Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 62 (1969)

Heft: 1

Artikel: Mineralogisch-Sedimentpetrographische Untersuchungen an den Flussbettsanden im Einzugsbereich des Alpenrheins

Autor: Hahn, Christoph

Kapitel: Schwermineralanteil der Sedimente

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-163700

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SCHWERMINERALANTEIL DER SEDIMENTE

Methodik

Zur Schwermineralanalytik sind im Laufe der Zeit verschiedene Methoden beschrieben und diskutiert worden. Für den Zeitraum bis 1950 gibt VAN ANDEL (1950) eine umfassende Zusammenstellung. Für die Zeit bis 1964 geben BLANKENBURG und JAGUSCH (1964) eine Übersicht.

Als Ausgangsmaterial zur Dichtetrennung wurde von jeder Probe eine bestimmte Menge der Korngrössenfraktion 0,063–0,32 mm verwendet. Diese Fraktion ist aus analytischen Gründen und zu Vergleichszwecken gut geeignet.

Zur Entfernung der teilweise hohen Karbonatanteile wurde das Ausgangsmaterial mit 10%iger Essigsäure bei 50 °C (zur Schonung des Apatits) behandelt. Bis zur vollständigen Karbonatlösung waren bei Proben mit hohen Dolomitanteilen 8–10 Tage nötig. Nach der Durchsicht der ersten Schwermineralpräparate zeigte es sich, dass die Bestimmung des Apatits mit Schwierigkeiten verbunden war. Alle Apatitkörner waren trübe geworden und schlecht bestimmbar. Nun wurde Hydroxil-Apatit (Fundort: Zillertal) derselben Körnung unter denselben Bedingungen behandelt. Nach 7 Tagen bereits ergab sich ein Gewichtsverlust von 18%. Apatit ist gegen warme verdünnte Essigsäure nicht beständig, auf seine Auszählung wurde deshalb verzichtet, da sich keinesfalls verlässliche Werte ergeben hätten.

Die schwere Fraktion wurde mit Tetrabromäthan (D = 2,967 g/cm³ bei 20 °C) in einer Zentrifuge abgetrennt und teilweise ausgewogen. Aus der Zusammenstellung von BLANKENBURG und JAGUSCH (1964) geht hervor, dass bei der Dichtetrennung nicht zu unterschätzende Fehler auftreten, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

Von den abgetrennten Schwermineralfraktionen wurden Streupräparate hergestellt. Einbettungsmittel war Aroclor (n = 1,665). Mit Hilfe eines Kreuzschlittens wurden nach den bekannten optischen Methoden 500 durchsichtige Mineralkörner unter dem Mikroskop bestimmt und ausgezählt. Diese Anzahl genügt für mittlere Ansprüche an die Genauigkeit (BLANKENBURG und JAGUSCH, 1964).

Ergebnisse

Durchsichtige Schwerminerale

Im Verlauf der Untersuchungen konnten etwa 25 verschiedene Schwerminerale oder Schwermineralgruppen identifiziert werden. In alphabetischer Reihenfolge sind dies:

Anatas, Andalusit, Augitgruppe (monokline Pyroxene), Chloritoid, Disthen, Enstatit-Hypersthen-Gruppe (rhombische Pyroxene), Epidot-Klinozoisit-Gruppe, Glaukophangruppe, Granatgruppe, grüne Hornblenden, aktinolithische Hornblenden, Rutil, Sillimanit, Staurolith, Titanit, Topas, Turmalingruppe, Zirkon, Zoisit.

Am häufigsten treten Minerale der Epidot- und Granatgruppe, grüne Hornblenden und die stabilen Minerale Rutil, Turmalin und Zirkon auf. Sie bilden meist die Hauptmenge der schweren Fraktionen. Weitere Minerale wie Disthen, Glaukophan, aktino-

lithische Hornblenden, Staurolith, Titanit und Zoisit finden sich weniger häufig und sind z. T. an bestimmte Gesteine gebunden. Die restlichen Schwerminerale kommen nur selten vor. Äusserst selten wurden einige weitere Minerale beobachtet, so Brookit, basaltische Hornblende, Korund, Monazit und Vesuvian.

Weitere Bestandteile der schweren Fraktionen sind nicht diagnostizierbare verwitterte Körner und opake Erze.

Insgesamt ergibt sich für das alpine Rheingebiet ein epi- bis mesozonal geprägtes Schwermineralspektrum.

Beziehungen zwischen Korngrösse und Schwermineralanteil

Die einzelnen Schwerminerale können sich je nach Grösse und Form im Primärgestein und Dichte in verschiedenen Korngrössenfraktionen anreichern. Durch einen Vergleich zwischen Mineralanalysen in einzelnen Fraktionen wurde ermittelt, in welchem Masse die Schwermineralgesellschaften von der Korngrösse beeinflusst werden. Dabei ergab sich, dass quantitative Verschiebungen im Schwermineralbestand mit wechselnder Korngrösse auftreten, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt wurden.

Regionale Verteilung der Schwermineralgesellschaften

Die Ergebnisse der einzelnen Schwermineralanalysen sind in Fig. 12 dargestellt.

Zur übersichtlichen Charakterisierung der Schwermineralfraktionen wurde aus den mengenmässig wichtigsten Mineralen eine Schwermineralgesellschaft zusammengefasst. Minerale mit Gehalten über 10 Kornzahl-% sind Hauptbestandteile der schweren Fraktion. Nebenbestandteile treten in Mengen von 3–9 Kornzahl-% auf. Die akzessorischen Bestandteile (<3%) erwiesen sich im Laufe der Untersuchungen ebenfalls als wichtig.

Zur Vereinfachung wurden die Hauptbestandteile mit grossen Buchstaben, die Nebenbestandteile mit Kleinbuchstaben bezeichnet. In der Reihenfolge der Häufigkeit erhält man so für jede Probe eine Schwermineralgesellschaft.

Im folgenden bedeuten:

G, g = Granat	Z_o, z_o = Zoisit
E, e = Epidot	T_i, t_i = Titanit
H, h = Hornblende	G_l, g_l = Glaukophan
S, s = Staurolith	A_g, a_g = Augit
D, d = Disthen	A_k, a_k = Aktinolith
R, r = Rutil	
Z, z = Zirkon	
T, t = Turmalin	

Beim Betrachten der verschiedenen Schwermineralgesellschaften fällt eine regionale Gruppierung bestimmter Gesellschaften auf. Diese lassen sich zu einer Schwermineralassoziation zusammenfassen, für die aus den Einzelgesellschaften unter Berücksichtigung korngrössenbedingter Verschiebungen eine Standardzusammensetzung ermittelt werden kann.

Distributive Provinzen

Die im vorigen Abschnitt erwähnten Schwermineralassoziationen lassen sich in sieben distributive Provinzen gliedern.

Eine Provinz kann verschiedene Assoziationen enthalten und umfasst alle Flussbettsande, die als Folge ihrer Ausgangsgesteine eine genetische und regionale Einheit bilden. Teile eines Flusses können verschiedenen Provinzen angehören. Die beschriebenen Provinzen decken sich nicht immer mit den Grenzen des Einzugsgebietes.

Die im Einzugsbereich des Alpenrheins zu unterscheidenden Provinzen und ihre charakteristischen Schwermineralassoziationen sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8 Schwermineralassoziationen der einzelnen Provinzen.

Provinz	typ. Schwermin.-Assoziationen
Helvetische Provinz	ZTR, g
Silvrettaprovinz	GS, ztd und HE, g
Vorderrheinprovinz	EG, zth
Hinterrheinprovinz	TZ, r
Rheinwaldprovinz	EGH, z; E, zgh und GE, t
Ostalpine Provinz	ZRT, g
Alpenrheinprovinz	EG, htz und EGH, stz

Die Grenzen zwischen benachbarten Provinzen sind in den Flussbettsanden nur unscharf zu erkennen. Gewöhnlich existieren Mischzonen, in denen die Minerale einer Provinz durch solche einer anderen ersetzt werden. Die Abgrenzung wurde in diesen Fällen auf Grund der petrographischen Gegebenheiten des Anstehenden festgelegt.

Die Festlegung der Assoziationen der einzelnen Provinzen wird durch den Einfluss quartärer Moränen erschwert. Zum Teil ist es unmöglich, den anstehenden Felsuntergrund allein zu erfassen, weil mehr oder weniger ausgedehnte alte Moränen meist provinzfremde Schwermineralgesellschaften liefern. Damit erklären sich alle Differenzen, die beim Vergleich der Figuren 12 und 13 auftreten. Mit der Aufklärung der Herkunft alpiner Glazialablagerungen auf Grund ihres Mineral- und insbesondere Schwermineralbestandes befassen sich u. W. nur wenige Arbeiten. Von PORTMANN (1956) liegen Untersuchungen vor, die sich mit würmeiszeitlichen Ablagerungen des Rhonegletschers befassen. In den Arbeiten von VON MOOS (1935), DEVERIN (1948) und LÜTHY,

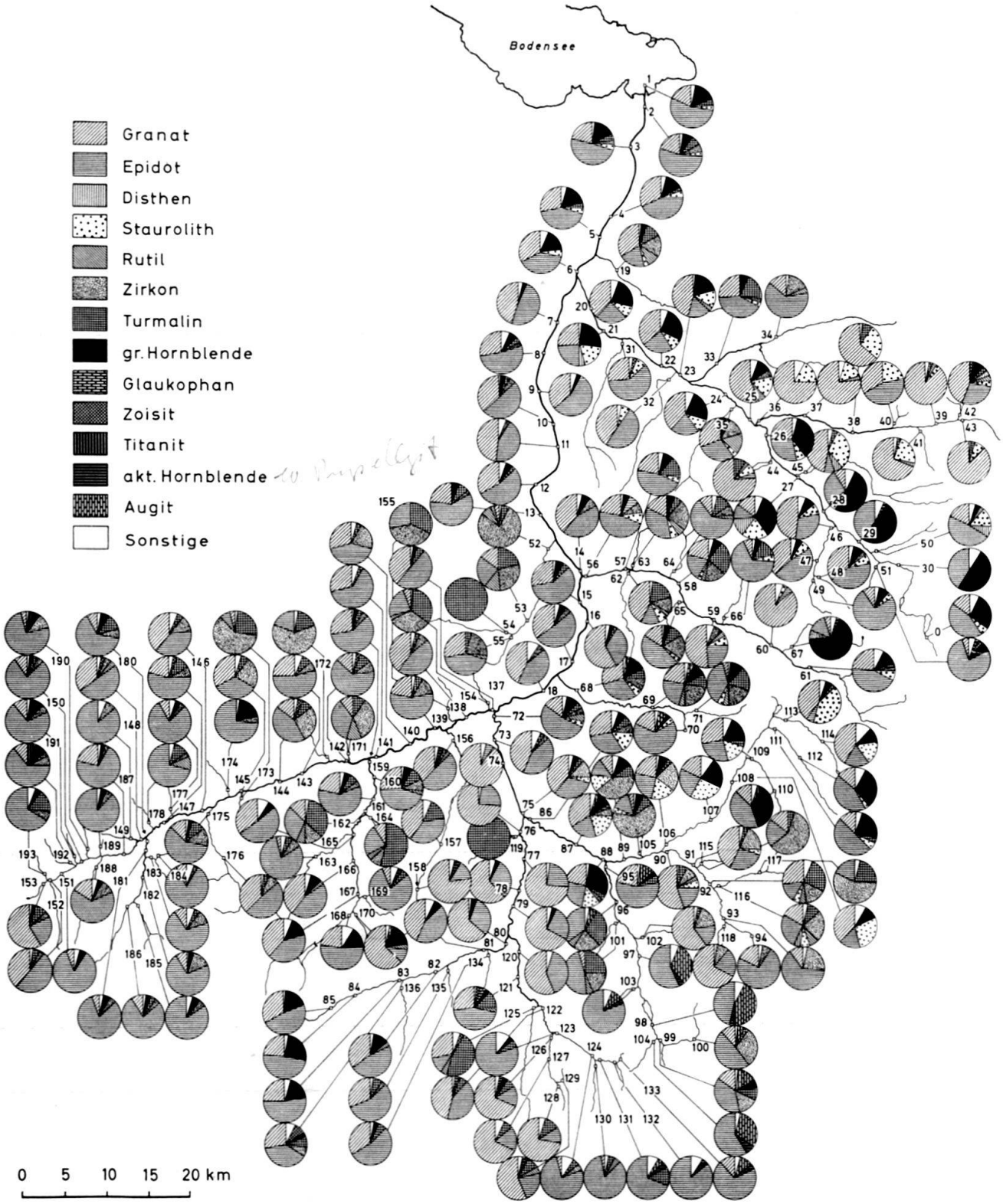

Fig. 12 Schwermineralgehalte der Einzelproben.

MATTER und NABHOLZ (1963) finden sich Hinweise auf den Schwermineralbestand alpiner Quartärablagerungen. Die Ablagerungen des Rheingletschers im Alpenvorland wurden von WEYL (1952) beschrieben.

Detaillierte sedimentpetrographische Untersuchungen an glazigenen Ablagerungen im Einzugsbereich des Alpenrheins liegen nur aus Vorarlberg von DRIESSEN-BUINING (1956), HAAGSMA (1958) und besonders von BIK (1960) vor.

Um die Herkunft der einzelnen Minerale so weit als möglich bestimmen zu können, wurden aus der Literatur petrographische Untersuchungen der Gesteine des alpinen Rheingebietes herangezogen. Die dort beschriebenen Schwerminerale wurden mit den von uns beobachteten verglichen. Dadurch liess sich die Herkunft der verschiedenen Schwerminerale annähernd bestimmen.

Im folgenden sind die einzelnen Provinzen in der in Tabelle 8 aufgeführten Reihenfolge behandelt. Fig. 13 gibt einen Überblick über Lage und Abgrenzung der einzelnen Provinzen.

Helvetische Provinz

Der nördliche und westliche Teil des Einzugsgebietes wird von den Gesteinsserien der helvetischen Decken eingenommen. Die rezenten Flussbettsande in diesen Gebieten weisen dieselben charakteristischen Schwermineralgesellschaften auf. Liefergesteine sind die sedimentären, alpin metamorphen Serien der helvetischen Zone. Die helvetische Fazies der mesozoischen Sedimentation zeichnet sich durch eine reiche Gliederung der detritisch-kalkigen Jura- und Kreideablagerungen aus. Dabei ist zu beachten, dass nur die gröberklastischen Sedimente Träger von Schwermineralen sind. Im ganzen gesehen sind die helvetischen Gesteinsserien in qualitativer und quantitativer Hinsicht ziemlich schwermineralarm. Kristalline Gesteine sind im allgemeinen varietätenreicher und weisen höhere Gehalte auf.

Die umlagerungsstabilen Minerale Zirkon, Turmalin und Rutil sind meist Hauptbestandteile der schweren Fraktionen der Flussbettsande dieser Provinz. Als Nebenbestandteil tritt oft Granat auf, akzessorisch kommt gelegentlich Anatas vor. Das Verhältnis der einzelnen Minerale zueinander kann stark wechseln bis zum völligen Fehlen einer oder mehrerer Komponenten. Am südlichen Rand dieser Provinz tritt häufiger auch etwas Chloritoid auf. Die Flussedimente dieser Provinz lassen sich also durch eine ZTR, g-Assoziation kennzeichnen.

Im folgenden soll die Herkunft der Schwerminerale erörtert werden. Die Minerale Zirkon, Turmalin und Rutil in Verbindung mit Granat stellen eine Restkombination aus den widerstandsfähigsten Schwermineralen dar, wie sie für alte Sedimente typisch ist.

Untersuchungen über den Schwermineralbestand der helvetischen Zone liegen u. W. nur spärlich vor. Aus der mittleren Kreide zwischen Rhein und Reuss beschreibt DE QUERVAIN (1931) Zirkon, Turmalin und Rutil und vereinzelt Granat und Hornblende.

Von BIK (1960) und SMIT-SIBINGA (1965) liegen Schwermineraluntersuchungen aus helvetischen Kreide- und Tertiärschichten östlich des Rheins vor. Aus ihren Auszählungen geht hervor, dass alle Kreideschichten mit Ausnahme des schwermineralfreien Seewerkalkes eine ZTR-Assoziation aufweisen, Schrattenkalk und Kieselkalk können

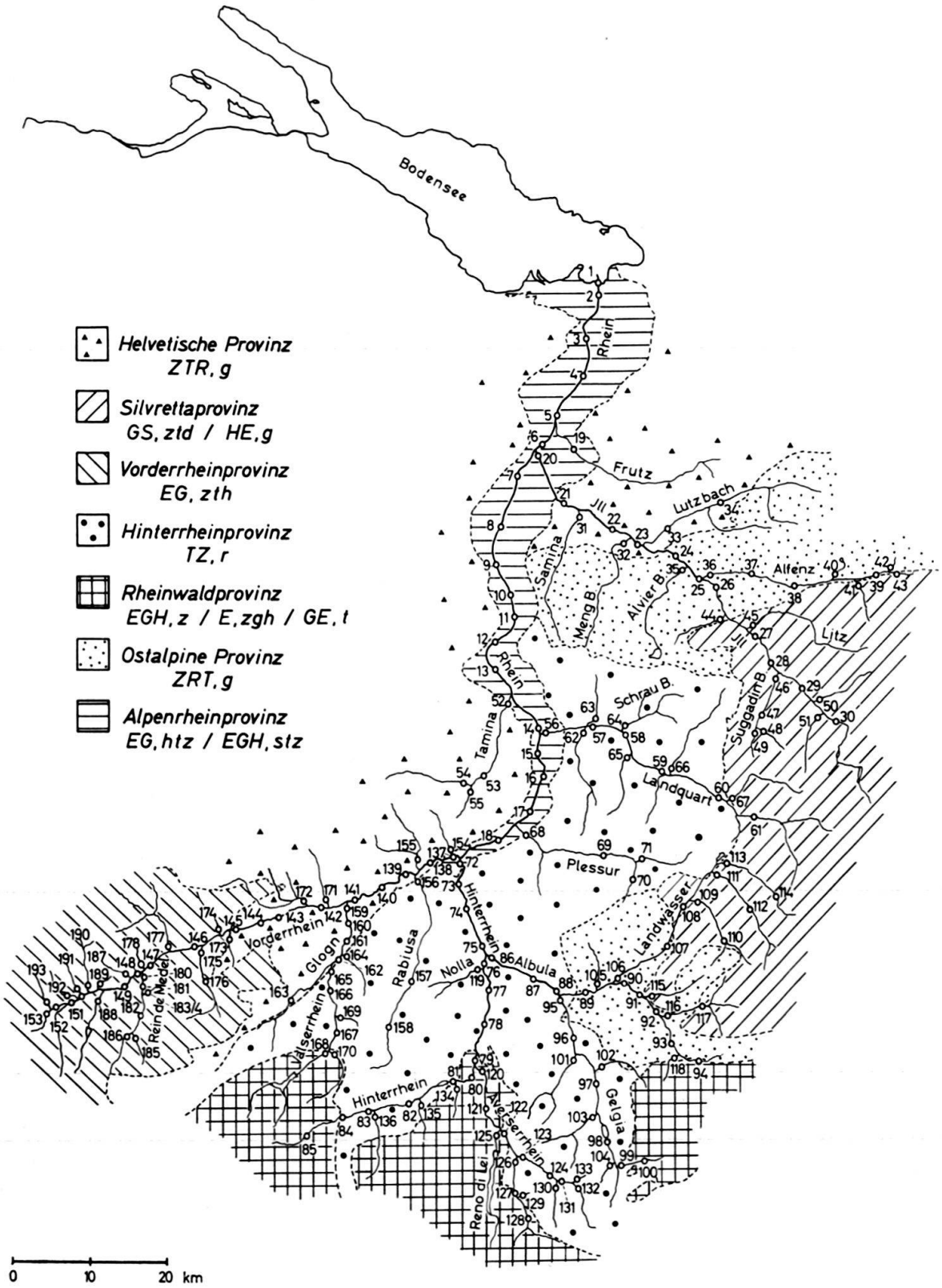

Fig. 13 Schwermineralprovinzen.

etwas Hornblende, Epidot und Staurolith enthalten, während der Flysch teilweise granatreich ist.

FÜCHTBAUER (1964), VON RAD (1964) und GRIMM (1965) beschreiben aus weiteren Helvetikum- und Flyschsedimenten dieselben Schwerminerale.

Die alpidische Metamorphose war in den mesozoisch-tertiären Sedimenten der helvetischen Zone wenig wirksam. Sie äussert sich im wesentlichen in einer Verfestigung mergelig-toniger Gesteine. Der ursprüngliche Schwermineralbestand wurde nicht durch Neubildungen bereichert. Der südliche Teil der helvetischen Zone fällt in die Stilpnomelan- und Chloritoidzone von NIGGLI und NIGGLI (1965). Diese Autoren geben die Verbreitungskarten einiger alpidisch gebildeter Minerale an (Stilpnomelan, Chloritoid, Alkaliamphibol, Staurolith, Disthen und Sillimanit). Diese Mineralzonen zeigen den Grad zunehmender Metamorphose von N nach S an.

Im Bereich der Wurzelzonen der helvetischen Decken, den massivscheidenden Mulden zwischen den Zentralmassiven, hat die alpidische Metamorphose schon deutlich konstruktiven Charakter. Als Mineralneubildung tritt hier bei bestimmtem Gesteinschemismus Chloritoid auf.

Aus den Gesteinen der Disentiser- und der Garveramulde beschreibt NIGGLI (1944) neben den stabilen Mineralen auch Chloritoid. Dieselbe Schwermineralgesellschaft fand JUNG (1963) in der mesozoischen Sedimentbedeckung des Gotthardmassives.

Aus den Gesteinen des helvetischen Ablagerungsraumes sind nach der erwähnten petrographischen Literatur die Schwerminerale Zirkon, Turmalin, Rutil, seltener auch Granat und Chloritoid zu erwarten. Die anderen in den schweren Fraktionen dieser Provinz z. T. auftretenden Schwerminerale Hornblende, Epidot und wohl auch ein Teil des Granats müssen alten Moränen entstammen.

Typisches Mineral dieser Provinz ist der Chloritoid. Er ist fast immer an die alpidisch metamorphen, tonigen Sedimente des helvetischen Mesozoikums gebunden.

Im Penninikum ist Chloritoid selten anzutreffen. Die lokalen Vorkommen von Chloritoid in der Aduladecke (VAN DER PLAS, 1959) und der Tambodecke (GANSSER 1937) gehören hierher.

Silvrettaprovinz

Im Osten und Südosten des Einzugsgebietes liegt ein Teil der grossen kristallinen Gesteinsserien der oberostalpinen Silvrettadecke. Die Oberläufe der Flüsse Ill, Landquart, Landwasser und Albula samt ihren Zuflüssen führen die charakteristischen Schwermineralassoziationen der Silvrettaprovinz.

Hauptbestandteile der schweren Fraktionen sind bei wechselnden Anteilen die Minerale Granat, Staurolith, Hornblende und Epidot. Häufig werden die Schwermineralgesellschaften HE und GS beobachtet. Als Nebenbestandteile treten zu den erstgenannten noch Zirkon, Turmalin und Disthen hinzu. Akzessorisch kommen abwechselnd Titanit, Rutil, Andalusit, Zoisit, Sillimanit, aktinolithische Hornblende, Topas, rhombische und monokline Pyroxene hinzu. Sande dieser Provinz weisen den gewichtsmässig höchsten Schwermineralanteil im Einzugsbereich auf.

Die Silvrettaprovinz lässt sich durch zwei Schwermineralassoziationen – einer GS, ztd-Assoziation und einer HE, g-Assoziation – kennzeichnen. Zwischen diesen beiden Endgliedern sind alle Mischassoziationen vertreten.

Die charakteristischen Minerale der Silvrettaprovinz sind Staurolith, Disthen, Andalusit und Sillimanit. Von wenigen Ausnahmen abgesehen sind diese Minerale nur in dieser Provinz zu finden.

Ein lokales Vorkommen von Staurolith beschreibt EUGSTER (1951) aus dem östlichen Aarmassiv. VON RAD (1964) u.a. fanden Staurolith in Kreide- und Flyschsedimenten der Vorarlberger und Allgäuer Zone. Fraglichen Disthen und Staurolith beschreibt GANSSER (1937) aus karbonischen Gesteinen am Nordrand der Tambodecke. VAN DER PLAS (1959) gibt ein Disthenvorkommen in mesozoischen Sedimenten der Aduladecke an. Nach NIGGLI (1944) findet sich ein Vorkommen von Sillimanitgneis am Nordrand des Gotthardmassives. Alle diese Vorkommen sind lokaler Art und spielen als Sedimentlieferanten keine Rolle.

Ausgangsgesteine dieser distributiven Sedimentprovinz sind die kristallinen Serien der Silvretta, die in ihrem Stoffbestand genau bekannt sind. Nach den Untersuchungen von STRECKEISEN (1928), SPAENHAUER (1932), BEARTH (1932a, 1932b) und WENK (1934) sind am Aufbau des Silvrettakristallins Paragneise, Granitgneise, Mischgneise, Amphibolite und gangförmige Diabase beteiligt.

Die Paragneise der Silvretta sind mineralreich. Die vorgenannten Autoren beschreiben aus verschiedenen Paragneisen Staurolith, Granat, Zirkon, Turmalin, Rutil, Disthen, Sillimanit und Andalusit.

Im Gegensatz dazu sind die Orthogneise mineralarm. Als wesentliches Schwermineral führen sie nur Zirkon.

Ortho- und Paragneise bilden Mischgneise, ihr Mineralbestand ist dem der unvermischten Glieder gleich.

Die mineralreichen Amphibolite treten im Silvrettakristallin in grosser Mächtigkeit auf. Aus verschiedenen Varietäten werden Hornblenden, Epidot, Rutil, Titanit, Granat, Diopsid und aktinolithische Hornblende beschrieben.

Von untergeordneter Bedeutung sind die gangförmigen Diabase. Sie führen Epidot, Hornblende, rhombische und monokline Pyroxene und braune Hornblende.

Bei diesem Überblick über den in den Silvrettagesteinen zu findenden Schwermineralbestand fällt die grosse Wichtigkeit der Paragneise und Amphibolite auf. Beide nehmen grosse Gebiete ein und sind mineralreich. Sie liefern ein meso- bis katazonal geprägtes Schwermineralspektrum. Die Paragneise und Mischgneise sind Liefergesteine der GS, ztd-Assoziation, die Amphibolite sind Ausgangsgesteine der HE, g-Assoziation. Der Einfluss der schwermineralarmen Orthogneise ist gering und äussert sich in Sedimenten dieser Gebiete durch eine Zunahme des Zirkongehaltes. Rhombische Pyroxene, die auf Diabaseinlagerungen hinweisen, treten im Sediment selten auf.

Vorderrheinprovinz

Die distributive Vorderrheinprovinz umfasst die Sedimente des oberen Vorderrheins und seiner rechten und linken Zuflüsse. Im Anstehenden finden sich die kristallinen Gesteine des Gotthardmassives, des Tavetscher Zwischenmassives und des Aarmassives.

Als Hauptbestandteile der schweren Fraktionen tritt Epidot in hohen Prozentzahlen auf. Granat ist sowohl als Haupt- wie auch als Nebenbestandteil anzutreffen. Wei-

tere typische Nebenbestandteile sind grüne Hornblende, Zirkon und Turmalin. Akzessorisch kommen Titanit, Zoisit und Rutil hinzu.

Das Mineral der Epidotgruppe ist meist ein eisenarmer Klinozoisit. Dieser entstand autometasomatisch durch Saussuritisierung von Feldspäten und ist typisch für alpidisch metamorphe Granite.

Die Schwermineralgesellschaften der linken Zuflüsse sind granatarm. Granat tritt nur als Nebenbestandteil auf. Liefergesteine sind jene des Aarmassives.

In den rechtseitigen Zuflüssen ist Granat häufiger, neben Epidot ist er meist Hauptbestandteil. Liefergesteine sind jene des Gotthardmassives.

Die Vorderrheinprovinz lässt sich durch eine EG, zth-Assoziation kennzeichnen.

Die kristallinen Gesteinsserien des Aarmassives, des Tavetscher Zwischenmassives und des Gotthardmassives sind auf ihren Mineralbestand gut untersucht.

Aus verschiedenen Paragneisen, Paraschiefern und Mischgneisen des Tavetscher Zwischenmassives beschreibt NIGGLI (1944) Epidot, Turmalin, Zirkon, Granat und Titanit. Untergeordnet treten auch Amphibolite und Grünschiefer auf mit Hornblende, Rutil und Zoisit zusätzlich.

Die Gesteine des südöstlichen Aarmassives beschreiben u.a. WEHRLI (1896), HÜGI (1941), HUBER (1948) und EUGSTER (1951). Es finden sich Granite mit Epidot und Zirkon und Syenite, Monzonite und Diorite mit Epidot, Hornblende, Zirkon, Titanit und Zoisit. Weiter treten Granitgneise mit Epidot, Titanit und Zirkon und Mischgesteinsserien mit Epidot, Zirkon, Rutil, Titanit und Zoisit auf. Darin eingelagert finden sich Amphibolite mit Hornblende, Epidot, Titanit, Zoisit und Zirkon. Etwas höher metamorphe Paragneise enthalten Epidot, Hornblende, Titanit, Zirkon, Granat, Rutil, Turmalin und wenig Staurolith und Sillimanit.

Die kristallinen Gesteine des östlichen Gotthardmassives werden in ihrem Stoffbestand von AMBÜHL (1929), WINTERHALTER (1930), HUBER (1943) und NIGGLI (1944) beschrieben. Es finden sich Granite, Granodiorite und Diorite mit Epidot, Hornblende, Turmalin, Zirkon, Rutil und Zoisit. Ferner treten Orthogneise mit Epidot, Granat, Zoisit, Zirkon, Titanit und Rutil auf. Gebietsweise finden sich Misch- und Injektionsgneise mit Epidot, Granat, Zirkon, Titanit, Hornblende, Zoisit und Rutil und Paragneise mit Granat, Epidot, Hornblende, Zoisit, Zirkon, Titanit, Rutil und lokal Sillimanit. Ferner kommen Amphibolite mit Hornblende, Epidot, Zoisit, Granat, Titanit, Zirkon und Turmalin vor, desgleichen Kalksilikatlinsen mit Granat, Diopsid, Titanit, Hornblende, Zoisit, Klinozoisit und Strahlstein.

Insgesamt liefern die Gesteinsserien der Zentralmassive ein mineralarmes Schwermineralspektrum. Es setzt sich zusammen aus den schweren Mineralen der granitischen Gesteine (Epidot, Zirkon, Titanit, Zoisit) und der etwas reicheren Gesellschaft der Amphibolite, Misch- und Paragneise (Epidot, Granat, Zirkon, Turmalin, Rutil, Hornblende, Zoisit). Örtlich tritt der Einfluss von Syeniten und Dioriten hinzu, ohne dass weitere Mineralarten auftreten.

Hinterrheinprovinz

Inmitten eines kristallinen Rahmens liegt das grosse Gebiet der penninischen Schichtfolgen. Die Flüsse Glogn, Rabiusa, Hinterrhein, Averserrhein, Albula, Gelgia, Plessur und Landquart führen die rezenten Erosionsprodukte dieser Gesteinsserien.

Ihre Sedimente weisen eine einheitliche Schwermineralführung auf und werden zur distributiven Hinterrheinprovinz zusammengefasst.

Die mengenmässig wichtigsten Bestandteile der schweren Fraktionen sind zunächst wieder die stabilen Minerale Turmalin und Zirkon mit Rutil als Nebenbestandteil und akzessorischem Granat. Diese TZ, r-Assoziation ist charakteristisch für jene Sedimente, deren Ausgangsgesteine Bündnerschiefer und penninische Flyschserien sind. Die Erosionsprodukte der südlich der Linie Lunschania–Terri gelegenen Bündnerschiefer führen neben den stabilen Mineralen zusätzlich Granat, Hornblende, Epidot, Zoisit und gelegentlich Titanit und sehr selten Chloritoid. Die alpidische Metamorphose führte in dieser Zone zu diesen Mineralneubildungen.

Gebietsweise sind den schweren Fraktionen neben viel Epidot auch abwechselnd Granat, Hornblende, aktinolithische Hornblende, Glaukophan, rhombische und monokline Pyroxene, Zoisit, Titanit und die stabilen Minerale beigemischt. Die Ausgangsgesteine dieser Mineralgesellschaften sind mesozoische Ophiolithe.

Wie die Silvrettaprovinz ist auch die Hinterrheinprovinz durch zwei Schwermineralassoziationen charakterisiert. Die TZ, r-Assoziation, die örtlich auch Granat und Epidot und einige andere Minerale als metamorphe Neubildungen enthalten kann, ist eine Restkombination der stabilen Minerale, wie sie für orogene ältere Sedimente typisch ist. Die epidotreiche Assoziation in Verbindung mit den Mineralen Glaukophan, rhombischer und monokliner Augit, Strahlstein, Vesuvian u.a. kennzeichnet die Abtragungsprodukte der Ophiolithe. Letztere ist im Gebiet des Valserrheins, der Rabiusa, des Hinterrheins, des Averserrheins, der Gelgia und der Plessur anzutreffen.

Sedimentpetrographische Untersuchungen in den penninischen Serien liegen kaum vor. Lediglich JÄCKLI (1947) hat versucht penninische Flyschserien auf Grund von Schwermineralen zu gliedern. Er fand als Schwermineralgesellschaft eine Kombination von Zirkon und Turmalin mit Rutil als Nebengemengteil und selten Granat.

Über den Mineralbestand der penninisch-mesozoischen Serien unterrichten die Arbeiten von GANSSER (1937) und NABHOLZ (1945). Aus den Gesteinen im Gebiet zwisehen Rheinwald, Valser- und Safiental beschreibt NABHOLZ nur die stabilen Minerale Zirkon, Turmalin und Rutil. Südlich der Linie Lunschania–Talkirch erscheinen unter den Bestandteilen der penninischen Schichtfolgen (Bündnerschiefer) auch metamorphe Mineralbildungen wie Granat, Epidot, Hornblende, Titanit und Zoisit. GANSSER beschreibt einige dieser Gesteine im Gebiet des Hinterrheins. VAN DER PLAS (1959) fand in derselben Zone neben den obengenannten die Minerale Aktinolith, Glaukophan, Chloritoid, Disthen und die stabilen Minerale.

Über den Mineralbestand der Ophiolithe geben die Arbeiten von CORNELIUS (1922), STAUB (1924), GANSSER (1937), NABHOLZ (1945), VUAGNAT (1948), VAN DER PLAS (1959) und PETERS (1963) Auskunft. Danach finden sich bei örtlich stark wechselnden Anteilen die Minerale Aktinolith, Epidot, Glaukophan, Granat, grüne und braune Hornblende, Olivin, rhombische und monokline Pyroxene, Rutil, Titanit, Turmalin, Vesuvian, Zirkon und Zoisit.

Glaukophan ist im Einzugsbereich von wenigen Ausnahmen abgesehen an die penninischen Ophiolithe gebunden. Er kann als typisches Mineral dieser Provinz angesehen werden. Ausnahmen sind die Glaukophanvorkommen in prätriadischen Glimmerschiefern und Amphiboliten am Nordrand der Aduladecke.

Wie in der Helvetischen Provinz ist auch in der Hinterrheinprovinz der Einfluss alter Moränen beträchtlich. Besonders im Prättigau, Schanfigg und Oberhalbstein finden sich ausgedehnte Moränengebiete, die provinzfremde Schwermineralgesellschaften liefern.

Rheinwaldprovinz

Das Einzugsgebiet wird im Süden von den kristallinen Gesteinen der Aduladecke, der Tambodecke und der Surettadecke begrenzt. Im äussersten Südosten stehen die Gesteinsserien der unterostalpinen Err- und Berninadecke an.

Oberer Valserrhein, oberer Hinterrhein, Teile des Averserrheins und seiner Zuflüsse, obere Gelgia und obere Albula führen die Schwermineralassoziationen der distributiven Rheinwaldprovinz.

Hauptbestandteile der schweren Fraktionen dieser Provinz sind die Minerale Epidot und Granat in wechselnden Anteilen. Hornblende tritt als Haupt- wie auch als Nebenbestandteil auf, z.T. auch nur akzessorisch. Weitere Nebenbestandteile sind Zirkon und Turmalin. Akzessorisch treten Rutil, Titanit u.a. auf.

Die distributive Rheinwaldprovinz ist durch drei Assoziationen gekennzeichnet – eine EGH, z-Assoziation, eine GE, t-Assoziation und eine E, zgh-Assoziation. Die EGH, z-Assoziation ist für Sedimente aus kristallinen Serien der nördlichen Adula typisch, sie findet sich im oberen Valserrhein und im oberen Hinterrhein. Die E, zgh-Assoziation kennzeichnet die Ablagerungen aus kristallinen Gesteinen der unterostalpinen Err- bzw. Berninadecke. Diese Assoziation spielt nur eine geringe Rolle, da diese Gesteinsserien zum grössten Teil ausserhalb des Einzugsgebietes liegen. Sie ist in Ablagerungen der oberen Gelgia und der oberen Albula zu finden. Die GE, t-Assoziation ist charakteristisch für den Abtrag der metamorphen Gesteine der Tambo- und Surettadecke. Sie tritt im unteren Averserhein und Reno di Lei auf.

Nach den Untersuchungen von R. O. MÜLLER (1958) und VAN DER PLAS (1959) beteiligen sich am Aufbau des Adulakristallins Orthogneise, Paragneise und Amphibolite. Als Schwerminerale finden sich in Phengitgneisen Epidot, Granat, Titanit, Hornblende, Zoisit, Natriumpyroxen, Rutil und Turmalin. Paragneise enthalten Hornblende, Epidot, Granat, Rutil, Zirkon, Turmalin, Aktinolith, Zoisit, Titanit, teilweise auch Chloritoid und Glaukophan. Amphibolite sind Ausgangsgesteine für Hornblende, Epidot, Granat, Natriumpyroxen, Rutil, Titanit, Zirkon, Turmalin, Aktinolith, Turmalin, zum Teil auch Chloritoid und Glaukophan.

Die Stirnzone der Surettadecke besteht aus dem sogenannten Rofnaporphyr. GRÜNENFELDER (1956) untersuchte diesen epimetamorphen Granit- bis Quarzporphyr petrographisch und beschrieb daraus Epidot, Rutil, Titanit, Hornblende und Strahlstein. Den Kern der Surettadecke bilden sehr alte Muskovit-Granatglimmerschiefer.

Die kristallinen Gesteine am Nordrand der Tambodecke beschreibt GANSSER (1937). Er unterscheidet Alkalifeldspataugengneise mit Epidot, Titanit und Zirkon und Orthoamphibolite.

Die kristallinen Gesteinsserien der Err- und der Berninadecke beschreibt CORNELIUS (1935). Die Albula- und Juliergranite enthalten Epidot, Zirkon und Titanit. Diorite führen Epidot, monoklinen Pyroxen, Hornblende und Zirkon. Untergeordnet treten Orthogneise mit Zirkon, Epidot und selten Granat und Biotitschiefer und Paragneise mit Zirkon und Granat.

Insgesamt zeigen diese Serien mit Ausnahme der Adulagesteine ein mineralarmes Schwermineralspektrum.

Ostalpine Provinz

Teile der Albula, des Landwassers und der Ill – vor allem aber deren Zuflüsse – führen die Schwermineralassoziation der Ostalpinen Provinz. Im Anstehenden findet man die sedimentären Hüllen der ostalpinen Schubmassen. Die ostalpine Fazies der mesozoischen Sedimentation ist durch die mächtige Entwicklung der Trias gekennzeichnet.

Die Schwermineralfraktionen von Proben dieser Provinz sind wiederum durch eine Kombination der stabilen Minerale gekennzeichnet. Neben viel Zirkon sind Turmalin und Rutil Hauptbestandteile der schweren Fraktionen, als Nebenbestandteil tritt öfters Granat hinzu.

Kennzeichnende Schwermineralassoziation der Provinz ist eine ZTR, g-Assoziation.

Über den Schwermineralbestand der ostalpinen Sedimentfolgen liegen u. W. nur wenige Untersuchungen vor. WOLETZ (1963) fand in Serien der kalkalpinen unteren Oberkreide eine TZR-Gesellschaft. JERZ (1964) beschreibt aus den Raiblerschichten (Karn) der westlichen Nordalpen die Schwermineralkombination ZRT, g. Nach GRIMM (1965) kennzeichnet eine TZG-Gesellschaft die kalkalpine Trias. Darin kann der Granatgehalt stark wechseln bis zum völligen Fehlen des Minerals.

Wie in den beiden anderen Provinzen mit sedimentären, gering metamorphen Ausgangsgesteinen ist auch in der Ostalpinen Provinz der Einfluss alter Moränen besonders gross. Immer enthalten die schweren Fraktionen grössere Mengen von Epidot, Hornblende, Staurolith und auch Granat.

Alpenrheinprovinz

Nach Vereinigung von Vorderrhein und Hinterrhein bei Reichenau verläuft der Rhein in seinem alluvialen Talboden, der als Alpenrheinprovinz bezeichnet werden soll. Diese distributive Provinz ist eine Mischprovinz. Die Schwermineralassoziationen der sechs anderen Provinzen vermischen sich zu einer einzigen, deren Sedimente zuletzt im Bodensee zur Ablagerung gelangen. Es zeigt sich dabei eine deutliche Dominanz der Provinzen mit kristallinen Liefergesteinen.

Im Rheinverlauf lassen sich deutlich zwei Schwermineralassoziationen unterscheiden. In der Zone des Oberlaufes, vom Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein bis zur Einmündung der Ill, liegt in den Rheinsedimenten eine EG, htz-Assoziation vor. Epidot und Granat treten als Hauptbestandteile auf, Nebenbestandteile sind Hornblende und die stabilen Minerale Turmalin und Zirkon. Akzessorisch kommen vor Rutil, Staurolith, Zoisit, Titanit und einige zahlenmässig noch geringere (Disthen, Andalusit, Glaukophan, Chloritoid, aktinolithische Hornblende und Augit).

Die Zone des Unterlaufes, nach Einmündung der Ill, weist gegenüber der Zone des Oberlaufes einige bemerkenswerte Unterschiede auf. Die Sedimente dieser Zone führen die Schwermineralassoziation EGH, stz. Die Ablagerungen im Einzugsbereich der Ill zählen im wesentlichen zur Silvretta- und zur Ostalpinen Provinz. Vor ihrem Zusammenfluss mit dem Rhein führt die Ill Sedimente mit der Schwermineralassoziation

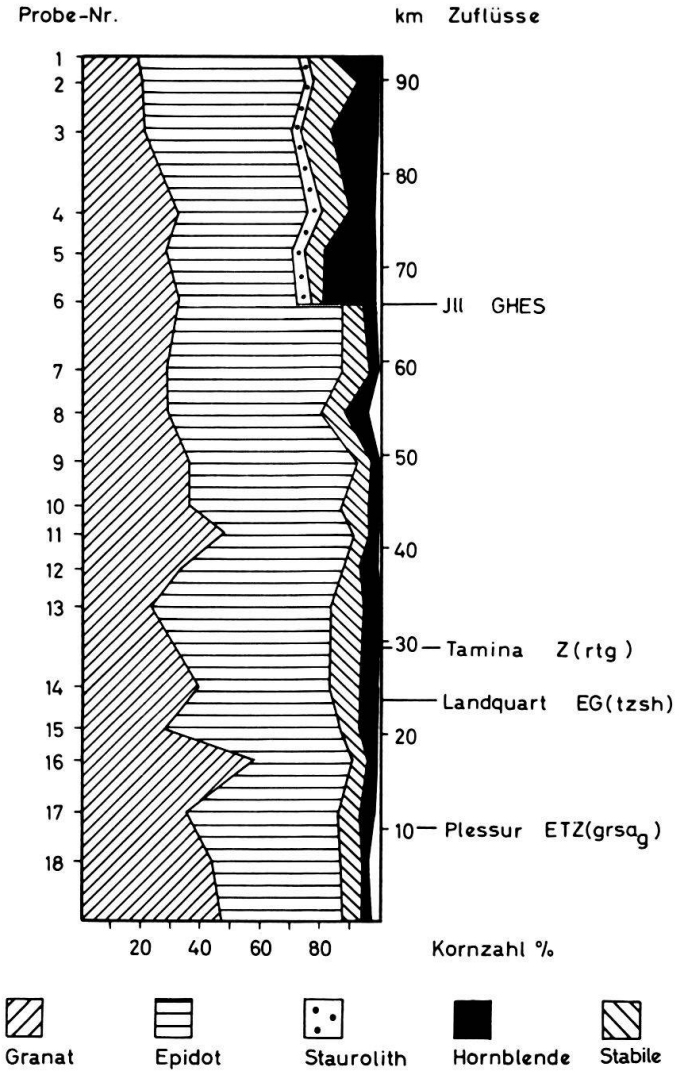

Fig. 14 Schwermineralführung des Rheins.

GHES. Nach dem Zusammenfluss vermischen sich die Assoziationen beider Flüsse – EG, htz und GHES – zu einer EGH, stz-Assoziation.

Gegenüber dem Rheinoberlauf treten im Unterlauf Zunahmen des Hornblendegehaltes auf das Doppelte bis Dreifache ein. Entsprechend werden Epidot und Granat etwas weniger. Alle drei Minerale sind Hauptbestandteile. Der Staurolithgehalt nimmt ebenfalls zu. Neben Turmalin und Zirkon ist Staurolith jetzt wesentlicher Nebenbestandteil. Unter den Akzessorien tritt Disthen nunmehr neben allen anderen Akzessorien des Oberlaufes regelmässig auf. In Fig. 14 ist die Schwermineralführung des Rheins längs des Flusslaufes wiedergegeben. Die Proben 16 und 11 weisen korngrössenbedingt etwas höhere Granatgehalte auf.

Schwermineralführung wichtiger Zuflüsse

Im folgenden soll die Schwermineralführung der wichtigsten Zuflüsse des Rheins besprochen werden.

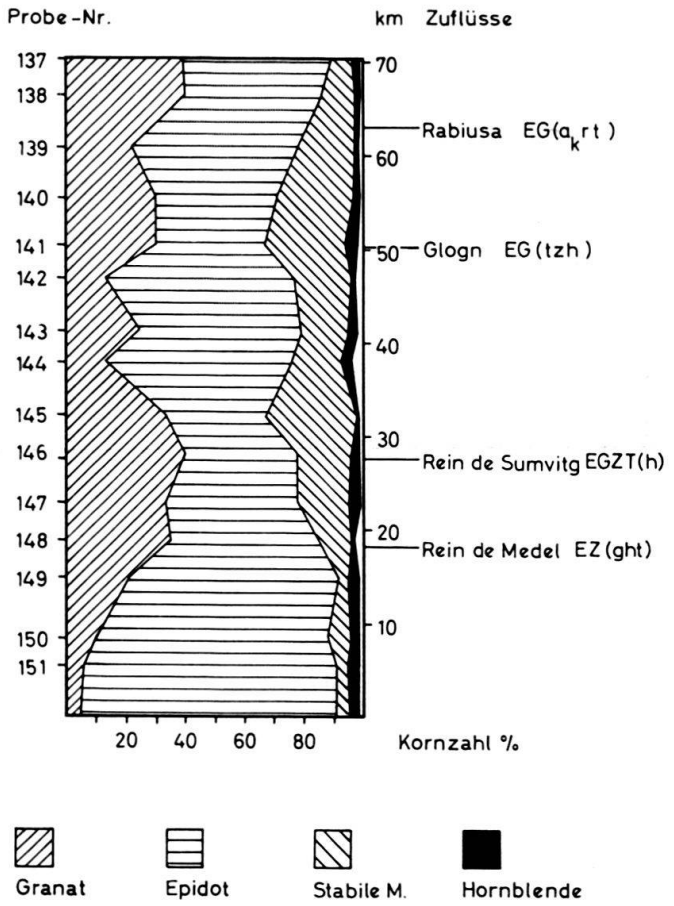

Fig. 15 Schwermineralführung des Vorderrheins.

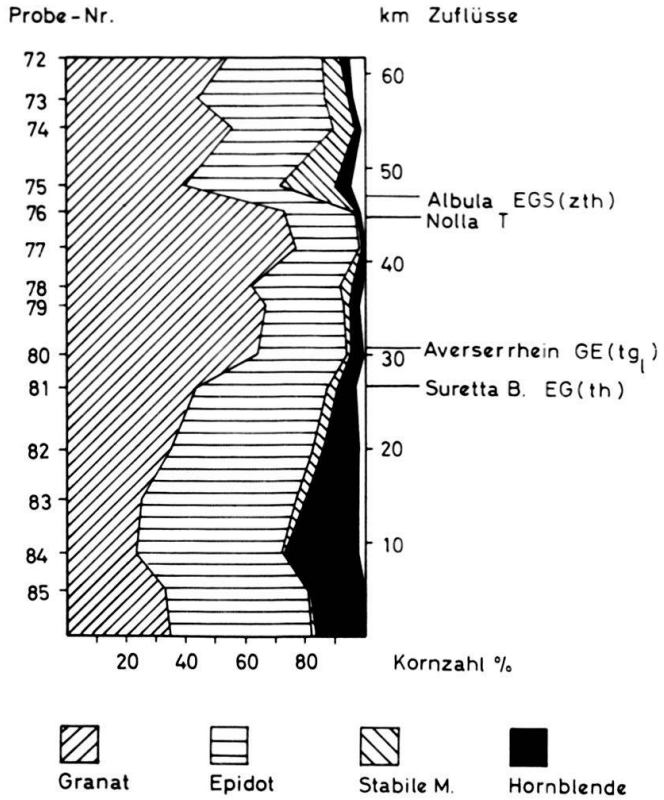

Fig. 16 Schwermineralführung des Hinterrheins.

Fig. 15 zeigt die Schwermineralführung des Vorderrheins. Daraus geht hervor, dass im Verlauf die Schwermineralführung annähernd konstant bleibt. Der Vorderrhein ist epidotreich, besonders aber fällt der grosse Anteil an stabilen Mineralen (hier besonders Zirkon) auf. Die Flussbettsande des oberen Vorderrheins zählen zur Vorderrheinprovinz, deren Epidot- und Zirkonreichtum sich aus den reichlich anstehenden Graniten erklärt. Im Vergleich zum Hinterrhein (Fig. 16) ist der Vorderrhein granatarm. Der Gehalt an Hornblende ist gering, bleibt aber nahezu konstant. Der Einfluss der Zuflüsse lässt sich am Granatgehalt und der Zunahme der stabilen Minerale beobachten.

In Fig. 16 ist die Schwermineralführung des Hinterrheins dargestellt. Der Hornblendegehalt fällt von höheren Werten im Oberlauf auf nahezu konstante Werte ab. Der Einfluss der Albula ist an der Zunahme der stabilen Minerale und der Abnahme des Granatgehaltes ersichtlich.

Fig. 17 zeigt die Schwermineralführung der Ill, des grössten Zuflusses des unteren Rheins. Durch ihren Hornblende- und Staurolithreichtum unterscheidet sie sich von allen anderen Zuflüssen des Rheins. Im Oberlauf führt die Ill Sedimente mit der HE-Assoziation der Silvrettaprovinz, die sich im Verlauf mit der GS-Assoziation der Silvrettaprovinz, die sich im Verlauf mit der GS-Assoziation der Zuflüsse Suggadin-

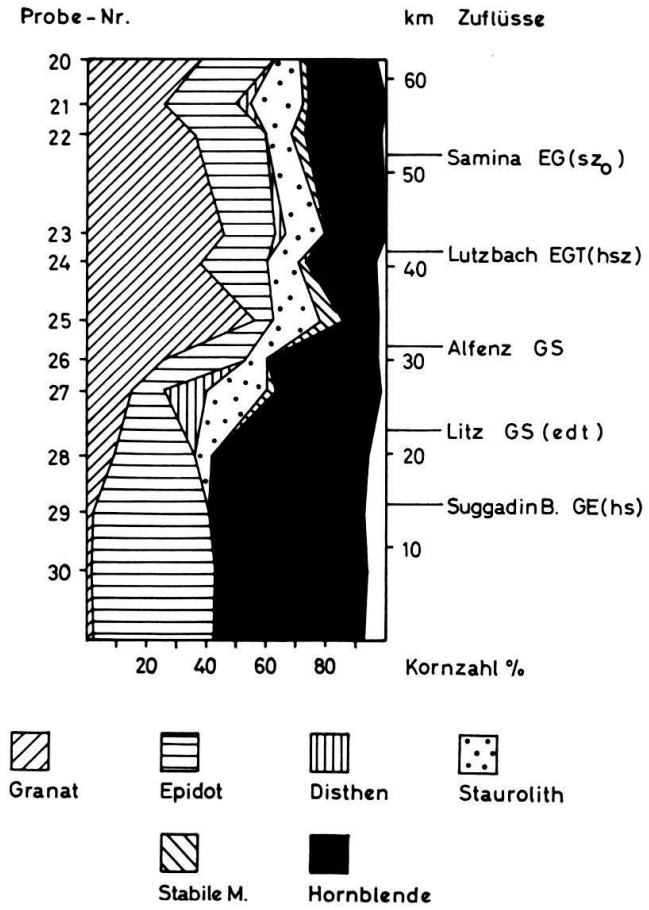

Fig. 17 Schwermineralführung der Ill.

bach, Litz und besonders der Alfenz vermischt. Die Ill beeinflusst die Flussbettsande des Rheins in starkem Masse.

Die Schwermineralführungen weiterer Zuflüsse lassen sich aus den Daten der Originalarbeit ersehen. Sie unterscheiden sich nicht wesentlich von den angeführten Beispielen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Rezente Flussbettsande im Einzugsbereich des Alpenrheins wurden qualitativ und quantitativ auf ihren Mineralbestand untersucht, um deren Einfluss auf die Sedimentbildung im Bodensee erfassen zu können. Mit Hilfe mechanischer, chemischer, optischer und röntgenographischer Methoden wurden 226 Proben aus allen Teilen des Einzugsgebietes analysiert.

A. Granulometrie

Zur Bestimmung der Korngrössenverteilungen wurden Siebanalysen angefertigt. Aus den Ergebnissen wurden die Verhältnisse Kies : Sand : Silt in den einzelnen Proben bestimmt und die Kornsummenkurven aufgezeichnet. Um die verschiedenen Proben besser vergleichen zu können, wurden mit Hilfe der Summenkurven die Korngrössenparameter M_Z, σ_I, Sk_I und K_G errechnet.