechung liegt vorwiegend im Bereich zwischen 1,79 - 1,82.

In den Körnerpräparaten treten oft sehr einschlußreiche Granate auf, die unter gekreuzten Nicols nicht mehr vollständig isotrop erscheinen. Außerdem zeigen viele Granate einen Zonarbau.

Ferner weisen sie im Körnerpräparat vielfach unregelmäßige, splittrige Bruchstücke auf. Sie können aber auch als isometrische Körner und idiomorph nach (110) auftreten. Ihrer Farbe nach gibt es farblose, rote und rosarote Varietäten.

Auffällig ist das Auftreten des Granats in der gröberen Fraktion. Die Oberfläche einiger Körner hat mitunter ausgefressene Vertiefungen. Granat taucht in den alpinen Schüttungen als Hauptmineral auf.

Aus moldanubischen Liefergebieten erwähnt RITTER (1953) in einigen oligozänen und untermiozänen Schüttungen höhere Granatgehalte.

#### 6.2.2.7 Orthit

Orthit (Allanit im englischen und französischen Sprachgebrauch) ist ein akzessorisches Mineral in den granitischen bis tonalitischen Gesteinen sowie Quarzphylliten des Einzugsgebietes.

Da die optischen Eigenschaften von Epidot und Orthit speziell in den vorliegenden Schwermineralen einander z.T. sehr ähnlich sein können, so besteht hier die Gefahr, daß man bei den üblichen schnellen Bestimmungsverfahren Epidote mit höherem Eisen (III)-Gehalt als Orthit und umgekehrt Orthite als Epidot auszählt. Aus diesem Grunde werden hier auch keine Zahlenangaben über Orthitgehalte gemacht. Wo sie aber mit Sicherheit auftreten, wird ihr Vorkommen bei der entsprechenden Probe (Tab. 7, Anhang) ebenfalls erwähnt.

Bereits im Abschnitt "Epidot" wurde erwähnt, daß die Epidote öfter idiomorphe Orthite als Kern enthalten können. Orthitkristalle finden sich vorwiegend in der feinsten Fraktion. In den Proben aus dem Einzugsgebiet des Gerlosbaches sind sie etwas dunkler gefärbt als die aus anderen Gebieten. Die Farbe kann von dunkelrotbraun bis gelbbraun-gelbgrün-hellbraun variieren. Die Licht- und Doppelbrechung ist relativ hoch, während die Kornform meist idiomorph ist. Aufgrund der hier gemachten Beobachtungen und Erfahrungen ist es nicht ganz unwahrscheinlich, daß der Orthit sich teilweise sekundär in Epidot umgewandelt hat, und zwar während der alpidischen Metamorphose. KARL (1959) nimmt allerdings an, daß die Orthite sowohl autometasomatisch als auch frühtauernkristallin gebildet sein können.

#### 6.2.2.8 Rutil

Rutil ist als Durchläufermineral in untergeordneter Menge weit verbreitet. Daher ist er als Akzessor für alpine und moldanubische Schüttungen untypisch. Rutil ist in allen untersuchten Proben, wenn auch manchmal nur spärlich, vorhanden.

Drei Minerale, nämlich der häufigere Rutil, der seltene Anatas und der noch seltenere Brookit, stellen gemeinsam die Dreiergruppe der zwar chemisch gleichen, aber kristalloptisch verschiedenen Vertreter der  $TiO_2$ -Minerale dar.

Interessant ist die Feststellung, daß die knieförmig gebeugten oder wiederholt geknickten Rutilkörner in den Proben aus dem Furtschaglgebiet auffallend häufiger auftreten als in den übrigen Proben.

Außer diesen Zwillingen mit einem Winkel von  $114^{\circ} 25'$  oder sogar Drillingen erscheinen auch solche von langgezogener Nadelform oder gekrümmte Individuen.

Es finden sich auch nicht selten sehr dunkle und anscheinend eisenreiche Exemplare, die man wahrscheinlich als "Ilmenorutil" auffassen könnte.

Der Rutil kommt aber im Normalfall in langgestreckten oder kurzprismatischen bis fast körnigen Kristallbruchstücken vor. Die Farbe der Rutilite variiert zwischen rotbraun, gelbbraun, dunkelgelb bis tiefbraun mit schwachem Pleochroismus. Ferner wurden manchmal auch sagenitische Rutilite beobachtet. In den Hornblendegarbenschiefern lassen sich Titanit - Ilmenit - Rutil - Anreicherungen in der Grundmasse nachweisen. Sie erstrecken sich hier bevorzugt quer über die Korngrenzen der größeren Minerale.

#### 6.2.2.9 Scheelit

Scheelit erscheint in den Proben aus dem Tuxbach und der Ziller in beträchtlichen Mengen. In vielen anderen Proben aus dem Zemmgrund und dem Gerlostal aber ist er spärlich, doch nachweisbar vorhanden.

So ist es möglich, daß die Wolframminerale im Bereich des Einzugsgebietes neben der Scheelitalagerstätte innerhalb der Tuxer Phyllitserie auch im Penninikum der Zillertaler Alpen vorkommen können.

Die Scheelitalagerstätte Tux wurde von WENGER (1964) ausführlich beschrieben. Nach diesem Autor begleiten folgende Minerale die Scheelitvererzung: Tungstein, Apatit, Quarz, Pyrit, Chlorit, Prochlorit, Albit, Wolframit, Molybdänglanz, Graphitische Substanz, Dolomit, Magnesit, Pistomesit, Mesitin, Hydrotungsit, Kupferkies und Epsomit (Bittersalz). Im Körnerpräparat erscheint Scheelit im Normalfall farblos mit starkem Relief. Durch seine hohe Lichtbrechung (1,918 - 1,936) unterscheidet er sich von anderen Begleitmineralen. Die meisten Körner sind undulös und lassen wegen ihres spröden Aufbaues und die dadurch entstandenen Scheelitzerreibsel (Mylonit) das Licht schlecht oder nur fleckhaft durch.

Die Kornform ist rhombenähnlich ohne eine gradlinige Kornbegrenzung. Die Polarisationsfarben sind ungefähr die des Quarzes. Der optische Charakter ist einachsigt positiv.

#### 6.2.2.10 Staurolith

Zu den sehr selten auftretenden Mineralen zählt der Staurolith. In den Glimmerschiefern aus dem Gebiet Stillupstal wurde Staurolith nur in sehr geringer Menge nachgewiesen. In den Proben aus dem Furtschagltal erscheinen neben Disthenkristallen winzig kleine Staurolithkriställchen.

Die Staurolithkörner liegen häufig als gelbe bis rötlichbraune, unregelmäßige bzw. scharfkantige Kristallbruchstücke ohne Beziehung zur Kristallform vor.

Die Staurolithe haben allerdings in den Körnerpräparaten eine wesentlich intensivere gelbbraune Färbung als man das im Dünnschliff kennt.

Als Einschlüsse wurden gelegentlich Klinozoisit und nur selten Quarz (?) vermutet.

Die Erkennung des optisch zweiachsig positiven Charakters ist nicht immer gewährleistet. Einige Körner erscheinen auch fast undurchsichtig. Die Licht- und Doppelbrechung ist mäßig hoch mit einer unvollkommenen Auslöschung.

#### 6.2.2.11 Titanit (= Sphen)

Titanit kann sich in der Epi- und Mesozone wie auch bei der Kontaktmetamorphose aus Titanoxid mit Calcit und Quarz bilden. In einigen dieser Gesteine treten z.T. gelblich weiße, meist undurchsichtige, unregelmäßige Häufchen auf, die als Leukoxen identifiziert wurden. Bei stärkerer Vergrößerung besteht diese gelblichweiße Masse aus lauter winzigen Einzelindividuen. Manchmal sind auch kleine Ilmenitkörnchen von sehr feinkörnigem Leukoxen gemenge umschlossen.

Im Körnerpräparat existieren auch farblose bis blaßbraune, unregelmäßig begrenzte Körner oder nur Bruchstücke. Bei gekreuzten Nicols zeigen sie eine auffällige Dispersion.

In den Proben aus dem Furtschaglgebiet treten einige gutausgebildete und größere Exemplare von farblos bis rötlich auf.

#### 6.2.2.12 Turmalin

Turmalin kann im Bereich der Metamorphose theoretisch in allen Stufen vorkommen. In den phyllitischen Gesteinen des Arbeitsgebietes treten z.B. sehr kleine Turmalin-Nädelchen auf, die sich diagenetisch bis epizonal gebildet haben können. Größere Kristalle wurden in den Chloritschiefern aus dem Bereich vom Pfitscherjoch beobachtet.

Andere Ausgangsgesteine sind granatführende Glimmerschiefer, Gneise, Amphibolite und granitische bis tonalitische Gesteine. Die Turmaline haben in den vorliegenden Proben hauptsächlich oliv-braune, seltener rötlich-braune Farbtöne.

Der Pleochroismus ist oft sehr auffallend. Die Kornform ist in der Regel idiomorph, prismatisch mit abgebrochenen Enden bis fast quadratisch. Die Querschnitte sind dreieckig ausgebildet, wobei viele Körner von wolkenförmig verteilten, winzigen Einschlüssen opaker Eisenerze durchschwärmt sind.

Die Lichtbrechung ist mäßig, bisweilen aber ziemlich hoch.

#### 6.2.2.13 Zirkon

Zirkon ist das am häufigsten beschriebene Schwermineral. Daher wird an dieser Stelle, um nur einige zu nennen, zuerst auf folgende Literatur hingewiesen:

CHRUSTSCHOW (1868), FRASL (1963), HOFMÄNNER (1962), HOPPE (1962 a, 1962 b, 1963), LIST (1965), POLDERVAART (1950, 1955, 1956), SAXENA (1966).

In den vorliegenden Proben treten zwei Gruppen von Zirkon auf. Die eine Gruppe besteht aus Zirkonen mit gut ausgebildeten Kristallflächen (Formen). In der zweiten Gruppe herrschen mehr oder weniger gerundete Kornformen vor; eine kristallographische Umgrenzung ist nicht gut zu erkennen. Diese letzt genannte Gruppe stellt schätzungsweise weniger als 15% des gesamten Zirkonanteiles dar.

Die Verteilung der gerundeten und der idiomorphen Zirkone ist in den Proben z.T. sehr unterschiedlich.

Man unterscheidet ein konzentriertes Auftreten der idiomorphen Zirkone im südlichen Teil des Arbeitsgebietes (Zemmgrund) von einer gemischten - gerundeten wie auch idiomorphen - Zirkonzusammensetzung im westlich (Tux) bis nördlichen Teil des Gebietes.

Die Farbe der Zirkone ist farblos bis rötlich. Ihr Habitus ist kurz- bis langprismatisch. Die Einschlüsse in den Zirkonkristallen sind mannigfaltig.

Als Einschlüsse konnten z.B. Gasblasen und Kriställchen (wohl ebenfalls Zirkone), die auch sehr langgestreckt sein können, identifiziert werden.

#### 6.2.2.14 Zoisit

Zoisite kommen im Dünnschliff mehr als Mikrolithenfüllung in Plagioklasen vor, die man optisch schlecht von gleichartig auftretenden Klinozoisitmikrolithen unterscheiden kann.

In dem aus zerkleinerten Gneisen und Plagioklasamphiboliten gewonnenen Schwermineralkonzentrat findet man häufiger einige größere Zoisite. Diese Körner lassen sich dann polarisationsmikroskopisch und nach der Immersionsmethode genauer untersuchen. Danach bestehen die Körner aus  $\rho$ -Zoisit im Korninneren und  $\rho$ -Zoisit in den Randzonen.

Die Morphologie der Körner ist im Körnerpräparat meist unregelmäßig begrenzt und splittrig oder rund, von farbloser Erscheinung. Die Interferenzfarben sind z.T. anomal blau. Der Charakter der Auslöschung in Längsschnitten ist wechselnd. Licht- und Doppelbrechung des Zoisit haben annähernd die gleichen Werte wie die vom Klinozoisit.

Zoisit gilt als typisches Akzessor in alpinen Schüttungen in enger Vergesellschaftung mit Epidot (GRIMM 1965). Nach diesem Autor tritt Zoisit in den Sedimenten aus dem Moldanubikum, auch ohne Epidot, vereinzelt auf.

#### 6.2.2.15 Andere Schwerminerale

Neben den oben beschriebenen Schwermineralen treten eine Reihe anderer Schwerminerale in den Proben auf, von denen der größte Teil bei der Auszählung nicht mehr berücksichtigt wurde.

Die Gesamtheit dieser Minerale kann man in zwei Gruppen einteilen:

Hauptanteil : Glimmer, Karbonat, opake Anteile, Chlorit

Nebengemengteil : Spinell, Baryt, Chloritoid, Anatas, Korund, Orthopyroxen, Magnesit, Xenotim.

Das Vorhandensein dieser Minerale in den Proben - mit Ausnahme von Glimmern - ist allerdings bei der Tab. 7 jeweils erwähnt.

Im folgenden sollen die wichtigen Minerale dieser Untersuchungsreihe kurz beschrieben werden:

##### *Chlorit*

Chlorit, der bei der Schwermineralanalyse eine wichtige Rolle spielt, konnte bei der Auszählung nicht berücksichtigt werden. Der Grund dafür war der hohe Glimmeranteil in den meisten Proben. Bei der Entfernung der Glimmer geht nämlich ein großer Teil der Chlorite verloren.

In dem Hornblendegarbenschiefer sind die Schichtsilikate ein wichtiger Bestandteil. Chlorit kommt außerdem in Biotit-Hornblende-Gneisen, in phyllitischen Glimmerschiefern, in Serpentiniten, Amphiboliten und in Kluftparagenesen oder auch als diaphoritisches Umwandlungsprodukt von Biotit vor. Die auftretenden Chlorite liegen nach röntgenographischen Untersuchungen hauptsächlich im Bereich der Mg-Fe-Chlorite. Man kann sie als Rhipidolithe oder als Prochlorit-Rhipidolithe bezeichnen.

Die Farbe der Chlorite variiert zwischen farblos-hellgrün bis blaß gelblich. Die Interferenzfarbe zeigt eine grüngraue bis grünbraune und manchmal dunkelblaue Färbung. Die Spaltblättchen sind unregelmäßig abgebrochen.

##### *Glimmer*

Eine große Anzahl von Glimmern mit der Dichte größer als 2,9 geht bei der Schwererentrennung ebenfalls in die Schwermineralkonzentrate über. Zu dieser Glimmergruppe gehört hier vor allem die Biotit-Reihe.

Biotite kommen in den massigen bis schwach gneisigen Tonaliten oder Graniten vor.

Aus den alpidisch deformierten Gneisen geht hervor, daß der Biotit alpin umkristallisiert ist. Er war wahrscheinlich ein Bestandteil der prämetamorphen Gneise des Zentralbereiches. Man findet in den meisten Proben Biotite mit sehr feinen Sagenit-Gittern oder auch Titaniteinschlüssen.

In den Proben treten sowohl braune als auch tiefgrüne Biotite auf. Der Pleochroismus ist dementsprechend hellgrün bis dunkelgrün und hellbraun bis dunkelbraun.

Die grünen Biotite unterscheiden sich von den ebenfalls grünen Chloriten gelegentlich durch etwas höhere Lichtbrechung. Außerdem haben Chlorite oft anomale Interferenzfarben.

##### *Karbonate*

Manche Schwermineralanalytiker ermitteln aus einer Schwermineralzusammensetzung die Karbonatgehalte und geben das als Karbonatanteil des 100%-igen Gesamtmineralgehalts an. Dies stellt aber ein völlig verzerrtes Bild des Karbonatgehaltes im Sediment dar: Die Karbonatminerale, z.B. Calcit, Magnesit und Dolomit, haben nämlich eine

Dichte von 2,6 bis über 3. So ist es klar, daß bei Schwereretrennung mit Tetrabromäthan ( $D = ca. 2,9$ ) nur ein Teil dieser Minerale gewonnen wird. Aus diesem Grunde wurde hier auch keine statistische Erfassung des Kohlenstoffgehaltes in den Schwermineralen vorgenommen.

In den Schwermineralproben treten dennoch eine ganze Menge Karbonate, vorwiegend Magnesit und Dolomit, auf. Als karbonathaltige Gesteine gelten in der Hauptsache die sogenannten Bündnerschiefer. Daneben sind die zentralen granitischen und tonalitischen Gesteine z.T. auch karbonatführend.

#### Sulfate

Als Vertreter der Sulfate wurde *Baryt* in einigen Proben aus dem Zillertal beobachtet. Weitere nicht näher untersuchte Minerale sind: Magnetit, Ilmenit, Kupferkies, Pyrit, Korund, Hämatit, Maghemit, Orthopyroxen und Titanomagnetit.

Da die angewandte Methodik keine mehr ins Einzelne gehenden Bestimmungen der opaken Minerale zuläßt, so wurde nur der Bestand des ferromagnetischen Anteiles ermittelt (Tab. 8, Anhang).

#### 6.2.3 Mineralgesellschaften

Probe Nr.	Haupt- und Nebenbestandteile	Probe Nr.	Haupt- und Nebenbestandteile
1	EGHZo-Ap, Ak, Zi, Di	31	EZo-G, Zi, H, Ap, Tu
2	GEHZo-Ak (Sch)	32	EHG-Zo, Di, Zi, Rt, Ak
3	GEH-Zo, Zi, Ap	33	GEHZi-Zo, Rt, Tu, Ak, Ap
4	GEH-Ak, Ap, Zo, Di	34	EGHZo-Zi, Ak, Rt, Tu, Di
5	EG-H, Zi, Ap, Zo	35	EGH-Zo, Ak
6	EGH-Zo, Zi, Ap	36	EGHZo-Zi, Ap, Ak, Di (Sch)
7	EGH-Ap, Zo, Zi, Ak, Rt	37	EGHZo-Zi, Ap, Ak, Rt
8	EGZi-Zo, H, Ap, Rt, Tu, Tit (Sch)	38	GEH-Zo, Zi, Ap
9	EZiZo-Ap, H, Rt, Tu (Sch)	39	EGH-Zo, Zi
10	EGZiZo-H, Ap, Tu, Rt	40	GEH-Zo, Zi, Ap
11	GEH-Zi, Rt, Ak, Tu, Di, Zo, Tit	41	EGH-Zo, Ap, Ak, Zi, Rt
12	EGH-Zo, Di, Ak, Ap, Rt	42	EHG-Zo, Ap, Zi
13	EG-H, Zo, Rt, Ap	43	EG-H, Zo, Zi, Di, Tu, Ak, Ap, Tit (Sch)
14	EHGAK-Zi, Rt, Zo, Di, Tu, Tit	44	EGH-Zo, Di, Zi
15	EHG-Zo, Zi, Di, Ak, Rt	45	EGH-Zo, Zi, Ap, Ak (Sch)
16	EGH-Zo, Zi, Ap, Ak, Rt	46	GEH-Zo, Ak, Zi, Di
17	EGHZi-Zo, Ap	47	EZiG-H, Rt, Tu, Ap, Tit (Sch)
18	EGH-Zo, Zi, Ap	48	EGH-Ak, Zi, Zo, Rt
19	EGHZo-Rt, Zi, Ak	49	GEH-Ak, Zo, Zi, Ap, Tu
20	EGH-Rt, Zo, Zi, Ak, Ap, Tu, Di	50	EGH-Zo, Zi, Ak, Ap, Rt
21	EGHZi-Ap, Zo, Ak, Rt	51	EGHZoAk-Ap, Zi, Rt
22	EGH-Zo, Zi, Ap (Sch)	52	EHG-Zo, Di, Ak, Zi
23	EGZi-H, Rt, Tu, Ap (Sch)	53	EHGAK-Zi, Rt, Zo, Ap, Tu, Tit
24	EGH-Zi, Rt, Ak (Sch)	54	HEGZoAk-Ap, Zi, Di
25	EGH-Zi, Zo, Ak, Rt	55	GEH-Zi, Rt, Ak, Di, Tu, Zo
26	AKEH-G, Ap, Zi (Opx)	56	EHG-Zo, Ak, Ap, Zi, Rt
27	EG-H, Ap, Tit, Zo, Zi (Opx)	57	EZo-Tu, G, H, Rt, Ap, Zi, Di (Sch)
28	EH-G, Ap, Rt, Zi, Zo (Opx)	58	
29	EGHZo-Rt, Zi, Ak, Ap, Tu	59	keine SM-Analyse
30	EGH-Zo, Zi, Ak, Rt, Tu, Tit, Ap	60	
		61	EHG-Zo, Di, Ak, Zi

Tab. 6: Schwermineralgesellschaften der einzelnen Proben

Der oben aufgezeigten Schwermineralanalyse zufolge herrscht im Einzugsgebiet eine EGH-Gesellschaft (= Epidot-Granat-Hornblende-) mit einem wechselnden Bestand an Akzessorien vor. Diese Schwermineralkombination kann sich innerhalb der Proben jeweils zugunsten einer der drei Komponenten verschieben. Dennoch dominiert der Epidot mit wenigen Ausnahmen in fast allen Proben. Daneben liegen hier noch einige seltenere Schwermineralkombinationen vor, die man normalerweise in Sedimenten nicht wiederfindet (Tab. 7).

Das Auftreten dieser Kombinationen, wie etwa AkEH-, EZiZo- und EGHZo-Gesellschaften, läßt sich durch die sehr kurze Wegstrecke von der Probeentnahmestelle zu anstehenden Gesteinen erklären. Die Zusammensetzung der Proben ist also stellenweise durch die jeweils vorherrschenden Liefergesteine stark beeinflusst.

Der ständige Hauptbestandteil der Schwermineralfraktionen ist somit der Epidot. Mit Abstand folgen dann die Minerale Granat und Hornblende, vorwiegend als Hauptbestandteil und gelegentlich auch als Nebenbestandteil. Dagegen liegen die Zirkon-, Zoisit- und seltener auch die Aktinolith-Minerale normalerweise als Nebenbestandteil und nur gelegentlich auch als Hauptbestandteil vor.

Weitere Nebenbestandteile sind: Apatit, Disthen, Rutil, Turmalin und Titanit.

Scheelit kann regional in einigen Proben (Tuxbach) ebenfalls in relativ größeren Mengen auftreten.

Die Akzessorien setzen sich aus Mineralen der Nebenbestandteile zusammen. Augenfällig sind bei der Analyse also zwei Schwermineralassoziationen, nämlich:

Epidot-Granat-Hornblende-Assoziation mit Apatit oder Zirkon und

Epidot-Assoziation mit Granat, Hornblende und Zirkon.

Als Ausgangsgesteine wurden bereits die kristallinen Serien des Penninikums und die unterostalpinen Gesteine mit einer epi- bis mesozonalen Umprägung erwähnt.

Vergleichbare Schwermineralkombinationen finden sich u.a. in den Arbeiten von HAHN (1965) als EGH-Zi-Gesellschaft für den Alpenrhein (Rheinwaldprovinz) und bei GRIMM (1965) als GE(H)-Gesellschaft für die jüngeren Molasse-Sedimente.

## 7. FEHLERBETRACHTUNG

Fehler bei der Schwermineralanalytik können durch verschiedene, mit Ungenauigkeiten behaftete Arbeitsgänge verursacht werden.

Für die Suche nach eventuell auftretenden Fehlern kann man die Gesamtanalyse einer Probe zunächst in folgende Schritte aufteilen:

- a) die Probe: Probennahme, Probenaufbereitung, Probenteilung und Siebung
- b) Dichtentrennung und Trennung durch Magnetscheider
- c) die Bestimmung der einzelnen Minerale
- d) die Angaben über die gewichtmäßigen Anteile und Verteilung der Minerale
- e) schließlich die Auswertung der Analysenergebnisse.

zu a) Eine genaue und repräsentative Probennahme ist die wichtigste Voraussetzung für alle weiteren Untersuchungen. Im Falle der Flußsedimente konnte dies bestens befolgt werden, da das Flußsystem bekannt war und nur frische rezente Flußsande genommen wurden. Dagegen können durchaus bei den Gesteinsproben Fehler auftreten. Denn hier wird mehr oder weniger von nur wenigen Handstücken ausgehend ein großer Gesteinskomplex extrapoliert. Dies wird um so deutlicher, je inhomogener das Gesteinsvorkommen ist. Diese Überlegung wird wahrscheinlich auch dadurch belegt, daß, wie an einer anderen Stelle schon erwähnt, zwischen Schwermineralgruppen aus den Sandproben und denen aus den Gesteinsproben keine quantitative, wohl aber eine qualitative Obereinstimmung besteht.

Weitere Fehler bei der Aufbereitung der Probe und bei der Sieb- und Schlämm-Analyse lassen sich fast vermeiden, wenn man sich genau an die beschriebenen Verfahren hält. Dazu gehört auch die Säurebehandlung und Berücksichtigung der Säurebeständigkeit der einzelnen Minerale.

zu b) Hier steht die Wahl der richtigen Schwereflüssigkeit mit dem entsprechenden Verdünnungsmittel im Vordergrund.

Verschiedene Faktoren, die zu einem Fehler führen können, lassen sich stichwortartig aufzählen: Korngröße, unterschiedliche Dichte der Minerale, die angegebene Menge der zu trennenden Probe, Abkühlung oder Erwärmung der Flüssigkeit während des Trennverfahrens.

zu c) Zu diesem Punkt kann man sagen, daß die Schwermineralanalytiker zuerst individuell verschiedene Fehler machen. Dennoch gibt es bei der Identifizierung der Minerale unter einem Mikroskop allgemein gültige Fehler, die durch xenomorphe Ausbildung oder Verwitterung der Körner verursacht werden. Solche Fehler dürften in der vorliegenden Arbeit aber sehr gering sein, da hier vorwiegend mit frischen und idiomorphen Mineralen gearbeitet wurde.

Außerdem wurden die mikroskopischen Befunde durch Röntgenuntersuchungen kontrolliert. Dennoch ist eine Verwechslung oder falsche Identifizierung einiger weniger Minerale auch hier nicht ausgeschlossen.

zu d) Nach zwei verschiedenen Verfahren wurden hier quantitative Angaben über die Zusammensetzung der Schwerminerale gemacht:

Die Angaben über die Gesamtschwermineralgehalte der einzelnen Fraktionen geschah durch Einzelwägung, die Angaben über die Schwermineralassoziationen durch Auszählen der Minerale. Die möglichen Fehler sind vorwiegend von der Zahl der gezählten Körner abhängig.

Mit dem Problem der Auszählung haben sich viele Autoren befaßt:

ANDRÉE (1936), BLANKENBURG (1964), CLAUS (1936), GÜRZ (1962), GROBA & LUDWIG (1956), HALLBAUER (1961), HARTMANN (1955), HOPPE (1959), HUCKENHOLZ (1959), PILLER (1954), ROTHER (1958), SCHNEIDERHÖHN (1957), STÖFFLER (1963), VOELKER (1937), WEYRICH (1963).

Entsprechend der oben aufgeführten Literatur betragen die durch Auszählen verursachten Fehler für die vorliegenden Untersuchungen 0 - 4,3%. Die Größe des tatsächlichen Fehlers richtet sich nach dem prozentualen Anteil der einzelnen Mineralgruppen in einem Gemisch.

zu e) Diese Fehler können hier fast vernachlässigt werden, denn die Schwermineraluntersuchungen befassen sich mit einem Gebiet, das zum großen Teil bekannt und petrographisch beschrieben ist. Dies ist einerseits geschehen durch zahlreiche unmittelbar oder allgemein über das Gebiet verfaßte Literatur und andererseits durch eigene petrographische Beobachtungen. Einige Fragen, wie Herkunftsbestimmung, Verwitterungserscheinungen, genauere Charakterisierung verschiedener Mineralfazien waren entweder nicht Gegenstand dieser Arbeit oder es kam zu keiner Fehldeutung der Schwermineralanalyse.

Bei aller Vorsicht, die derartigen qualitativen oder quantitativen Mineralbestimmungen gegenüber angebracht ist, läßt sich dennoch sagen, daß beim Auszählen eine sinnvolle Genauigkeit vorliegt.

## 8. SCHLUSSBEMERKUNG

Die vielen sedimentpetrographischen Untersuchungen in der Molasse bestätigen die alpine Herkunft der GE(H)-Sedimente (MOOS 1935, ZÜBELEIN 1940, FÖCHTBAUER 1958).

Will man den Ursprung dieser Molasse-Sedimente in ähnlichen Gesteinen wie denen des Arbeitsgebietes suchen, so stellt man in der Molasse eine Verschiebung des ursprünglichen Schwermineralspektrums zugunsten des Granats fest. Dies bedeutet eine Ausmerzungen von Epidot und Hornblende mit gleichzeitiger Anreicherung von Granat, was sich auch mit der bekannten Stabilitätsreihe der Minerale sehr gut vereinbart.

Hinsichtlich der unterschiedlich stabilen Minerale kann bei der Endlagerung des Sedimentes aus den hier vorhandenen Schwermineralkombinationen auch eine völlig andere Schwermineral-Gesellschaft entstehen. Eine solche Gesellschaft wäre z.B. die TuZiRt- bzw. TuZiG-Assoziation. Voraussetzung dafür sind natürlich jene vielfältigen geologischen Bedingungen, die zur Ausmerzungen bzw. Anreicherung der verschiedenen Komponenten im Sediment führen.

In dieser Arbeit wurden, wie eingangs erwähnt, aus etlichen Gesteinen durch Zerkleinerung Schwerminerale gewonnen und mit denen in den Sandproben verglichen.

Daraus lassen sich folgende Überlegungen ableiten:

Die qualitative Zusammensetzung der Schwerminerale in den Gesteinen deckt sich völlig mit der aus Sandproben.

Quantitativ lassen sich die Schwermineralgehalte der Gesteine mit denen in den Sandproben schwer vergleichen: Die Ursache liegt wahrscheinlich in der Analyse selbst. Denn es ist nicht realistisch zu glauben, daß man bei dieser einfachen Analysenart alle Gesteine und Faktoren zu berücksichtigen vermag, die zur Entstehung des Sedimentes beigetragen haben. Außerdem können alle Liefergesteine nicht repräsentativ erfaßt worden sein.

Durch das Zerkleinern der Gesteinsproben zur Gewinnung von Schwermineralen werden die einzelnen Minerale z.T. auch in Mitleidenschaft gezogen. Dies erschwert eine morphologische Vergleichsstudie der Minerale aus den Gesteinsproben mit denen aus den Sandproben.

Mit anderen Worten zeigen die gewonnenen Minerale der Gesteine mehr Mineralbruchstücke als die von Sedimenten, die sich aufgrund der natürlich bedingten Gesetzmäßigkeiten gebildet haben.

Die Transporteinwirkung ist für die meisten Körner sehr gering. Es findet keine große spezifische Umgestaltung oder Abrundung der Körner statt. Dadurch bleibt auch eine aussagekräftige Verschiebung innerhalb der Mineralgesellschaften mehr oder weniger aus.

Dennoch ist eine generelle Verkleinerung der Körner auf dem Weg vom Liefergebiet bis zur Flußmündung nicht zu übersehen. Dies stimmt allgemein mit der Korngrößenanalyse des Gesamtsedimentes überein.

Die Verkleinerung unterliegt allerdings auch folgender Täuschung: Da die kleineren Körner rascher transportiert werden können, kommt es so, mit der Entfernung zum Liefermaterial, zu einer Anreicherung solcher Körner.

Noch eine Fülle von anderen Faktoren, die aus der Korneigenschaft und dem Transportmechanismus resultieren, spielen hier sicher eine Rolle (siehe FOCHTBAUER 1977 und ENGELHARDT et al. 1973).

9. LITERATURVERZEICHNIS

- ANDEL, Tj. H. van (1950): Provenance, transport and deposition of Rhine sediments.- Diss. H. VEEHMAN & ZONEN, 129 S., Wageningen.
- (1951): Petrology of Durance river sands.- Proc. IIIrd Int. Congr. of Sedimentology, 43 - 56, Groningen-Wageningen.
- (1952): Zur Frage der Schwermineralverwitterung in Sedimenten. II. Fazielle Bedingungen und stratigraphische Bedeutung.- Erdöl und Kohle, 5, 100 - 104, Hamburg.
- ANDRÉE, H. (1936): Die Schwermineralien der älteren oberbayerischen Molasse.- Neues Jb. Mineral., Beil. 71 A, 59 - 120, Stuttgart.
- ANGENHEISTER, G., BÜGEL, H., MORTEANI, G. (1975): Die Ostalpen im Bereich einer Geotraverse vom Chiemsee bis Vicenzia.- Neues Jb. Geol. Paläont. Abh., 148, 50 - 137, Stuttgart.
- BECKE, F. (1903a): Über Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer.- Denkschr. d. Akad. d. Wiss. math. nat. Kl., 75, 1 - 53, Wien.
- (1903b): Petrographische Untersuchungen der Krystallinen Gesteine der Zentralkette der Ostalpen.- Denkschr. der math.-nat. Kl. d. Ak. d. Wiss., 75/I, Wien.
- BECKE, F. & LÖWL, F. (1903): Exkursionen in den westlichen und mittleren Tauern.- IX. Int. Geol. Kongr. Wien.
- BESANG, G., HARRE, W., KARL, F., KREUZER, H., LENZ, H., MÖLLER, P. & WENDT, I. (1968): Radiometrische Altersbestimmungen (Rb/Sr und K/Ar) an Gesteinen des Venediger Gebietes (Hohe Tauern, Österreich).- Geol. Jb., 86, 835 - 844, Hannover.
- BLÄNKENBURG, H.-J. (1964): Schwermineraluntersuchungen an einigen Sandproben von der Halbinsel Darß-Zingst.- Silikatechnik, 15, H. 12, 394 - 398, Berlin.
- BLANKENBURG, H.-J. & JAGUSCH (1964): Mögliche Fehler bei Schwermineraluntersuchungen.- Z. angew. Geol., 10, 640 - 650, Berlin.
- BRAUNE, K. (1973): Die rezenten und pleistozänen Sedimente des Sublitorals von Kephallinia (Ionische Inseln).- Senckenbergiana Marit., 5, 99 - 133, Frankfurt/Main.
- BULOW, K. V. (1951): Schwermineralseifen an der mecklenburgischen Ostseeküste.- Archiv für Lagerstättenforsch., 81, Leoben.
- BUSCHENDORF, L. (1965): Petrographische Untersuchungen an metamorphen Gesteinen des westlichen Großvenedigers (Ostalpen).- Verh. Geol. B.-A., 1965, 168 - 187, Wien.
- CHOUDHURE, A. & WINKLER, H.G.F. (1967): Anthophyllit und Hornblende in einigen metamorphen Reaktionen.- Contr. Mineral. Petrol., 14, 293 - 315, Berlin.
- CHRISTA, E. (1931): Das Gebiet des Oberen Zemmgrundes in den Zillertaler Alpen.- Jb. Geol. B.-A., 81, 533 - 646, Wien.
- (1934): Das Greiner Schwarzenstein Gebiet der Zillertaler Alpen in geologisch-petrographischer Betrachtung.- Veröff. des Museums Ferdinand. H. 13, Jhg. 1933, 112 S., Innsbruck.
- CHRUSTSCHOW, K. v. (1868): Beitrag zur Kenntnis der Zirkone in Gesteinen.-Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr., Abt. B, N.F. 7, 423, Leipzig.
- CLAUS, G. (1936): Schwermineralien aus kristallinen Gesteinen des Gebietes zwischen Passau und Cham.- Neues Jb. Mineral., Beil. 71 A, 1 - 58, Stuttgart.
- DEECKE, H. (1935): Schwermineral-Untersuchungen zur Paläographie von Jura und Kreide in Norddeutschland.- Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg, 15, 109 S., Hamburg.
- DIETIKER, H. (1938): Der Nordrand der Hohen Tauern zwischen Mayrhofen und Krimml.- Diss. ETH Zürich.
- DORR, F. (1953): Vulkanische Schwerminerale in Bodenprofilen Württembergs.- Neues Jb. Geol. Paläont. Mh., 11, 465 - 472, Stuttgart.
- ENGELHARDT, W. v. (1939/40): Die Unterscheidung wasser- und windsortierter Sande auf Grund der Korngrößenverteilung ihrer leichten und schweren Gemengteile.- Chemie der Erde, 12, 445 - 465, Jena (Gustav Fischer).

- ENGELHARDT, W., FOCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1973): Die Bildung von Sedimenten und Sediment-Gesteinen; Sediment-Petrologie. Teil III.- 378 S., Stuttgart (Schweizerbart. Verl.).
- FAUPL, P. (1975): Schwerminerale und Strömungsrichtungen.- Neues Jb. Geol. Paläont., 148, 528 - 540, Stuttgart.
- FIEDLER, A. (1937): Ergebnisse der Schwermineralanalysen von Geschiebemergeln im mittleren und westlichen Norddeutschland.- Z. angew. Mineral., 1, 313, Berlin.
- (1940): Ergebnisse der Schwermineralanalyse von Geschiebemergeln aus Holland, Dänemark, Oberschlesien und Norddeutschland.- Z. angew. Mineral., 2, 313 - 352, Berlin.
- FOLK, R.L. (1965): A review of grain size parameters.- Sedimentology, 6, 73 - 93, Amsterdam.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. (1957): Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters.- J. Sedim. Petr., 27, 3 - 26, Menasha, Wis.
- FRASL, G. (1958): Zur Seriengliederung der Schieferhüllen in den mittleren Hohen Tauern.- Jb. Geol. B.-A., 101, 323 - 472, Wien.
- (1963): Die mikroskopische Untersuchung der akzessorischen Zirkone als eine Routinearbeit des Kristallingeologen.- Jb. Geol. B.-A., 106, 405 - 428, Wien.
- FRASL, G. & FRANK, W. (1966): Zur Mineralogie und Geologie des Landes Salzburg und der Tauern.- Der Aufschluß, 15, Sonderheft, 30 - 58, Heidelberg.
- FRIEDMAN, G.M. (1961): Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics.- J. Sedim. Petr., 31, 514 - 529, Menasha, Wis.
- (1962): On sorting coefficients and lognormality of the grain-size distributions of sandstones.- J. Geol., 70, 737 - 753, Chicago.
- FOCHTBAUER, H. (1958): Die Schüttungen im Chatt und Aquitan der deutschen Alpenvorlandsmolasse.- Ecl. geol. Helv., 51, 928 - 941, Basel.
- (1963): Zum Einfluß des Ablagerungsmilieus auf die Farbe von Biotiten und Turmalinen.- Fortschr. Geol. Rheinld. und Westf., 10, 331 - 336, Krefeld.
- (1967): Die Sandsteine in der Molasse nördlich der Alpen.- Geol. Rdsch., 56, 266 - 300, Stuttgart.
- FOCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): Sedimente und Sedimentgesteine.- 3. Auflage, 784 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- GEES, R.A. (1965): Moment measures in relation to the depositional environments of sands.- Ecl. geol. Helv., 58, 209 - 213, Lausanne.
- GLAGOLEW, A.A. (1934): Quantitative analysis with the microscope by the point method.- Eng.Min. Journ., 135, 339 - 340, New York.
- GÖRZ, H. (1962): Zur Petrographie des Unterdevons im Westharz.- Beitr. Mineral. Petr., 8, 232 - 266, Heidelberg/Berlin.
- GROBA, E. & LUDWIG, G. (1956): Sedimentologische Untersuchungen zum Erkennen von Entmischungen der Sedimente an der Außenküste von SE-Rügen und im Greifswalder Bodden.- Geologie, 5, H.7, 617 - 641, Berlin.
- GRIMM, W.-D. (1965): Schwermineralgesellschaften in Sandschüttungen, erläutert am Beispiel der süd-deutschen Molasse.- Abh. Bayer. Ak. Wiss., Math.-Naturwiss. Abt., N.F., H. 121, 135 S., München.
- (1973): Stepwise heavy mineral weathering in the Residual Quartz Gravel, Bavarian Molasse (Germany).- Contr. Sedimentology, 1, 103 - 125, Stuttgart.
- GWINNER, M.P. (1978): Geologie der Alpen: Stratigraphie, Paläogeographie, Tektonik.- 2. Auflage, 480 S., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- HAHN, Ch. (1967): Mineralogisch-sedimentpetrographische Untersuchungen an den Flußsanden im Einzugsbereich des Alpenrheins.- Diss., 121 S., Heidelberg.
- HALLBAUER, D. (1961): Die akzessorischen Schwerminerale der westerzgebirgischen Granite.- Neues Jb. Min. Abh., 97, 35 - 50, Stuttgart.

- HARTMANN, J.A. (1955): Origin of Heavy Minerals in Jamaican Bauxite.- *Economic Geology*, 50, 738 - 747, Canada.
- HELLMERS, J.H. (1952): Die Schwerminerale der Sande der deutschen Ostseeküste.- *Geologie*, 1, H. 3, 166 - 192, Berlin.
- HENNINGSEN, D. (1969): Paläographische Ausdeutung Vorzeitlicher Ablagerungen.- Bibliographisches Institut Mannheim, Buch Nr. 839/839a, 170 S., Mannheim.
- HÖCK, V. (1970): Zur Kristallisationsgeschichte des penninischen Altkristallins beim Spannagelhaus (Tuxer Hauptkamm, Tirol).- *Verh. Geol. B.-A.*, 1970, 316 - 323, Wien.
- HOFMANN, F. (1962): Statistische Untersuchungen an Zirkonen des Gamsboden- und Fibbiagneises (Gottshardmassiv).- *Schweiz. miner. petr. Mitt.*, 42, 321 - 325, Zürich.
- HOFMANN, F. (1960): Materialherkunft, Transport und Sedimentation in schweizerischen Molassebecken.- *Jb. St.-Gall. naturwiss. Ges.*, 76, 1 - 28, St. Gallen.
- (1966): Vergleichende sedimentpetrographische Untersuchungen im Südtessin.- *Schweiz. Min. petr. Mitt.*, 46, 97 - 110, Zürich.
- HÖLL, R. & MAUCHER, A. (1967): Genese und Alter der Scheelit-Magnetit-Lagerstätte Tux.- *Sitzungsber. Bayer. Ak. Wiss. math.-nat. Kl.*, 1 - 11, München.
- HOPPE, G. (1951): Die akzessorischen Schwerminerale in Eruptivgesteinen am Beispiel des Ramberggranites und anderer Harzer Gesteine.- *Geologica*, 9, 114 S., Berlin.
- (1959): Die Schwerminerale der tertiären Sande des Geiseltales.- *Geologie*, 8, H. 6, 612 - 624, Berlin.
- (1962a): Die akzessorischen Zirkone aus granitischen Gesteinen der Lausitz.- *Freiberger Forsch. H.*, C 129, 35 - 50, Leipzig.
- (1962b): Petrogenetisch auswertbare morphologische Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen.- *N. Jb. Mineral., Abh.*, 98, 35 - 50, Stuttgart.
- (1963): Die Verwendbarkeit morphologischer Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen für petrogenetische Auswertungen.- *Abh. deutsch. Akad. Wiss. Berlin, Kl. Bergbau*, 130 S., Berlin.
- HUCKENHOLZ, H.G. (1959): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Gesteinen der Tanner Grauwacke.- *Beitr. Min. Petr.*, 6, 261 - 298, Heidelberg/Berlin.
- JAGER, E., NIGGLI, E. & WENK, E. (1967): Rb-Sr-Altersbestimmungen an Glimmern der Zentralalpen.- *Beitr. zur Geol. Karte der Schweiz, Neue Folge*, 134, Lieferung, 67 S., Bern.
- JAGER, E. KARL, F. & SCHMIDEGG, O. (1969): Rb-Sr-Altersbestimmungen an Biotit-Muskowit-Granit-Gneisen (Typus Augen- + Flasergneisen) aus dem nördlichen Großvenedigergebiet (Hohe Tauern).- *Tscherm. Min. Pet. Mitt.*, 3, F., 13, 251 - 272, Wien.
- KARL, F. (1951): Fortsetzung der Tuxer Grauwackenzone im Gerlostal (Tirol).- *Tscherm. Min. Pet. Mitt.*, III. F., 2, 198 - 246, Wien.
- (1956): Die Komponenten des oberkarbonen Nößlach-Konglomerates (Tirol).- *Mitt. geol. Ges. Wien*, 48, 71 - 87, Wien.
- (1959): Vergleichende petrographische Studien an den Tonalitgraniten der Hohen Tauern und den Tonalitgraniten einiger periadriatischer Intrusivmassive.- *Jb. Geol. B.-A.*, 102, 1 - 192, Wien.
- (1966): Über die Zusammensetzung, Entstehung und gesteinsystematische Stellung tonalitischer-granitischer Gesteine.- *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 11, 413 - 438, Wien.
- (1967/68): Bericht 1967 über Aufnahmen Blatt Krimml (151).- *Verh. Geol. B.-A.*, 1967/68, 28 - 30, Wien.
- KASCHANIAN, B. (1977): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Flußsedimenten der Sieber mit einer geologischen Kartierung der nordwestlichen Siebermulde (Harz).- *Unveröffentl. Dipl.-Arb.*, 112 S., FU Berlin.
- KOBER, L. (1912): Ober Bau und Entstehung der Ostalpen.- *Mitt. geol. Ges. Wien*, 5, 368 - 481, Wien.
- (1922): Das östliche Tauernfenster.- *Denkschr. d. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl.*, 98, 201 - 242, Wien.

- KOBER, L. (1923): Bau und Entstehung der Alpen.- 1. Auflage, 283 S., Berlin (Gebrüder Bornträger).
- KUPKA, E. (1956): Zur Geologie von Mayrhofen im Zillertal.- Mitt. Geol. Ges. Wien, 47, 1 - 13, Wien.
- KRUMBEIN, W.C. & PETTIJOHN, F.J. (1938): Manual of Sedimentary Petrography.- New York (Appleton-Century-Crofts, Inc.).
- LADURNER, J. (1954): Mineralführung und Korngrößen von Sanden aus Schlicker Tal (Bohrung) und Stubaital (Tirol).- Jb. Geol. B.-A., 97, 323 - 336, Wien.
- (1956): Korngrößen- und Mineralführung zweier Sande aus der Gnadenwalder Terrasse.- Mitt. Geol. Ges. Wien, 48, 129 - 137, Wien.
- LAGALLY, U. & MILLER, H. (1974): Der Nordrand des Tauernfensters bei Vorderlauerbach, Tirol.- N. Jb. Geol. Paläont.- Mh., 1974, 374 - 384, Stuttgart.
- LAMBERT, R.St. (1964): Absolute Altersbestimmungen an Gneisen aus dem Tauernfenster.- Verh. Geol. B.-A., 1964, 16 - 27, Wien.
- LAMMERER, B., FRUTH, I., KLEMM, D.D., PROSSER, E. & WEBER-DIEFENBACH, K. (1976): Geologische und geochemische Untersuchungen im Zentralgneis und in der Greiner Schiefer Serie (Zillertaler Alpen, Tirol).- Geol. Rdsch. 65, 436 - 459, Stuttgart.
- LEMKE, K., ENGELHARDT, W. v. & FOCHTBAUER, H. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes.- Beih. Geol. Jb., 11, 174 S., Hannover.
- LIST, F.K. (1965): Statistische Untersuchungen an Zirkon und Apatit in Anatexiten des südlichen Bayerischen Waldes.- Geol. Rdsch., 55, 509 - 530, Stuttgart.
- LUDWIG, G. & LUDWIG, H. (1953): Ein Vergleich zwischen Geröll- und Schwermineralanalysen des Porphyrokonglomerates im obersten Rotliegenden des östlichen Harzvorlandes.- Geologie, 2, H. 4 - 6, 431 - 448, Berlin.
- LUDWIG, G. & VOLLBRECHT, K. (1957): Die allgemeinen Bildungsbedingungen litoraler Schwermineralkonzentrate und ihre Bedeutung für die Auffindung sedimentärer Lagerstätten.- Geologie, 6, H. 1-4, 233 - 277, Berlin.
- MOOS, A. v. (1935): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen.- Schweiz. Mineral. Petr. Mitt., 15, 169 - 265, Zürich.
- MORTEANI, G. (1971): Gliederung und Metamorphose der Serien zwischen Stilluptal und Schlegeistal (Zillertaler Alpen, Nordtirol).- Verh. Geol. B.-A., 1971, 287 - 314, Wien.
- (1974): Petrology of the Tauern Window, Austrian Alps.- Fortschr. Mineral., 52, Beih. I, 195 - 220, Stuttgart.
- MORTEANI, G. & RAASE, P. (1974): Metamorphic plagioclase crystallization and zones of equal anorthite content in epidote-bearing amphibole-free rocks of the western Tauernfenster, eastern Alps.- Lithos, 7, 101 - 111, Oslo.
- MÜLLER, G. (1964): Methoden der Sedimentuntersuchung.- 303 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- (1963): Die rezenten Sedimente im Obersee des Bodensees.- Naturwissenschaften, 50, 350 S., Berlin, Göttingen (Springer).
- MÜLLER, G. & HAHN, Ch. (1964): Schwermineral- und Karbonatführung der Fluß-Sande im Einzugsbereich des Alpenrheins.- N. Jb. Mineral. Mh., 12, 371 - 375, Stuttgart.
- MÜLLER, G. & FORSTNER, U. (1968): Sedimenttransport im Mündungsgebiet des Alpenrheins.- Geol. Rdsch., 57, 229 - 258, Stuttgart.
- MÜLLER, G. & SCHÜTTLER, M. (1965): Schwermineral- und Karbonatführung des Flußsandess im Gebiet des Bodensees.- N. Jb. Miner. Mh., 1, 26 - 29, Stuttgart.
- MÜLLER, H. (1948): Die Schwermineralien und ihre Bedeutung.- Achat, 1, Hamburg.
- MÜLLER, F. & TRÜGER, E. (1948): Die Schwermineralverhältnisse in der Subalpinen Molasse bei Kempten.- Erdöl und Kohle, 1, 269 - 273, Hamburg.
- OXBURGH, E.R., LAMBERT, R.St., BAADSGAARD, H. & SIMONS, J.G. (1966): Kalium-Argon-Altersbestimmungen am Südostrand des Tauernfensters (Ostalpen).- Verh. Geol. B.-A., 1966, 17 - 33, Wien.

- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1972): Sand and Sandstone.- 618 S., New York, Heidelberg, Berlin (Springer).
- PILLER, H. (1954): Ober den Verwitterungszustand des Granitgruses vom Fliegenberg westl. Thiersheim (Fichtelgeb.) mit besonderer Berücksichtigung der Schwerminerale.- Heidelberger Beitr. Miner. Petr., 4, 151 - 162, Heidelberg.
- POLDERVAART, A. (1950): Statistical studies of zircon as a criterion in granitisation.- Nature, 165, 574 - 575, London.
- (1955): Zircons in rocks. I. Sedimentary rocks.- Amer. J. Sci., 253, 433 - 460, New Haven.
- (1956): Zircon in rocks. II. Igneous rocks.- Amer. J. Sci., 254, 521 - 524, New Haven.
- POLLACK, J.M. (1961): Significance of Compositional and textural properties of South Canadian River channel sands, New Mexico, Texas and Oklahoma.- J. Sedim. Petr., 31, 15 - 37, Menasha, Wis.
- RAASE, P. (1972): Petrographie und Geologie des Oberen Zillergrundes und Sondergrundes (Zillertaler Alpen, Österreich).- Diss., 164 S., Kiel.
- RITTER, L. (1953): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassegesteinen von Niederbayern und Oberösterreich.- Diss. 87 S., (Mskr.), München.
- ROTHER, R. (1958): Geologische Auswertung von bergmännisch aufgeschlossenen Schichten des Neokom und Schwermineralanalyse in den neokomen Eisenerzen des kleinen Fallstein.- Dipl.-Arb., Geol. Inst. Humboldt-Univ., Berlin.
- RUCHIN, L.B. (1958): Grundzüge der Lithologie; Lehre von den Sedimentgesteinen.- 806 S., Berlin (Akademie Verlag).
- RUDOLPH, H. & SEIM, R. (1961): Untersuchungen zur Korngrößenzusammensetzung und Schwermineralführung der Geschiebemergel von Jasmund, Rügen.- Wiss. Z. Univ. Rostock, 10, 85, Rostock.
- SANDER, B. (1911): Geologische Studien am Westende der Hohen Tauern. I. Bericht.- Denkschr. Akad. d. Wiss., 82, 257 - 319, Wien.
- (1912): Über einige Gesteinsgruppen am Westende der Hohen Tauern.- Jb. K. K. geol. R.-A., 62, 219 - 288, Wien.
- SATIER, M. (1975): Rb-Sr- und K-Altersbestimmungen an Gesteinsproben der westlichen Hohen Tauern und der südlichen Ötztalmasse; Int. Sympos. "Geodynamik der Ostalpen", München/Salzburg (als Mskr. vervielf.).
- SAXENA, S.K. (1966): Evolution of zircons in sedimentary and metamorphic rocks.- Sedimentology, 6, 1 - 33, Amsterdam.
- SCHERIAU-NIEDERMAYER, E. & NIEDERMAYER, G. (1973): Vorläufiger Bericht über die, durch neue Pflanzenfunde belegte, postvariszische Transgressions-Serie aus dem Raum Kötschach in den Gailtaler Alpen, Kärnten.- Ann. Natur-histor. Mus. Wien, 77, 115 - 123, Wien.
- SCHIESSL, K.-H. (1962): Die Verteilung der Schwerminerale in der Süßbrackwassermolasse Niederbayerns.- Diss., 78 S., München (Mskr.).
- SCHMEER, D. (1958): Zur Gliederung der Oberen Süßwassermolasse Bayerns mittels Schwerminerale.- Z. deutsch. geol. Ges., 110, 143 - 151, Hannover.
- SCHNABEL, W. (1970): Zur Geologie des Kalkalpennordrandes in der Umgebung von Waidhofen/Ybbs, Niederösterreich.- Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Wien, 19, 131 - 188, Wien.
- (1970): Die Petrographie der Sandsteine.- Jb. Geol. B.-A., 113, 121 - 147, Wien.
- (1976): Schwermineraluntersuchungen im Variszikum der Karnischen Alpen (Österreich und Italien).- Verh. Geol. B.-A. Wien, 1976, 191 - 206, Wien.
- SCHNEIDERHÖHN, P. (1957): Sedimentpetrographische Untersuchungen einiger Terrassenablagerungen des oberen Euphrat.- N. Jb. Min., Abh., 91, 58 - 88, Stuttgart.
- SCHNITZER, W.A. (1954): Der Schwermineralgehalt der Randfazies des fränkischen Mittleren Keupers in Tiefbohrprofilen.- Erlanger geol. Abh., Heft 11, 49 - 66, Erlangen.
- (1959): Geröll- und Schwermineraluntersuchung im Weißen Main und in der Luhe.- Geol. Bl. NE-Bayern, 9, 50 - 55, Erlangen.

- SCHRÖDER, B. (1962): Schwermineralführung und Paläogeographie des Doggersandsteins in Nordbayern.- Erlanger geol. Abh., Heft 42, 29 S., Erlangen.
- SINDOWSKI, K.-H. (1940): Grundsätzliches zur Schwermineralanalyse der diluvialen Rheinterrassen und Löße des Mittel- und Niederrheingebietes.- Z. deutsch. geol. Ges., 92, 477 - 499, Hannover.
- STRECKEISEN, A.L. (1967): Classification and nomenclature of igneous rocks.- N. Jb. Min. Abh., 107, 144 - 214, Stuttgart.
- STÖFFLER, D. (1963): Neue Erkenntnisse in der Tonsteinfrage auf Grund sedimentpetrographischer und geochem. Untersuchungen im Flöz Wahlschied der Grube Enseldorf (Saar).- Beitr. Min. Petr., 9, 285 - 312, Heidelberg, Berlin.
- STUMPFL, E. (1958): Erzmikroskopische Untersuchungen an Schwermineralien in Sanden.- Geol. Jb., 73, 685 - 722, Berlin.
- TANNER, W.F. (1969): The particle-size scale.- J. Sedim. Petr., 39, No. 2, 809 - 812, Menasha, Wis.
- THIELE, O. (1951): Beobachtungen am Tauernnordrand im Bereich von Gerlos (Tirol).- Mitt. Ges. Bergbau=stud., 2, 1 - 21, Wien.
- (1970): Zur Stratigraphie und Tektonik der Schieferhülle der westlichen Hohen Tauern.- Verh. Geol. B.-A., 1970, 230 - 244, Wien.
- (1974): Tektonische Gliederung der Tauernschieferhülle zwischen Krimml und Mayrhofen.- Jb. Geol. B.-A., 117, 1 - 16, Wien.
- (1976): Der Nordrand des Tauernfensters zwischen Mayrhofen und Inner Schirn (Tirol).- Geol. Rdsch., 65, 410 - 421, Wien.
- TOLLMANN, A. (1963a): Der Baustil der tieferen tektonischen Einheiten der Ostalpen im Tauernfenster und in seinem Rahmen.- Geol. Rdsch., 52, 226 - 237, Stuttgart.
- (1963b): Die Ostalpensynthese.- 256 S., Wien (Franz Deutike Verl.).
- (1965): Faziesanalyse alpidischer Serien der Ostalpen.- Verh. Geol. B.-A., Sdh. G, 103 - 133, Wien.
- TRÜGER, W.E. (1969): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 2.-822 S., Stuttgart (E. Schweizerbart. Verlagsbuchhandlung).
- (1971): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 1.-188 S., Stuttgart (E. Schweizerbart. Verlagsbuchhandlung).
- VATAN, A. (1949): La pédimentation détritique dans la zone subalpine et le Jura méridional au Crétacé et au Tertiaire.- C. R. somm. Séane Soc. géol. France, 6, 102 - 104, Frankreich.
- (1950): General aspects of sedimentation in the geological basins of France.- J. Sedim. Petr., 20, 65 - 73, Menasha, Wis.
- VOELCKER, I. (1939): Schwermineraluntersuchung der Sande der Düne von Helgoland.- Geol. Meere u. Binnengewässer, 1, 5 S., Berlin.
- WALGER, E. (1962): Die Korngrößenverteilung von Einzellagen sandiger Sedimente und ihre genetische Bedeutung.- Geol. Rdsch., 51, (2), 494 - 507, Stuttgart.
- WENGER, H. (1964): Die Scheelitlagerstätte Tux (Tirol).- Radex Rundschau, Heft 2, 109 - 135, Radenthein, Kärnten.
- WEYL, R. (1952): Schwermineraluntersuchungen an Böden des württembergischen Unterlandes.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh., H. 11, 482 - 499, Stuttgart.
- WEYL, R. & WERNER, H. (1952): Altersbestimmung von Eiszeitgeschieben mit Hilfe von Schwermineralien.- Meyniana, 1, 130 - 137, Kiel.
- (1951): Schwermineraluntersuchungen im Jungtertiär und Alttertiär Schleswig-Holsteins.- Int. Cong. Sedimentology Netherlands, 293 S., Groningen.
- WEYRICH, H. (1963): Untersuchungen zur Schwermineralführung pleistozäner und tertiärer Sedimente aus dem norddeutschen Raum.- Ber. Geol. Ges. DDR, 8, 537 - 547, Berlin.
- WIESENDER, H. (1953): Über die Veränderungen des Schwermineralbestandes der Sedimente durch Verwitterung und Diagenese.- Erdöl und Kohle, 6, 369 - 372, Hamburg.

- WINKLER, H.G.F. (1967): Die Genese der metamorphen Gesteine.- 2. Aufl., 237 S., Heidelberg, New York, (Springer Verl.).
- WOLETZ, G. (1950): Schwermineralanalysen von klastischen Gesteinen aus dem Bereich des Wienerwaldes.- Jb. Geol. B.-A., 94, 167 - 194, Wien.
- (1955): Die Bedeutung der Schwermineralanalyse für die Stratigraphie und ihre Anwendung in Österreich.- Erdöl-Zeitschrift, 71, 53 - 55, Wien.
- (1958): Die Schwermineral-Analyse als Hilfsmittel für Prospektion und Stratigraphie.- Verh. Geol. B.-A., 1958, 172 - 182, Wien.
- (1963): Charakteristische Abfolgen der Schwermineralgehalte in Kreide- und Alttertiär-Schichten der nördlichen Ostalpen.- Jb. Geol. B.-A., 106, 89 - 119, Wien.
- (1967): Schwermineralvergesellschaftungen aus ostalpinen Sedimentationsbecken der Kreidezeit.- Geol. Rdsch., 56, 308 - 320, Stuttgart.
- XIDAS, S. (1974): Sedimentologische Untersuchungen im Delta der Tiroler Ache (Chiemsee/Oberbayern).- Diss. 143 S., TU-München.
- ZADORLAKY-STETTNER, N. (1960): Neue geologische Beobachtungen aus dem Wienerwald.- Mitt. Geol. Bergbaustud. Wien, 11, 111 - 116, Wien.
- (1961): Neue Schwermineralanalysen aus dem östlichen Wienerwald.- Verh. Geol. B.-A., 1961, Wien, 113 - 115, Wien.
- ZÖBELEIN, H.-K. (1940): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im niederbayerischen Tertiär.- Neues Jb. Mineral. Beil., 84 B, 233 - 302, Stuttgart.

## ANHANG

Abb. 11: Die wichtigen transparenten Schwerminerale im Einzugsgebiet (Seite I)

VERZEICHNIS DER ANALYSENDATEN: Tabelle 7 und 8 (Seite II - VI)

Tafel 1-3 mit Erläuterungen (Seite VII - XII)

Karte des Einzugsgebietes mit Probenentnahmestellen

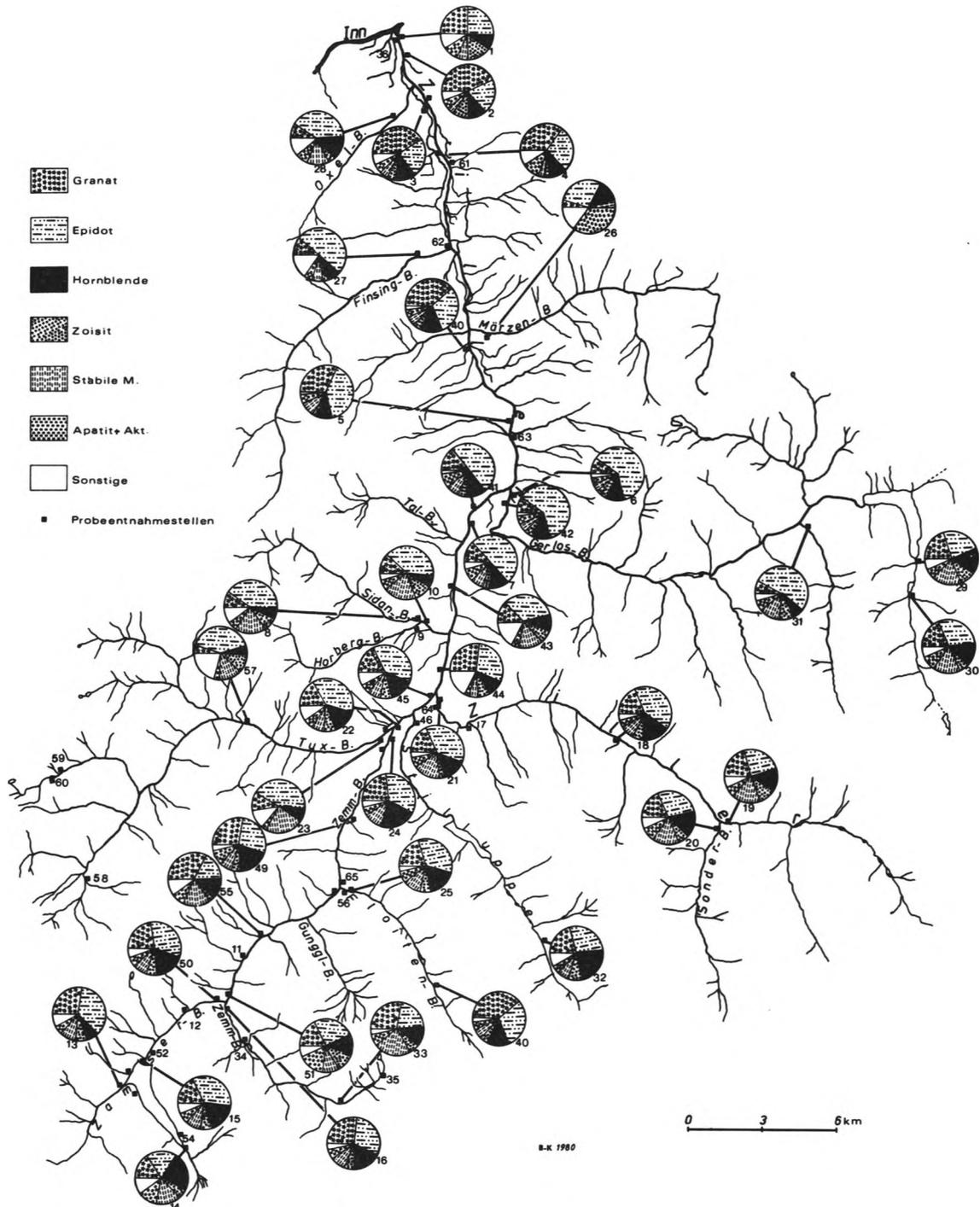


Abb. 11: Die wichtigen transparenten Schwerminerale im Einzugsgebiet

Tab. 7:

## SCHWERMINERALGEHALTE IN KORNZAHL %

Probe-Nr.	Granat	Epidot (Klinozoisit)	Hornblende	Aktinolith	Apatit	Zoisit	Zirkon	Rutil	Turmalin	Disthen	Staurolith	Titanit	Rest der Auszählung	Sonstige, nicht ausgezählte SM-Anteile (außer opak und Glimmer)
1	24	25	13	4	5	13	4	2	2	3	+	2	2 Sch.+Chd+Bar.Opx	Hm, Ilm, Kb, Bar
2	44	20	11	3	2	10	2	1	1	1	+	+	4 Sch.+Chd, Ilm, Opx	Hm, Kb, Bar
3	41	23	12	2	3	6	3	2	+	2	+	+	3 Verw., Ilm, Orth. Sch.	Hm, Kb, Bar, Opx
4	35	28	10	8	3	3	2	1	1	3	1	1	2 Sch, Zin, Chd, Opx	Hm, Kb, Mgst, Chl
5	31	41	9	1	4	3	7	2	+	1	-	-	1 Sch, Ilm, Chd, Spin	Kb, Hm
6	10	62	10	1	3	7	3	1	1	+	+	2	+ Sch, Chd, Orth.	Kb, Hm, Chl
7	13	51	11	3	6	5	3	3	2	1	+	-	2 Sch, Ilm	Kb, Hm, Bar, Chl
8	10	42	6	+	6	8	10	4	4	1	+	3	5 Sch.	Kb, Hm
9	6	42	5	+	8	10	12	5	3	1	-	2	6 Sch.	Mgst, Hm
10	12	40	7	+	7	11	13	3	4	2	+	1	+ Sch, Spin	Kb, Hm
11	31	17	12	5	2	3	9	7	4	4	1	3	2 Sch, Ana, Dia	Ilm, Verw.
12	22	35	14	3	3	5	5	3	2	5	1	1	1 Zin, Ana, Asb.	Chl, Verw.
13	27	35	8	2	3	7	3	5	2	2	1	2	3 Ana, Zin, Bro, Ilm	Mgst, Verw.
14	16	21	21	10	2	5	6	6	3	4	+	3	2 Ilm, Orth.	Ub, Verw.
15	18	34	18	4	1	7	6	3	1	5	+	-	2 Zin.	Mgst, Verw.
16	27	31	17	3	4	6	4	3	2	1	-	1	1 Asb, Dial., Sch.	Kb, Hm
17	20	41	15	1	3	3	12	2	1	+	-	-	2 Ana, Sch, Zin, Bro	Kb, Hm
18	19	40	18	1	3	6	5	2	2	1	-	-	3 Bro, Ana, Orth.	Kb, Hm, Sch (?)
19	21	24	14	5	2	11	7	8	2	2	+	-	4 Orth, Ana	Kb, Verw.
20	19	28	15	6	3	7	6	7	3	3	-	2	3 Orth, Ana	Kb

Tab. 7 (Fortsetzung)

## SCHWERMINERALGEHALTE IN KORNZAHL %

Probe-Nr.	Granat	Epidot (Klinozoisit)	Hornblende	Aktinolith	Apatit	Zoisit	Zirkon	Rutil	Turmalin	Disthen	Staurolith	Titanit	Rest der Auszählung	Sonstige, nicht ausgezählte SM-Anteile (außer opak und Glimmer)
21	18	38	14	3	4	4	11	3	2	1	+	2	1 Sch, Ana, Zin	Kb, Ver.
22	17	37	16	2	4	7	5	1	2	2	1	1	5 Sch, Ilm	Spin.
23	11	41	7	+	3	-	14	6	4	-	+	1	14 Sch, Spin.	Mgst, Chl.
24	24	33	22	3	2	+	6	4	2	-	+	+	4 Sch, Ana, Bro	---
25	21	33	18	6	2	6	7	3	1	1	+	-	2 Ana, Orth.	Sch (?)
26	4	29	12	31	4	+	3	+	2	-	-	2	13 Opx+Spin.	---
27	11	51	8	1	4	3	3	2	2	+	-	4	11 Opx+Chd, Chr.	Dia, Chl.
28	9	40	14	+	7	4	5	6	3	-	-	-	12 Opx, Bar	---
29	21	23	15	4	3	10	7	8	3	2	-	-	4 Chd, Ana, Orth.	Kb, Chl.
30	19	29	14	6	3	7	7	6	3	2	-	3	3 Orth.	Kb
31	8	53	6	2	5	10	7	1	4	-	1	2	1 Orth, Chd	Kb
32	21	27	24	3	2	8	3	3	1	4	+	1	3 Ana, Orth	Kb
33	28	21	12	4	4	6	11	6	5	1	-	1	1 Orth.	Ilm, Hm, Verw.
34	15	22	15	7	2	10	9	7	4	3	1	2	3 Asb, Orth	Chl
35	25	50	10	3	1	5	2	1	1	1	-	-	1 Ana	Ver, Chl
36	23	29	13	4	4	12	5	1	1	3	+	2	3 Sch, Chd, Bar, Opx	Ilm, Kb, Bar, Chl
37	21	27	11	3	7	11	9	3	2	2	1	1	2 Bar, Sch, Opx	Hm, Ilm, Kb, Bar
38	41	26	11	1	3	6	3	2	1	2	+	-	4 Bar, Sch, Opx	Kb, Hm, Ilm
39	27	39	12	2	2	5	4	3	1	1	1	2	1 Opx	Kb, Hm, Ilm
40	39	30	13	2	3	5	5	1	+	1	-	-	1 Sch, Chd, Zin	Kb

Tab. 7 (Fortsetzung)

## SCHWERMINERALGEHALTE IN KORNZAHL %

Probe-Nr.	Granat	Epidot (Klinoisit)	Hornblende	Aktinolith	Apatit	Zoisit	Zirkon	Rutil	Turmalin	Dithen	Staurolith	Titanit	Rest der Auszählung	Sonstige, nicht ausgezählte SM-Anteile (außer opak und Glimmer)
41	15	49	12	4	5	5	3	3	2	1	+	-	1 Zin, Sch.	---
42	10	61	11	1	4	6	3	1	1	+	+	-	2 Sch, Chd, Orth.	---
43	13	34	9	3	3	8	7	3	5	7	1	3	4 Sch, Ana, Zin	---
44	26	31	10	2	1	7	4	1	1	6	-	1	10 Sch, Ana, Zin	Mgst
45	18	38	15	3	3	7	5	1	2	2	1	2	3 Sch, Ana	Kb
46	29	27	21	4	2	8	3	1	1	3	-	-	1 Ana	Sch, Chl
47	10	43	6	+	3	-	13	6	4	-	-	3	12 Sch.	Mgst
48	27	32	21	6	2	3	4	3	1	1	+	+	+ Orth.	Mgst
49	28	27	19	7	3	5	5	1	3	2	+	+	+ Ana, Sch	---
50	22	34	18	3	3	6	4	3	2	2	1	+	2 Bro, Ana	---
51	18	25	12	11	5	12	5	3	2	2	-	2	3 Dia, Ana, Sch (?)	Kb
52	18	35	21	4	2	6	4	2	1	5	-	1	1 Zin	Hm, Kb
53	16	25	19	10	3	5	6	5	3	1	-	3	4 Orth	Kb
54	14	26	30	10	6	12	3	2	1	3	+	1	4 Orth	Kb
55	32	18	12	6	2	3	7	7	3	5	1	2	2 Orth, Sch	Ilm, Kb
56	20	35	21	5	4	6	3	3	1	1	+	-	1 Ana	
57	5	41	5	-	3	11	3	5	6	3	-	1	17 Sch, Verw.	Mgst
58														
59														
60														
61	20	28	24	3	2	7	3	3	1	5	+	1	3 Orth, Ti, Ilm	Kb, Hm

Tab. 8:

Probe-Nr.		Kies-Sand-Silt/Ton-Anteile in Gew.%			Prozent. Verhältnisse der untersuchten Fraktionen in Gew.%				Schwermineralgehalte <sup>1)</sup> in Gew.%				Fe-Gehalt <sup>2)</sup> Gew.%
Serie	Lage	Silt/Ton	Sand	Kies	0,25	0,18	0,125	0,063	0,25	0,18	0,125	0,063	Gesamt
1 N	1	9,37	90,63	-	39,55	21,67	19,44	18,83	1,95	4,14	6,56	2,15	2,92
2 N	2	10,37	89,63	-	47,62	21,81	17,18	13,39	1,8	7,84	8,42	4,39	2,91
3 N	3	22,24	77,76	-	6,55	13,80	26,38	53,26	1,38	6,02	7,45	2,65	0,747
4 N	4	39,26	60,74	-	14,13	12,12	21,38	52,35	3,9	2,6	3,15	2,5	4,15
5 N	5	1,84	98,16	-	52,2	25,19	15,56	7,02	2,3	5,28	11,59	11,19	1,23
6 N	6	8,19	91,81	-	45,27	22,63	17,98	14,10	2,8	8,3	15,3	7,87	1,445
7 N	7	4,64	95,16	0,2	29,68	22,28	29,92	18,10	1,1	4,0	5,96	4,79	0,953
8 N	8	18,88	80,92	0,2	58,3	14,5	13,2	14	3,2	8,5	10,2	12,-	1,52
9 N	9	12,63	87,12	0,25	59,85	18,53	12,1	9,52	3,4	5,2	5,6	3,95	1,57
10 N	10	7,51	92,19	0,3	65,36	16,14	10,63	7,85	3,45	5,8	5,4	3,22	1,56
11 N	11	5,46	94,54	-	47,25	24,98	15,07	12,69	4,2	15,9	15,4	3,60	1,20
12 N	12	2,61	96,39	1,-	64,68	15,38	10,63	9,23	4,76	8,2	7,71	11,99	1,41
13 N	13	2,7	97,3	-	64,37	13,59	10,98	11,05	5,2	9,45	4,58	8,31	17,195
14 N	14	3,66	96,34	-	52,39	16,36	15,61	15,63	3,25	11,02	6,71	6,25	3,19
15 N	15	2,6	97,4	-	52,72	20,09	14,48	12,71	2,11	7,22	6,49	9,78	1,42
16 N	16	3,9	96,1	-	56,40	20,22	16,96	6,42	4,2	9,22	8,45	7,82	2,369
17 N	17	3,-	97,-	-	56,4	20,26	15,82	7,51	3,42	7,82	8,32	4,42	3,05
18 N	18	3,02	96,98	-	52,40	16,36	15,61	15,63	5,3	6,8	7,2	10,02	3,02
19 N	19	2,2	97,8	-	53,26	18,56	16,84	11,33	4,9	8,1	8,2	6,26	2,95
20 N	20	1,7	98,3	-	57,76	19,61	13,56	9,07	4,2	11,1	10,12	8,16	2,75
21 N	21	2,23	97,77	-	61,04	15,05	12,16	11,75	2,85	6,43	6,52	8,39	3,032
22 N	22	9,2	87,7	1,1	53,08	18,30	15,63	12,99	3,22	6,35	7,3	3,42	2,078
23 N	23	1,66	98,34	-	71,34	15,07	8,24	5,35	2,32	5,85	6,8	2,80	0,48
24 N	24	1,66	97,14	1,2	65,21	16,58	10,46	7,75	4,1	12,30	10,5	17,26	2,1
25 N	25	3,7	96,3	-	44,04	24,59	20,76	10,61	3,2	6,58	5,73	8,58	3,2
26 N	26	2,95	96,95	0,1	70,46	13,80	8,35	7,38	3,1	6,48	4,73	7,76	11,219
27 N	27	1,70	98,18	0,12	78,13	11,-	6,09	4,78	2,85	2,92	3,21	5,31	1,40
28 N	28	1,9	98,-	0,1	61,79	19,94	12,33	5,94	1,85	4,2	5,3	2,25	1,32
29 N	29	5,6	93,9	0,5	41,3	19,2	18,3	21,2	4,42	8,82	9,32	5,05	1,56
30 N	30	5,53	93,97	0,5	45,66	18,17	17,15	19,01	3,8	9,21	9,49	6,49	1,47
31 N	31	5,5	93,3	1,2	46,10	21,32	17,2	15,38	5,3	12,4	11,8	10,5	1,72
32 N	32	1,9	98,1	-	60,55	16,16	12,43	10,85	3,3	8,8	8,5	5,21	1,49
33 N	33	3,2	96,7	0,1	37,12	11,68	22,30	28,90	3,25	11,22	6,82	6,31	2,24
34 N	34	3,94	95,96	0,1	58,67	20,86	11,58	8,88	3,12	11,1	6,8	6,45	2,38
35 N	35	3,1	96,9	-	64,13	13,43	11,02	11,42	4,8	12,3	7,8	10,56	2,52

1) Einschließlich Glimmer und Opak (Dichte &gt; 2,9)

2) Ferromagnetische Anteile der untersuchten Fraktionen (Gesamt)

Tab. 8 (Fortsetzung)

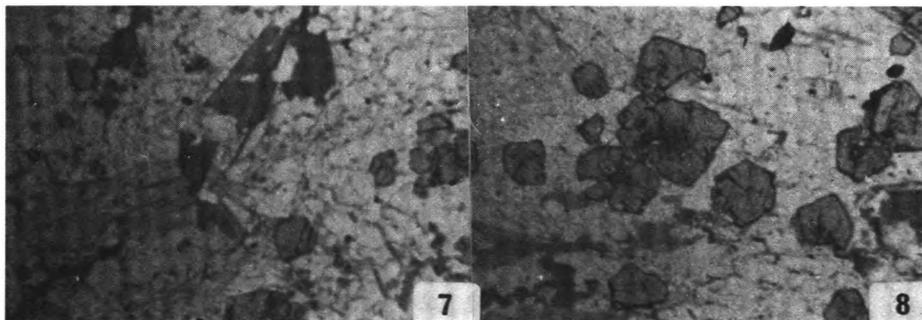
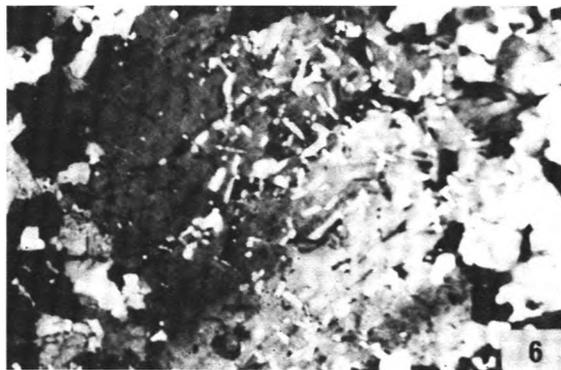
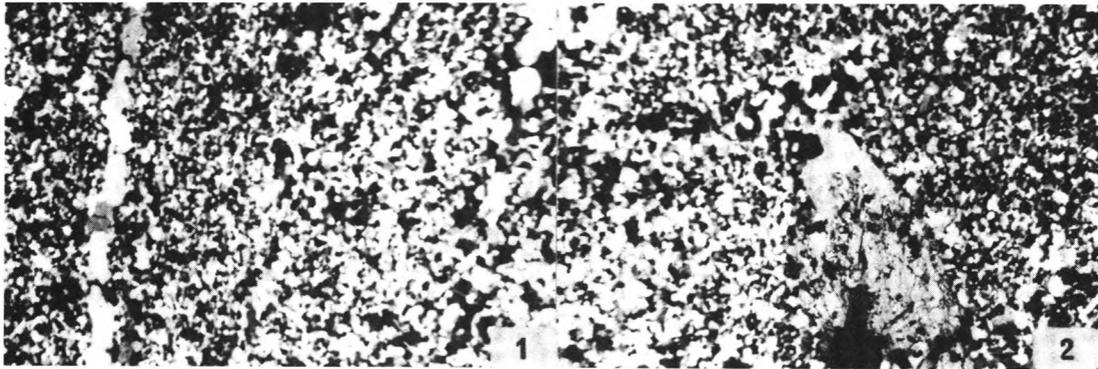
Probe-Nr.		Kies-Sand-Silt/Ton-Anteile in Gew.%			Prozent. Verhältnisse der untersuchten Fraktionen in Gew.%				Schwermineralgehalte <sup>1)</sup> in Gew.%				Fe-Gehalt <sup>2)</sup> Gew.%
Serie	Lage	Silt/Ton	Sand	Kies	0,25	0,18	0,125	0,063	0,25	0,18	0,125	0,063	Gesamt
36 A	1 A	4,97	95,03	-	22,9	25,18	28,01	23,9	1,92	4,04	8,56	2,42	3,2
37 A	1 B	4,59	95,41	-	39,2	24,59	21,20	14,58	2,5	4,69	6,27	4,39	3,1
38 A	2 A	4,33	95,67	-	8,31	17,28	31,75	42,66	1,35	6,12	7,42	4,0	2,96
39 A	2 B	6,75	93,25	-	21,88	26,81	28,73	22,75	1,22	6,10	7,12	3,74	2,98
40 A	5	2,76	97,24	-	36,98	24,49	20,37	18,15	2,4	5,82	11,20	11,20	1,42
41 A	7	4,7	95,3	-	22,24	21,35	31,16	25,25	2,3	5,22	5,11	10,93	1,12
42 A	8	14,68	85,33	-	23,89	18,04	26,88	31,18	2,95	8,23	15,21	7,81	1,72
43 A	9	3,75	96,05	0,2	37,78	23,61	26,16	12,45	1,8	5,22	5,98	6,2	1,24
44 A	10	1,37	95,63	3,0	52,52	19,31	16,31	11,86	3,1	3,93	5,66	4,42	2,75
45 A	11	3,15	94,85	2,-	54,50	19,58	15,39	10,53	2,85	6,45	6,75	3,89	2,23
46 A	13	5,-	94,5	0,5	39,33	20,22	22,44	18,-	2,9	6,5	7,6	5,1	1,61
47 A	14	9,27	90,93	-	34,87	22,26	22,31	20,55	2,21	5,8	6,8	2,95	0,59
48 A	16	0,57	98,23	1,2	53,33	22,69	14,98	8,99	4,93	12,21	10,42	17,12	4,3
49 A	17	0,88	96,88	2,5	64,58	16,85	10,64	7,82	4,85	10,22	8,31	15,-	4,1
50 A	19	5,85	92,15	2,-	40,62	19,46	20,74	19,17	4,62	8,54	7,82	11,85	4,05
51 A	21	2,13	96,87	1,-	52,38	21,63	15,93	10,05	6,2	19,08	18,19	10,-	1,85
52 A	22	1,7	96,8	1,5	60,47	17,28	12,86	9,39	3,42	7,81	6,71	9,82	4,-
53 A	25 A	15,94	84,06	-	24,65	16,55	23,43	35,37	3,42	11,2	6,71	6,31	3,21
54 A	25 B	6,11	93,89	-	36,40	18,24	20,67	24,68	3,91	10,89	6,51	6,21	3,24
55 N	26	5,46	94,54	-	40,50	20,26	20,-	19,23	4,3	15,8	15,5	4,7	2,2
56 N	28	3,80	96,2	-	41,95	20,94	20,7	16,34	3,24	6,62	5,75	8,69	3,2
57 N	36 N	5,5	93,3	1,2	41,95	20,84	20,17	16,34	5,1	12,2	11,7	10,5	1,41
58 N	37 N	5,6	93,9	0,5	42,3	18,2	19,3	20,2	4,42	9,82	10,32	7,05	1,71
59 N	38 N	3,1	96,9	-	36,13	14,43	11,-	11,44	5,2	13,4	12,3	9,2	1,35
60 N	39 N	3,66	96,34	-	52,39	16,-	15,97	15,63	5,1	12,89	12,12	9,1	1,42
61 N	40 N	1,7	98,3	-	61,55	15,16	12,40	10,88	3,75	9,21	9,39	6,49	2,95

1) Einschließlich Glimmer und Opak (Dichte > 2,9)

2) Ferromagnetische Anteile der untersuchten Fraktionen (Gesamt)

Erläuterungen zu Tafel 1:

- Fig. 1-2: Granitisch-quarzdioritischer Metamorphit: In dem granoblastischen Grundgewebe sieht man oft gangartige Bereiche, die vorwiegend aus jüngerem Quarz und z.T. auch aus Plagioklas bestehen. Die einzelnen Hornblendeblasten werden von Biotit verdrängt.  
42-fache Vergrößerung, +Nic.  
Nr.123F3-123S
- Fig. 3-6: Verschiedene Formen von Plagioklasen in Metagranit(Fig.3-5) und in Metatonalit(Fig.6): Leicht deformierter zwillingslamellierter Plagioklas(Fig.3), feinlamellare Verzwilligung im Mikrolithen-gefüllten Plagioklas(Fig.4), Plagioklas mit groblamellarer Verzwilligung(Fig.5), eine Plagioklasgeneration ohne Zwillingslamellierung aber mit starker Mikrolithenfüllung.  
53-fache Vergrößerung, +Nic.  
Nr.25F2-25S15 und  
Nr.24F4-14S14
- Fig. 7-8: Granat-Glimmerschiefer: Die Granate enthalten Einschlüsse von Quarz und Ilmenit. Die sonst idiomorphe Kornform der Granate wird durch die auftretenden Quarzeinschlüsse z.T. hypidio-morph bis xenomorph.  
53-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.2023F2-1922S1413



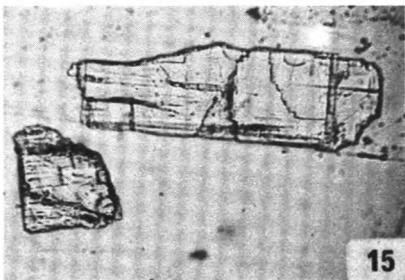
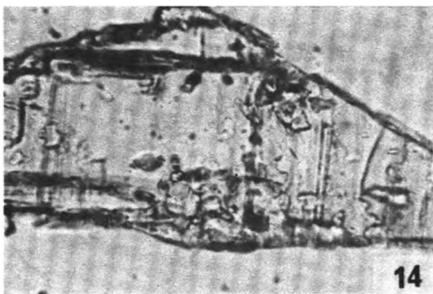
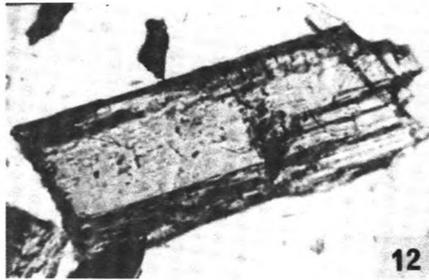
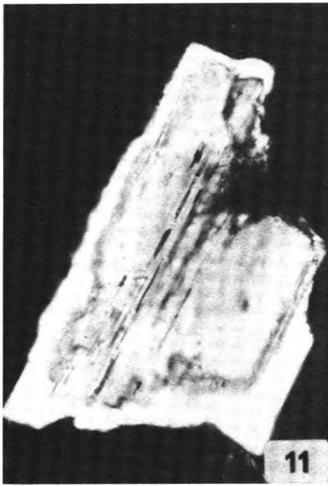
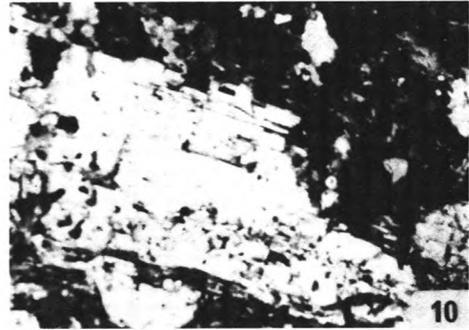
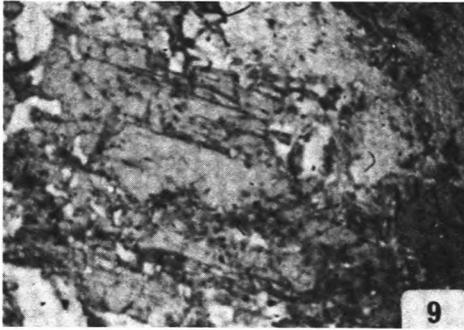
Erläuterungen zu Tafel 2:

Fig. 9-10: Hornblende mit zahlreichen Quarzeinschlüssen in Hornblendegarbenschiefer.  
53-fache Vergrößerung, +Nic.(Fig.10) bzw. //Nic.(Fig.9)  
Nr.15F2-14S7

Fig. 11-13: Hornblende in den Sandproben:  
In Fig.11 ist das Korninnere der Hornblende tschermakitisch und der Kornrand, der z.T. korrodiert ist, aktinolitisch ausgebildet.  
400-fache Vergrößerung, +Nic.(Fig.11-12) und  
650-fache Vergrößerung, +Nic.(Fig.13)  
Nr.91711F1-10177 und  
Nr.46102X37-0,125-0,18B1C

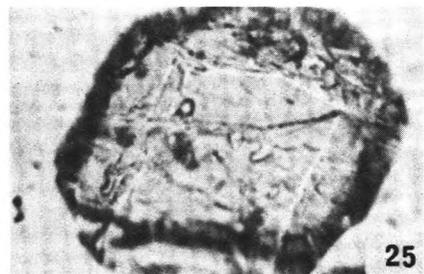
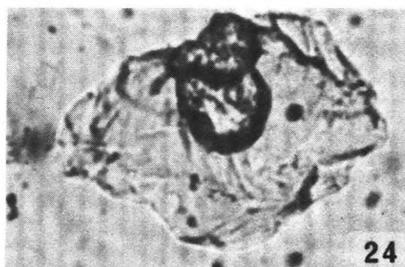
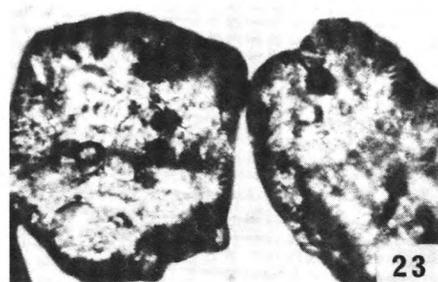
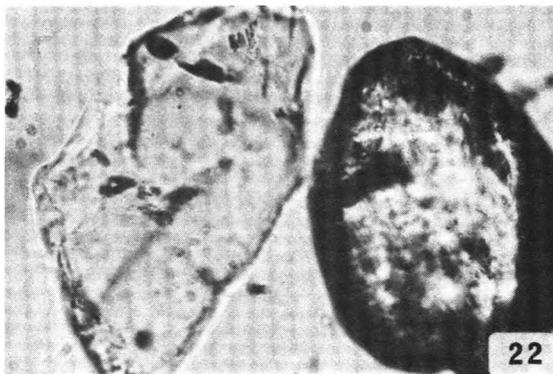
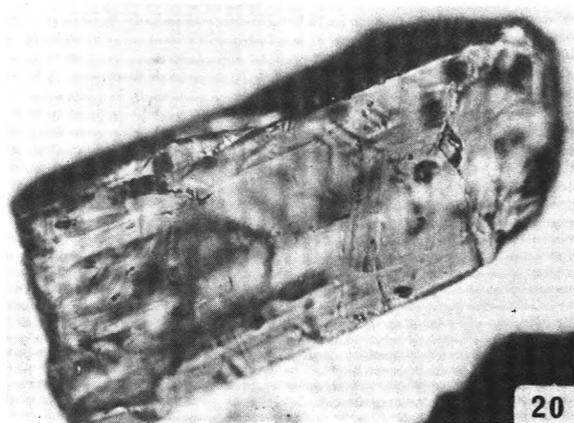
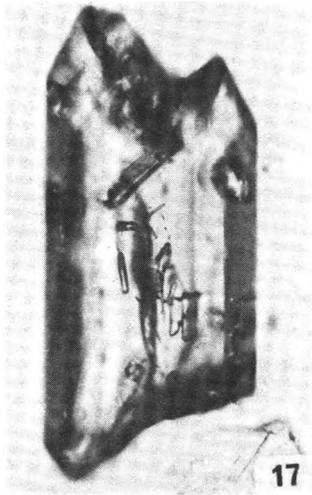
Fig. 14-15: Einschlußreiche wie auch einschlußfreie Disthenkristalle mit deutlich sichtbarer Spaltbarkeit.  
400- und 650-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.2311-168X37-0,18-0,125CE1

Fig. 16: Apatitkorn mit feinstverteilter schwarzer Substanz, orientiert in der Längsrichtung des Kristalles.  
650-fache Vergrößerung, +Nic.  
Nr.5F1,2-1X37-0,125E2



Erläuterungen zu Tafel 3:

- Fig. 17-19: Die in verschiedenen Formen auftretenden Zirkonkristalle enthalten zahlreiche kleine und vorwiegend längliche Einschlüsse.  
650-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.684-111X37-0,125E2
- Fig. 20: Nahezu idiomorpher Epidot mit einem eisenreichen Kern und eisenärmerem Rand.  
769-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.1-4X37-0,125B1
- Fig. 21: Einschlußreicher Zirkon, Apatit und ein Rutilindividuum als Kniezwilling mit einem Winkel von  $114 \frac{1}{2}^{\circ}$  in einem Körnerpräparat.  
519-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.2729X54-0,063E1
- Fig. 22: Verschiedene Einschlüsse in einem Apatitkorn neben einem z.T. gerundeten Zirkon.  
729-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.7S1X37-0,125E2
- Fig. 23: Zwei Scheelitkörner mit verschiedenen Einschlüssen.  
519-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.19S613
- Fig. 24: Apatit mit einem relativ großen Scheelitkern.  
519-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.18S616
- Fig. 25: Annähernd idiomorphes Granatkorn.  
519-fache Vergrößerung, //Nic.  
Nr.21S5X37-0,125A



## **BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN**

Freie Universität Berlin — Technische Universität Berlin — Technische Fachhochschule Berlin

Bisher sind erschienen:

### **Reihe B**

**Heft 1: Joachim Steinbeck**, Modellseismische Untersuchungen von Rayleighwellen unter besonderer Berücksichtigung einer Deckschicht von variabler Mächtigkeit. 128 S., 58 Abb., 1965. DM 25,—.

**Heft 2: Peter Giese**, Versuche einer Gliederung der Erdkruste im nördlichen Alpenvorland, in den Ostalpen und in Teilen der Westalpen mit Hilfe charakteristischer Refraktions-Laufzeit-Kurven sowie eine geologische Deutung. 218 S., 83 Abb., 1965. DM 40,—.

**Heft 3: Joachim Meyer**, Zur Modulation der erdmagnetischen Aktivität. 72 S., 26 Abb., 1973. DM 18,—.

**Heft 4: Kurt Bram**, Zum Aufbau der Kruste und des oberen Mantels im Bereich des westlichen Grabens des ostafrikanischen Grabensystems und im östlichen Zaire-Becken. Ergebnisse einer Untersuchung der Raumwellen von Nah-Erdbeben. 65 S., 32 Abb., 1975. DM 25,—.

**Heft 5: Detlef Damaske**, Der Weltzeitgang der erdmagnetischen Aktivität als magnetosphärischer Modulationseffekt. 75 S., 33 Abb., 1976. DM 20,—.

**Heft 6: Michael Leppin**, Modellversuche zur erdmagnetischen und magnetotellurischen Tiefensondierung mit Hilfe eines elektrolytischen Troges. 68 S., 39 Abb., 1977. DM 19,—.

**Heft 7: Hussein El-Ali**, Geothermische Modelle für ein Profil zwischen Südadria und Tyrrenis. 51 S., 20 Abb., 1978. DM 18,—.

**Hefte 1–6:** Vormalis „Geophysikalische Abhandlungen“ des Instituts für Geophysikalische Wissenschaften der FU Berlin

**VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN**

**Berlin 45, Unter den Eichen 57**

## BERLINER GEOWISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN

Freie Universität Berlin – Technische Universität Berlin – Technische Fachhochschule Berlin

Bisher sind erschienen:

### Reihe A

**Band 14 / Bernd Lehmann:** Schichtgebundene Sn-Lagerstätten in der Cordillera Real/Bolivien. 135 S., 70 Abb., 20 Tab., 6 Taf., 1 Kart., 1979. DM 30,—.

**Band 15 / René Prissang und Wolfdietrich Skala (eds.):** Beiträge zur Geomathematik. 126 S., 1979. DM 28,—.

**Band 16 / Dieter Plöthner:** Hydrogeologie des Buntsandsteins im östlichen Rhön-Vorland (Sulz-Tal, N-Bayern) – Geologie, Hydrochemie, Wasserhaushalt, Aquifer-Kennziffern. 139 S., 50 Abb., 27 Tab., 8 Taf., 1979. DM 30,—.

**Band 17 / Bernd Meißner:** Untersuchungen zur Bruchtektonik in der Zentralägäis. 122 S., 44 Abb., 3 Taf., 7 Kart., 1979.

**Ursula Ripke:** Karte der Zentral- und Südägäis – Bruchtektonik –. 21 S., 7 Tab., 8 Taf., 1979. DM 35,—.

**Band 18 / Michael Biste:** Die Anwendung geochemischer Indikatoren auf die Zinn-Höflichkeit herzynischer Granite in Süd-Sardinien. 107 S., 49 Abb., 35 Tab., 2 Taf., 1979. DM 24,—.

**Band 19 / Ulrich Dornsiepen & Volker Haak (eds.):** Internationales Alfred-Wegener-Symposium – Kurzfassungen der Beiträge. 263 S., 1980. DM 32,—.

**Band 20 / Joachim Pohlmann (ed.):** Festschrift MAX RICHTER – zum 80. Geburtstag –. 235 S., 1980. DM 40,—.

**Band 21 / Rüdiger Glaeser:** Geochemische und sedimentpetrographische Untersuchungen zur Gliederung paläozoischer und mesozoischer Sedimente aus der zentralen Sahara. 96 S., 1980. DM 26,—.

**Band 22 / Pedro Fernando Ramirez Castro:** Qualitative und quantitative petrographische Untersuchungen der Kohlen aus den flözführenden Schichten der Antioquia-Formation/Kolumbien. 110 S., 1980. DM 35,—.

**Band 23 / Siegmund Schulz:** Verteilung und Genese von Fluorit im Hauptdolomit Norddeutschlands. 85 S., 71 Abb., 26 Tab., 1 Taf., 1980. DM 24,—.

**Band 24 / Wolfgang Herrmann-Degen:** Eine Hexactinelliden-Faunula aus dem »Chalk« (Maastricht?, Paläozän) Südwest-Ägyptens. 29 S., 3 Abb., 1 Tab., 10 Taf., 1980.

**Eberhard Klitzsch:** Konzeption des geplanten Berliner Sonderforschungsbereiches »Geowissenschaftliche Probleme arider Gebiete«. 8 S., 1980. DM 24,—.

**Band 25 / Peter Winter:** Die Bedeutung einheimischer Braunkohlevorräte für die Energiebedarfsdeckung ausgewählter Entwicklungsländer (Indien und Thailand). 104 S., 22 Abb., 30 Tab., 1980. DM 24,—.

**Band 26 / Werner Schwarzhans:** Die tertiäre Teleosteer-Fauna Neuseelands, rekonstruiert anhand von Otolithen. 211 S., 637 Abb., 4 Tab., 6 Taf., 1980. DM 35,—.

**Band 27 / Michael Buchelt:** Petrographische und geochemische Untersuchungen an drei Graniten im Nationalpark Bayerischer Wald. 70 S., 18 Abb., 12 Tab., 10 Taf., 1980.

**Jan-Jürgen Göttner:** Der Einfluß unterschiedlicher Umweltfaktoren auf Größenwachstum und Schalenbau bei Ostracoden. 47 S., 8 Abb., 6 Tab., 5 Taf., 1980.

**Nigem el-Din Yusuf:** Zur Geologie des Großen Walsertals bei Buchboden. 16 S., 6 Abb., 1 Karte, 1980. DM 38,—.

**Band 28 / Peter Dulski:** Spurenanalyse als Hilfsmittel bei der geochemischen Untersuchung der Genese bolivianischer Sn-Lagerstätten. 79 S., 30 Abb., 37 Tab., 1980. DM 24,—.

**Band 29 / Behruz Kaschanian:** Korngrößenverteilung und Schwermineralführung in den Flußsanden der Ziller (Tirol/Österreich). 58 S., 11 Abb., 8 Tab., 3 Taf., 1 Karte, 1980. DM 29,—.

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

Berlin 45, Unter den Eichen 57