

Das Material und die Methoden seiner Untersuchung

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **30 (1937)**

Heft 1

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

eine Hauptrolle spielt, bedeutet jede Dislokationsphase schon an sich eine Verstärkung der Reliefenergie und damit eine Gefällsvermehrung der Vorlandströme, die sich in vermehrter Abfuhr und Sedimentation grobklastischer Gesteine äussert. Hiezu kommt nun noch, dass sich auch der Vorlandtrog bei der fast überreichlichen Schuttbelieferung selber senkte und andauernd vertiefte. Das ergibt sich ohne weiteres aus den faciellen Verhältnissen der Molasse und aus der Mächtigkeit ihrer Sedimente (s. p. 106). Dass diese Senkung des Vorlandes wenigstens zeitweilig mit der Hebung (Dislokation) im Rückland Hand in Hand ging, muss man aus dem frappanten Zusammenfallen von Meeresstransgression und Schottervorstössen an der Oligo-Miozänwende schliessen. Derartige Kippungsbewegungen können als kennzeichnend für orogene Vorgänge betrachtet werden und bedingen den unvermittelt raschen, ruckartigen Einsatz gewaltiger Schuttkegelbildungen. Es ist möglich, dass ein ähnlicher, aber feinerer Mechanismus auch für die rhythmische Sedimentation der einzelnen Nagelfluhorizonte innerhalb eines Schuttkegels verantwortlich ist.

Man ersieht schon aus diesen Bemerkungen die engen gegenseitigen Beziehungen zwischen der Molasse und den Alpen. Die tektonische, stratigraphische, sedimentpetrographische und morphologische Erforschung unserer Molasse und ihres subalpinen Anteils ganz speziell ist daher letzten Endes nicht Selbstzweck, sondern muss stets auch unter dem Gesichtswinkel alpiner Problemstellungen betrieben werden. Nur dann gilt das prophetische, B. STUDER gegenüber geäusserte WORT LEOPOLD VON BUCH's (Lit. 146, p. XXVII), dass „von einer vollständigen Monographie der Molasse die ganze Theorie des Alpengebirges abhängen kann“.

B. Das Material und die Methoden seiner Untersuchung.

Nagelfluh, Sandstein und Mergel sind die am Aufbau der subalpinen Molasse (= s. M.) wesentlich beteiligten orogenen Sedimente. Ihre Verbreitung ist im allgemeinen gegeben durch die Verteilung und gegenseitige Lage distinkter Schüttungszentren. Mit zunehmendem Abstand von solchen gelangt man in die Gebiete abnehmender Korngrössen. Seitliche Übergänge von Nagelfluh in Sandstein und Mergel spielen namentlich im Längsprofil der s. M. eine grosse Rolle. Sie sind auch auf die Tektonik nicht ohne Einfluss. In vertikaler Hinsicht manifestiert sich in der Aufeinanderfolge von Konglomeratkomplexen und nagelfluhfreen Mergel-Sandsteinserien die zyklische Grossgliederung der Molasse. Sie überlagert — in den Nagelfluhgebieten besonders deutlich — oft eine rhythmische Sedimentationsfolge. (Siehe Lit. 90).

1. Die Konglomerate.

a) Qualitative Nagelfluhuntersuchungen haben sich mit der petrographisch-vergleichenden Untersuchung der Komponenten zum Zwecke ihrer Beheimatung zu befassen. Seit der grundlegenden Arbeit von J. FRÜH (Lit. 154) steht die alpine Herkunft der Nagelfluhen unseres Gebietes ausser Frage, d. h. die Grosszahl der Komponenten — wir denken dabei vor allem an das häufige ost-alpine Material (Kristallin und Mesozoika) oder an penninische basische Eruptiva — ist mit heute im Alpeninnern noch anstehenden Gesteinen mehr oder weniger präzise identifizierbar. Auf den eine Identifizierung erschwerenden Umstand, dass manche alpine Nagelfluh-Muttergesteine eine nachmiozäne Metamorphose durchmachten, der ihre Abtragsprodukte eben noch entgingen, ist namentlich von ALB. HEIM (Lit. 66, p. 55) und CADISCH (Lit. 36, p. 118) aufmerksam gemacht worden. Indessen darf nicht übersehen werden, dass wir für eine Reihe, zum Teil sogar prozentual stark vertretener Nagelfluhgerölle der schweizerischen s. M. keine oder nur sehr unsichere alpine Aequivalente kennen. Hieher gehören in erster Linie Gesteine vom Typus der Flyschkalke und -Sandkalke zusammen mit den (am Sommersberg) sie begleitenden Nummuliten-Lithothamnien-Kalken und prachtvoll frischen Quarzporphyren, dann auch gewisse rotgrün gefleckte Alkaligranite, die, wie übrigens manche gewöhnliche rote Granitvarietäten auch, nicht ohne weiteres mit heutigen Bernina-Err-Gesteinen verglichen werden können, sowie gewisse Gneise, Porphyrite, dunkle Quarzite u. a. m. Wir haben es hier somit mit eigentlichen Nagelfluhexotika zu tun, einem Problem also, in bezug auf das E. KRAUS ganz allgemein sagt, dass Exotika — als Deckenstücke oder Sedimentbestandteile — zum integrierenden Bestandteil aller tangential beträchtlich bewegten Deckengebirge gehören. Wir leiten diese exotischen Nagelfluhgerölle aus abgetragenen höheren oder zugedeckten, überfahrenen tieferen Deckenteilen ab, während namentlich in der Allgäuer und Oberbayerischen s. M. noch heute — in Anlehnung an das STUDER'sche Randgebirge — weitgehend alte Randschwellen zu Hilfe gezogen werden (BODEN, WEITHOFER, KOCKEL u. A.). LUDWIG (Lit. 100) hat 1910 — allerdings von anderen Voraussetzungen ausgehend — vorübergehend ähnliche Ansichten geäussert und die Nagelfluhen ganz allgemein von durch Küstenbrandung bearbeiteten Massivschwellen abgeleitet, die schliesslich von ihren eigenen Abtragsprodukten verhüllt wurden. Dass schliesslich alpine Gesteine — wie z. B. die umlagerungsresistenten Silvretta-Amphibolite —, deren Auftreten in der Nagelfluh zum vorneherein erwartet werden müsste, der s. M. fehlen, ist eine mehrfach bestätigte, aber immer noch nicht befriedigend erklärte Tatsache (siehe z. B. Lit. 141, p. 35).

Es kann hier nicht der Ort sein, eine qualitative Geröllanalyse sämtlicher Nagelfluhzentren zwischen Rhein und Aare zu geben, da

Bäuchlenzone zur Blumenschüttung immer stärker hervor (Bunte Konglomerate). Man mag in diesem Verhalten das rasche primäre Zurückbiegen des oberostalpinen Deckenbogens erkennen (Lit. 141), sofern man nicht mit BECK (Lit. 17) das unterostalpine Material z. B. der Thuner Nagelfluhen zur Hauptsache aus dem Wildflysch ableiten will, dessen Gehalt an kristallinen Exotika ebenfalls von E nach W zuzunehmen scheint.

Zur qualitativen Nagelfluhuntersuchung gehören endlich auch Beobachtungen über den Verfestigungsgrad von Konglomeraten oder die Art ihres Bindemittels, über Rotfärbung primärer oder sekundärer Entstehung, über den primären Verwitterungsgrad der Komponenten oder die Häufigkeit diagenetischer Erscheinungen u. a. m., Beobachtungen, die für die Beantwortung mancher Fragen von Bedeutung sein können.

b) Die quantitative Gerölluntersuchung. Geröllzählungen in der schweizerischen Nagelfluh sind unseres Wissens zuerst von J. FRÜH ausgeführt worden. Dieser Autor zählte und bestimmte innerhalb einer abgegrenzten Nagelfluhwandfläche von 1 m² sämtliche Komponenten. Abgesehen von verschiedenen praktischen Schwierigkeiten haften dieser zweidimensionalen Zählmethode — worauf z. B. LIECHTI hingewiesen hat — aus theoretischen Gründen gewisse Mängel an. In der Tat können die Zählresultate nach der FRÜH'schen Methode und der heute allgemein üblichen Auszählung im dreidimensionalen Verbande stark differieren, wie folgendes Beispiel zeigt:

Hohrone-Nagelfluh: Kristallingehalt nach Flächenzählung 77%,
nach Raumzählung 51% (KLEIBER Lit. 88)

St. Galler Nagelfluh: Kristallingehalt nach Flächenzählung 6%, nach
Raumzählung 16% (RENZ Lit. 124).

Bei der räumlichen Geröllauszählung gelangen im Minimum 300 Komponenten einer isolierten Nagelfluhprobe zur Untersuchung, wobei alle Geröllgrößen berücksichtigt werden. Diese Methode setzt allerdings die Herauslösbarkeit der Gerölle aus dem Gesteinsverband voraus, eine Bedingung, die namentlich bei stampischen Kalknagelfluhen oft nur an wenigen Stellen erfüllbar ist. Die wünschenswerte Anordnung der Zählpunkte in bestimmten Profilen muss in diesem Falle oft aufgegeben werden.

Die qualitative Auswahl der zur Auszählung gelangenden Gesteinstypen-Gruppen richtet sich naturgemäss nach dem Gesamtcharakter des in Frage stehenden Nagelfluhkomplexes, sowie nach der Möglichkeit, typische und korrelativ wichtige, nach Alter oder Herkunft zuverlässig bestimmbare Komponenten ausscheiden zu können. Diese Auswahl kann nach rein petrographischen Gesichtspunkten oder nur nach der Herkunft erfolgen; da die Beheimatung aber oft sehr problematisch ist und atypische Komponenten manchmal eine grosse Rolle

spielen, dürfte sich eine Kombination beider Ausleseprinzipien heute noch als zweckmässigste Einteilung empfehlen. Auszählschemata findet man: Für das Napfgebiet Lit. 99 p. 43 und Lit. 52, p. 17. Für die Bäuchlenzone: Lit. 52 p. 24; für die Hohrone-Nagelfluh: Lit. 88; für die Hörnli-St. Galler-Nagelfluh: Lit. 47 und Lit. 124; für die Gäbriszone: Lit. 124 und Lit. 109; für die Sommersbergzone: Lit. 124. Leitsatz sei jedenfalls: Lieber zuviel differenzieren als zu wenig. Wichtig erscheint uns die nicht bei allen Autoren durchgeführte Trennung von metamorphem und nicht metamorphem Kristallin, von Kalken und Dolomiten, von Quarzen und Quarziten, die spezielle Ausscheidung der basischen Eruptiva, der gelben Flyschkalke und -sandsteine u. a. m. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, muss das einmal erprobte Auszählschema innerhalb eines selbständigen Nagelfluhfächers selbstverständlich beibehalten werden. Die Prozentwerte verschiedener Geröllstatistiken stellt man zweckmässig graphisch dar (vergl. beispielsweise Lit. 99).

Neben den innerhalb der Fehlergrenzen einer Geröllstatistik liegenden oder durch reelle, aber rein lokale Abweichungen bedingten Schwankungen weisen die Resultate eines Zählprofiles oft interessante regelmässige Veränderungen auf, die für einzelne Schuttfächer als charakteristisch gelten können. Auffallend ist u. a. die bekannte Regel der Zunahme nichtmetamorphen Kristallins gegen das Hangende (Gäbris, Sommersberg, Kronberg, Rigi, Pfänder), wobei in manchen Fällen (Gäbris-Sommersberg, Kronberg, Rigi) zuoberst wieder eine (teilweise plötzliche) Verarmung an diesen Komponenten festzustellen ist. Auf jeden Fall gilt es zu untersuchen, ob die Veränderung der Geröllführung primär, d. h. durch das alpine Einzugsgebiet verursacht, oder aber sekundär als Folge gewisser Ausscheidungs- bzw. Anreicherungsprozesse bei verschieden langem Transportweg bedingt sei. Obwohl spezielle Studien in dieser Hinsicht für die Nagelfluhen noch kaum vorliegen, erkennt man in bezug auf die zweite Möglichkeit etwa folgendes: Granite vom Bernina- und Err-Albula-Typus, vorab deren grobkörnige Varietäten, zeigen bei zunehmendem Transportweg eine Abnahme. Dasselbe gilt für Gabbros und einen Teil der basischen Eruptiva (Serpentin). Eine relative Anreicherung weisen naturgemäss die widerstandsfähigen Komponenten auf: Quarze, Quarzite, Kieselkalke, Radiolarite, aplitische Granite, Quarzporphyre. Gneise halten sich oft trotz ihrer ausgesprochenen Spaltbarkeit bis hinab zu den kleinsten Geröllen. Dolomite erfahren sehr oft auf Kosten der Kalke eine gewisse Zunahme. Sie sind beispielsweise in der Gäbris-Nagelfluh unter den haselnussgroben Fraktionen stark angereichert. Ähnliches gilt nach C. HABICHT (pers. Mitt.) auch für die Stockberg-Nagelfluh. Im allgemeinen darf für die Molasse-Nagelfluhen wohl gelten, dass sich das Verhältnis des sedimentogenen zum kristallinen Anteil bei zunehmender Transportdistanz = abnehmender Geröllgrösse zu Gunsten der Sedimente ver-

schiebt, wie dies nach GEIGER auch bei fluvioglazialen Schottern der Fall ist. Jedenfalls entsteht aus einer granitarmen Kalknagelfluh bei weiterer Verfrachtung kein buntes granitreiches Konglomerat. Schon aus derartigen Überlegungen erkennt man, dass eine Ableitung beispielsweise der polygenen Hörnli-Kreuzegg-Nagelfluh aus der Kalknagelfluh des Speer oder gar eine solche der an roten Graniten so reichen Aquitannagelfluh des Vierwaldstätterseegebietes aus der Riginagelfluh ein Ding der Unmöglichkeit ist.

Obschon sich geröllstatistische Nagelfluhuntersuchungen bereits in verschiedenen Molassearbeiten (FRÜH, ESCHER-HESS, LUDWIG, GEIGER, LIECHTI, FRÖHLICHER, MUHEIM, KLEIBER u. a.) vorfinden und damit die Grundlagen für eine exaktere Nomenklatur geschaffen sind, weiss man noch heute nicht, welche Konglomerate man als bunte (polygene) Nagelfluhen und welche man als Kalknagelfluhen bezeichnen will. Während einesteils Nagelfluhen mit nur 1—3% Kristallingehalt bereits als bunt gelten (z. B. GUTZWILLER), wird von andern Autoren für das Prädikat „polygen“ ein Mindest-Kristallinanteil von 10% verlangt. Schliesslich wird man auch der Verteilung der sedimentogenen Komponenten gebührende Aufmerksamkeit schenken müssen, denn eine „Kalk“-Nagelfluh, die über 60% Dolomite oder Quarzite oder ähnliches führt, ist eben keine Kalknagelfluh mehr. Ebenso verdient eine bunte, nur metamorphes Kristallin führende Nagelfluh gegenüber einer solchen, die nur nichtmetamorphe Eruptiva enthält, in der Bezeichnung hervorgehoben zu werden u.s.w. Aus solchen Erwägungen und im Hinblick auf eine dringend nötig gewordene einheitliche Benennung der Molassenagelfluhen sehen wir uns veranlasst, an dieser Stelle eine präzisere Nomenklatur in Vorschlag zu bringen:

Die alteingebürgerte Unterscheidung zwischen „Kalk“-Nagelfluhen und polygenen Nagelfluhen wird beibehalten. Wir definieren aus Zweckmässigkeitsgründen:

„Kalk“-Nagelfluhen: Kristallingehalt (Eruptiva + Gneise + Glimmerschiefer, ohne Quarze bzw. Quarzite)....0—9%³⁾
 Bunte Nagelfluhen: Kristallingehalt: 10 und mehr %⁴⁾
 (extrem bunte Nagelfluhen: über 40%)

Die weitere, für die Nomenklatur massgebende Differenzierung dieser beiden Gruppen nimmt auf die Zusammensetzung des sedimentogenen %-Anteils Rücksicht und erfolgt auf Grund der Haupt-

³⁾ Es ist, angesichts der Fehlergrenzen der statistischen Auszählung, unsinnig, bei den %-Angaben noch Kommastellen berücksichtigen zu wollen. Man runde stets auf ganze Zahlen auf oder ab.

⁴⁾ Dass die Bezeichnung „bunt“ seit langem nur auf kristalline Gerölle Bezug hat, während sie früher ganz allgemein auf die bunte Farbe eines Konglomerats hinweisen sollte und daher neben dem Kristallin vor allem auch Radiolarite, Quarze, weisse oder rote Kalke für diese Bezeichnung „bunt“ massgebend waren, sei nebenbei bemerkt.

gemengteile (10 und mehr %). Nun zeigt eine Überprüfung der heute vorhandenen etwa 80 Nagelfluh-Auszählungen (von LIECHTI, MUHEIM, ESCHER-HESS, FRÖHLICHER, LUDWIG, KLEIBER, RENZ), dass bei „Kalk“-Nagelfluhen

die Summe: Kalke incl. Kieselkalke (= K) + Dolomite (= D)
+ Quarzite (= Q)

bei polygenen Nagelfluhen

die Summe: Kristallin (= C) + K + D + Q

fast ausnahmslos mindestens 60%, meist aber 70 und 80%, erreicht, sodass, abgesehen vom Kristallin, die 3 Gesteinsgruppen K, D und Q normalerweise zur Charakterisierung eines Konglomerates durchaus genügen. Die selbe Feststellung gilt übrigens auch für quartäre Schotter (siehe die Zählungen von FREI, ZINGG u. a.).

Setzen wir also fest, dass die charakteristischen Hauptgemengteile von links nach rechts mit zunehmendem Zahlenwert angeschrieben werden, zerlegen bei bunten Nagelfluhen das Gesamtkristallin in metamorphes Kristallin = m und in nichtmetamorphes Kristallin = Eruptiva = e (wobei der Ausdruck für das Kristallin an den Anfang gesetzt wird und e—m in diesem Falle ein Vorwiegen von e über m und m—e das umgekehrte bedeutet⁵), so ergeben sich beispielsweise folgende Wortbildungen:

für „Kalk“-Nagelfluhen: kristallinfreie- bzw. -arme bzw. -führende Dolomit-Kalknagelfluh oder Kalknagelfluh oder Quarzit-Dolomit-Kalknagelfluh u.s.w. (wobei man sofort weiss, dass z. B. eine Dolomitnagelfluh normalerweise mindestens 60% Dolomit, eine Quarzit-Kalknagelfluh im allgemeinen mehr als 30% K und weniger als 30% Q führt).

für bunte Nagelfluhen: Bunte bzw. extrem bunte e- bzw. m- bzw. e—m- bzw. m—e-Quarzit-Dolomit-Kalk-Nagelfluh oder Kalk-Dolomit-Nagelfluh oder Quarzit-Nagelfluh u.s.w. (wobei man also aussagen kann, dass z. B. bei einer e—m-Dolomit-Nagelfluh das Kristallin und die Dolomite zusammen mindestens etwa 60% ausmachen, und dass unter dem Kristallin die nicht-metamorphen Eruptiva vorwiegen und K und Q unter 10% auftreten oder überhaupt fehlen).

Nur in seltenen Ausnahmefällen (von den 80 geprüften Beispielen nur in 2 Fällen!) sinkt die Summe K + D + Q bzw. C + K + D + Q unter 60%. Man konstatiert dann das Vorhandensein eines anderen typischen Hauptgemengteils (z. B. Hornstein, Sandstein, Quarz oder ähnliches), der einen der gewöhnlichen charakteristischen Hauptgemengteile quasi vertritt und die Summe auf mindestens 60% ergänzt. In diesem Falle schreibt man z. B.:

⁵) Bei m—e oder e—m kann e oder m für sich kleiner als 10% sein. Nur e + m zusammen müssen mindestens 10% ergeben.

Kristallinfreie Kalk-Flyschsandstein-Nagelfluh (wobei also ausnahmsweise Kalke + Flyschsandsteine ca. 60% ausmachen und die Flyschsandsteine überwiegen) oder m-Dolomit-Quarz-Nagelfluh u.s.w.

Es mag auch im Falle, wo die charakteristischen Hauptgemengteile mindestens 60% erreichen, unter Umständen das Bedürfnis vorliegen, einen andern auffallenden Hauptgemengteil in die Bezeichnung mitaufzunehmen. Um diesen Fall von den soeben erwähnten Ausnahmefällen zu unterscheiden, stellt man diesen andern Hauptgemengteil in (.....) an die seinem relativen Zahlenwert entsprechende Stelle z. B.:

m—e-Dolomit(Quarz)-Kalk-Nagelfluh oder

Kristallinführende (Radiolarit)-Quarzit-Kalknagelfluh.

Ein paar konkrete Beispiele (Nr. I—XI von Molassenagelfluhen, Nr. XII—XIV von quartären Schottern) mögen die Anwendung der Nomenklatur besser darlegen als viele Worte. Sie dürfen gleichzeitig als Hinweis auf den relativ beschränkten Variationsbereich der Molassenagelfluhen gelten:

	„Kalk“-Nagelfluhen						Bunte Nagelfluhen					Schotter		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
e		2		8	7	3		55	9	39	21	5	7	5
m				1	1		11		8	15				3
Q		6		3		1	5	24	4	12	1	8	11	11
D			29	54	7	3	11		7			16	5	20
K	96	67	47	28	60	39	57	16	48	31	74	55	60	44
Verschiedenes . .	4	25	24	6	25	54	16	5	24	3	4	16	17	17
Summe Q + D + K bezw. C + Q + D + K	96	73	76	85	67	43	84	95	76	97	96	79	76	75

- I = Kristallinfreie Kalknagelfluh (Sommersberg-Basisnagelfluh, RENZ, Lit. 124);
 II = Unter Annahme $D < 10\%$: Kristallinarmer Kalknagelfluh (Bäuchlen-nagelfluh bei P. 1772 m, FRÖHLICHER, Lit. 52);
 III = Kristallinfreie Dolomit-Kalknagelfluh oder, weil unter den 24% Versch. 14% Radiolarite: kristallinfreie (Radiolarit)-Dolomit-Kalknagelfluh (Zählung Holderegg MUHEIM, Lit. 116, p. 246);
 IV = Kristallinführende Kalk-Dolomitm-nagelfluh (Zählung Binz-Hub v. ESCHER-HESS, Lit. 47);
 V = Kristallinführende Kalknagelfluh (Riginagelfluh siehe p. 43);
 VI = $Q + D + K < 60\%$, unter den 54 % Versch. sind 33% Eozänsandsteine, also: Kristallinarmer Eozänsandstein-Kalknagelfluh (Zählung Hittisberghöhe MUHEIM, Lit. 116, p. 234);
 VII = Bunte m-Dolomit-Kalk-Nagelfluh (Gäbrisbasisbank, RENZ, Lit. 124);
 VIII = Extrem bunte e-Kalk-Quarzit-Nagelfluh (Napfnagelfluh, Zählung I in LIECHTI, Lit. 99) (Annahme $K > 10\%$);
 IX = Bunte e—m-Kalk-Nagelfluh (Gäbrisnagelfluh, Zählung Schwäbrig, RENZ, Lit. 124);

- X = Extrem bunte, dolomitfreie e—m-Quarzit-Kalk-Nagelfluh (Hohronenagelfluh, Zählung Gutschsäge in KLEIBER, Lit. 88);
- XI = Unter Annahme $D > 10\%$ und $e > m$: Bunte e—m-Dolomit-Kalk-Nagelfluh, Zählung Fruttegg in FRÖHLICHER, Lit. 52);
- XII = Kristallinarmer Dolomit-Kalkschotter (Aatalschotter, Zählung ZINGG, Lit. 151, p. 130);
- XIII = Kristallinführender Quarzit-Kalkschotter (Hochterrasse von Bülach, Zählung ZINGG, Lit. 151, p. 130);
- XIV = Kristallinführender Quarzit-Dolomit-Kalkschotter (Deckenschotter von Rheinsberg nach R. FREI: Monographie des Deckenschotters, p. 111).

Zur quantitativen Nagelfluhuntersuchung gehören auch Geröllgrössenmessungen. Ihnen kann, da die Unterschiede in der Geröllführung verschiedener Nagelfluhbezirke oft mehr quantitativer als qualitativer Natur sind, gerade auch für die Erkenntnis von Aufarbeitungs- oder Umlagerungsvorgängen erhöhte Bedeutung zukommen. Eine vollständige Schotteranalyse betrifft natürlich eine Anteilbestimmung sämtlicher Korngrössenintervalle innerhalb einer Nagelfluhprobe. Die so erhaltene Mischungskurve gestattet Rückschlüsse auf die Entstehungs- und Ablagerungsbedingungen eines Schotters. So konnte ZINGG (Lit. 151) aus der kreisbogenförmigen Mischungskurve für eine Tortonnagelfluh auf deren fluviatile, nicht-deltaartige Bildung schliessen. Mechanische Nagelfluhanalysen dürften die Frage nach dem Schüttungsmechanismus der so weiträumig sich erstreckenden Konglomeratbänke unserer Nagelfluh weitgehend klären helfen.

Vollständige Schotteranalysen mittelst Schublehre und Siebsatz sind indessen für den Molassegeologen nicht nur aus Zeitmangel, sondern sehr oft wegen der Verkittung der Nagelfluh praktisch nicht durchführbar. Da aber das Bedürfnis nach Geröllgrössenangaben besteht, spricht er oft von der mittleren Geröllgrösse eines Nagelfluhhorizontes und bezeichnet sie als kopf-, apfel-, faustgross u.s.w. Erscheinen solche Bezeichnungen manchmal auch recht anschaulich und sind sie jedenfalls besser als gar keine, so sind sie andererseits doch viel zu wenig differenzierbar, um beispielsweise Vergleiche über den relativen Transportweg (unter Voraussetzung gleicher Transportkraft) oder über die Vorstossintensität zweier verschiedener Gerölllager (unter Voraussetzung gleichen Transportweges) zu gestatten. Für solche Fälle charakterisiert man die Geröllgrössen für eine Nagelfluhbank zweckmässig durch die grössten Gerölle, die ihrerseits Rückschlüsse auf maximale Bedingungen erlauben. Auf Vorschlag von NIGGLI dürfte sich in der Praxis folgendes Vorgehen empfehlen: Man messe im Bereiche eines guten, grösseren Aufschlusses mittelst Schublehre die 3 Hauptdurchmesser der 10 grössten kristallinen, sowie der 10 grössten sedimentogenen Nagelfluhgerölle und bestimme ihr approximatives Volumen nach der Formel eines dreiaxigen Ellipsoides. Durch Mittelung erhält man ein mittleres Maximalvolumen für Kristallin, ein ebensolches für die Sedimente. Setzt man diese Volumina gleich dem Volumen einer

inhaltsgleichen Kugel, so errechnet sich je ein mittlerer Maximaldurchmesser für die beiden Geröllgruppen, womit direkt vergleichbare, einfache und anschauliche Zahlenwerte geschaffen sind. Bemerkenswert ist, dass bei Nagelfluhen mit einem Kristallingehalt zwischen 10 und 30% dieser mittlere Durchmesser für die Sedimentmaxima fast ausnahmslos grösser ist als für das Kristallin (Gäbriszone, Hörnli-Töss-Fächer). Bei extrem bunten Nagelfluhen (Hohrone) werden die grössten Gerölle vom Kristallin gestellt.

Es mag in diesem Zusammenhang nicht ohne Interesse sein, sich einmal über die aus der s. M. zwischen Rhein und Aare bekannt gewordenen grössten Nagelfluhgerölle Rechenschaft zu geben. Wenn diese Extreme bezw. Maxima im allgemeinen auch sehr stark aus dem Rahmen der mittleren Geröllgrössen der sie enthaltenden Konglomerate herausfallen (Ausnahmen machen nur eigentliche Riesenkonglomerate, wie sie z. B. in der hangenden Kronbergzone auftreten), so sind sie doch für die Frage nach den Transportverhältnissen (Transportweg bezw. -kraft) von Bedeutung. Siehe Tabelle I.

Tabelle 1.**a) Oligozäne Nagelfluhen:**

	Extreme:	Maxima:	Bemerkungen:
Speergebiet	100 cm (Flyschkalk) 70 cm (Gneis)	40—60 cm nicht selten (z. B. Biberlikopf) 20—30 cm häufig.	Grösste Gerölle meist Flyschkalke, Kristallin sehr selten. Nach FRÜH, ARN. HEIM u. a.
Kronbergzone	25—30 cm (Granit) 40 cm (Sediment)	20 cm nicht selten	Pfingstbodengebiet Nach HABICHT u. eig. Beobachtgn.
Riesenkonglomerat der Kronbergzone	120—200 cm (Flyschsandstein)	60—80 cm 30—40 cm häufig	Ausschliesslich Flyschsdste. Nach HABICHT u. eig. B.
Rigi-Rossberg-Zone	40—50 cm (Flyschk.) 30 cm (roter Granit)	20—30 cm nicht selten.	Nach ESCHER-HESS, FRÜH u. eig. Beob.
Bäuchlen-Farnern-Zone	30—40 cm (meist Flyschkalk)	20 cm nicht selten	Nach KAUFMANN, FRÜH u. eig. Beob.
Heubodenzone	90—100 cm (Flyschsandsteine)	30 cm nicht selten	Nach MOLLET, KAUFMANN u. eig. Beob.
Blumenzone	ca. 500 cm (Flyschsandst. ind. Stampbachschlucht)	200—300 cm (Ngfl. v. Gunten) 30—50 cm häufig	Vorwieg. Flyschkalk, seltener Quarzit & Kristallin. Nach BECK u. eig. Beob.
Gäbriszone	ca. 30 cm f. Krist. ca. 35 cm f. Sed.	ca. 20 cm	Nach LUDWIG u. eig. Beobachtungen.
Hohronezone	ca. 20—25 cm für Kristallin	10—15 cm	Nach KLEIBER und eig. Beobachtgn.

b) Miozäne Nagelfluhen:

	Extreme:	Maxima:	Bemerkungen:
Hörnlfächer	35 cm f. Krist. 40 cm f. Sed.	20—30 cm relativ häufig	Nach LUDWIG u. eig. Beobachtungen
Sommers- bergzone	80 cm	50—60 cm 30—40 nicht selt.	Ausschliessl. Flysch-, Nummul.-Lithoth.- Kalke. Nach eig. Beobachtungen
Napffächer	120 cm (Rebloch- schlucht n. HAUS)	40—50 cm 20—30 cm häufig	Meist Quarzite. Nach LIECHTI, HAUS u. eig. Beobachtgn.
Belpberg	120 cm	50—100 cm	Ausschliessl. Flysch- sandkalke. Nach RUTSCH.

Will man die angeführten Geröllgrössenzahlen zu den in Frage kommenden Transportdistanzen in Beziehung setzen, ist es nötig, Geröllgrössenmessungen an heutigen Flusssystemen zum Vergleich heranzuziehen. Da verdienen die Beobachtungen LUDWIG's (Lit. 100 und 102) an heutigen Rheingeröllen besondere Beachtung. LUDWIG stellte folgendes fest: Bei rein fluviatilem Transport gelangen im heutigen Rhein Punteglias- und Albulagranit mit maximalen Gerölldurchmessern bis zu 30 cm etwa bis in die Gegend von Zizers. Beide Gesteine liegen hier ca. 50 km von ihrem nächsten Anstehenden entfernt. Nach weitem 30 km Flusstransport weist bei Buchs der grösste Puntegliasgranit noch 20 cm, der grösste Albulagranit noch 10 cm Länge auf, während weitere 10 km stromabwärts, im Raume Salez-Rüti-Oberriet, beide Gesteine als Gerölle zu existieren aufgehört haben. Sie sind also auf etwa 90 km (max.) Transportweg zu Sand und Ton zerrieben worden.

Heutige Gefälls- und Wasserverhältnisse vorausgesetzt, würden darnach beispielsweise Granite vom Albula-Bernina-Typus im mittleren Hörnlfächer, wo sie maximale Längen von etwa 30 cm aufweisen, gerade etwa 50 km Transportweg hinter sich haben; d. h. ihr nächstes Anstehendes müsste — ohne Berücksichtigung der post-miozänen Faltung — etwa im Tödigebiet gelegen haben. Zieht man aber den Zusammenschub der subalpinen Molasse und des nördlichen alpinen Gebietes in Betracht und berücksichtigt, dass die als Schuttlieferanten der Nagelfluh fungierenden Decken den Bereich der nördlichen Zentralmassivzone vormiozän wohl nie wesentlich nach N überschritten haben, so dürfte sich der in Frage stehende Transportweg nahezu verdoppeln. Es resultiert so eine gewisse Unstimmigkeit zwischen Geröllgrösse und Transportdistanz — man denke auch etwa an die 100 cm-Blöcke des Belpberges, die noch heute gegen 15 km

nördlich des Alpenrandes liegen —, welche nur durch Annahme primär grösserer Gefälle oder grösserer Wassermengen oder streckenweise anderer Transportmittel — allein oder in Kombination — behoben werden kann. Verstärkte Gefällsverhältnisse mögen in den einzelnen hochorogenen Bauphasen sehr wohl vorhanden gewesen sein. Doch ist aus isostatischen Gründen nicht etwa anzunehmen, dass die Alpen einst 2-, 3- oder noch mehrfach so hoch gewesen seien wie heute. Auch dürfte im Molassevorland selber ein ziemlich flaches Gefälle geherrscht haben, wie man aus den allgemeinen Sedimentationsverhältnissen schliessen kann. Einen Hinweis für wenigstens periodisch grössere schuttransportierende Wassermengen als heute erblicken wir ohne weiteres in der gewaltigen Ausdehnung der Nagelfluhfächer im allgemeinen, in der weiträumig-flächenhaften Erstreckung der sie zusammensetzenden Nagelfluhhorizonte und im Fehlen rinnenartiger Aufschotterungen beschränkter Breite im speziellen. Damit aber berühren wir mit dem verstärkten Abfluss aus dem Gebirge von selber klimatische Fragen. SACCO (Lit. 138) hat kürzlich in einer bemerkenswerten Arbeit über das Turiner Tertiär auf die Bedeutung von Diluvial-(-Pluvial-)Perioden bei der Entstehung groborogener Vorlandsedimente hingewiesen. Den Zeiten intensiver Regenniederschläge an der Abdachung des aufsteigenden Gebirges würden im zentralen Orogen schon zur Tertiärzeit Glazialperioden entsprechen und SACCO steht nicht an, den Transport der bis zu 10 m (!) grossen Blöcke z. B. des Turiner „Elveziano“ zu einem Hauptteil durch Eis zu erklären. Das Postulat SACCO's für den S-Rand der Alpen verdient auch für unsere subalpinen Nagelfluhen mit ihren teilweise auch nicht zu verachtenden Geröllmaxima (siehe Tabelle) alle Beachtung und die Frage, ob sich nicht auch für sie zwischen Abtrag im Gebirge und zweifellos fluviatildiluvialer Aufschüttung (Schuttfächerform!) im Vorland ein mehr oder weniger grosses Stück Gletschertransport einschaltete, ist mindestens der Prüfung wert. Wir schliessen diese Ausführungen mit einem Zitat SACCO's, das sich auf die Nagelfluhfächer des Napf, Hörnli, Gibloux, Guggisberg, Pfänder etc. bezieht:

“Tali deposizioni marine quasi deltoidi indicano chiaramente una irradiazione per fluitazione e non un'azione (almeno diretta) glaciale; ciò che però non distrugge l'idea che esistessero contemporaneamente ghiacciai sulle non lontane prospicienti regioni alpine, da cui derivavano tali grandiose fluitazione, come anche oggi si verifica. Già nel 1852 DOLLFUS AUSET accennava a depositi di apparenza glaciale nel Miocene del Righi., (p. 111).

2. Die Sandsteine und Mergel.

Der psammitisch-pelitische Anteil der Molassesedimente umfasst, seinen natürlichen Ablagerungsverhältnissen entsprechend, noch kaum zur Entmischung gelangte Mischgesteine von Ton, Sand und Karbonat. Endprodukte wie reine Tone, Quarzsande oder Kalksteine spielen eine durchaus untergeordnete Rolle; die Quarzsande verdanken ihre

Entstehung zudem vorwiegend sekundären Entkalkungsprozessen. Schwer charakterisierbare Sandstein- und Mergeltypen dominieren also. Den kleindetritischen Molassesedimenten kommt, rein mengenmässig betrachtet, grössere Bedeutung zu als den Konglomeraten. Sie überwiegen, mit wenigen Ausnahmen, selbst in den ausgesprochenen Nagelfluhbezirken der subalpinen Zone.

Der mittlere Karbonatgehalt der Psammite — unter denen übrigens Kalksandsteine eine weitaus grössere Rolle spielen als silikatreiche Arkosetypen wie die granitischen Sandsteine — sowie der Pelite der schweizerischen Molasse ist von NIGGLI auf mindestens 20—30% geschätzt worden. Die restlichen Prozente verteilen sich auf sandig-tonige Komponenten. Dieser Karbonatgehalt — vorwiegend CaCO_3 — wird im Hinblick auf das silikatreiche Rückland als relativ hoch betrachtet. Indessen ist in diesem Zusammenhange zu betonen, dass auch der Kristallin- bzw. Silikatgehalt der Nagelfluhen, als deren detritische Aequivalente die Sandsteine und Mergel aufzufassen sind, auf Grund statistischer Auszählungen meist ganz bedeutend kleiner ist, als man im allgemeinen anzunehmen geneigt wäre. Es werden daher wohl gerade die höheren, abgetragenen alpinen Decken primär nicht unbedeutende Sedimenthüllen aufgewiesen haben.

a) Die relativ grosse petrographische Einförmigkeit der Molassepsammite hat neuerdings Anlass gegeben, dass neben der gewöhnlichen, aber gerade auch im Hinblick auf die Glaukonit- und Foraminiferenfrage (siehe p. 111 ff.) nicht zu vernachlässigenden Dünnschliffuntersuchung auch die Schweremineraluntersuchung der Molassesandsteine bei uns Eingang gefunden hat. Der Zweck dieser andernorts schon lange angewendeten sedimentpetrographischen Methode ist gerade für die s. M. ein mehrfacher: Sie soll in erster Linie — unter der Voraussetzung natürlich, dass einzelnen stratigraphischen Horizonten ein bestimmter Schweremineralgehalt eigen ist — stratigraphische Korrelationen ermöglichen helfen. Dann lassen sich aus den Schweremineralien an sich auch Rückschlüsse auf die Petrographie des Rücklandes ziehen (herkunfts- und umlagerungsempfindliche Mineralien). Der variable Gehalt an Schweremineralien oder Schweremineralkombinationen ermöglicht schliesslich auch eine exaktere petrographische Nomenklatur der eintönigen Sandsteinproben (z. B.: Granat-Staurolith-Sandstein, Epidot-Zirkon-Granat-Kalksandstein u. ä. m.).

Die qualitative und quantitative (statistische) Schweremineraluntersuchung entspricht somit im Grunde völlig der früher beschriebenen Nagelfluhanalyse, mit dem einzigen Unterschied, dass bei dieser bestimmte Mineralaggregate (Gesteine), bei jener deren desaggregierte Einzelmineralkörner die Studienobjekte bilden, womit die Möglichkeit zu Rückschlüssen auf die petrographische Beschaffenheit des Rücklandes von selbst auf wenige besonders charakteristische Mineralien

reduziert wird (blaue Hornblenden, Epidot, Disthen). Bedenkt man weiter, dass sich bereits zwischen Nagelfluhgeröll und Abtrag im Gebirge der Transportweg mit all den Möglichkeiten von Umlagerung und Wiederabsatz, Mischung, Absaigerung, Verwitterung und dergl. einschaltet, und dass vom Nagelfluhgeröll zum Mineralkorn erneut ein weiter und unberechenbarer Weg führt, der primäre, unter Umständen zu brauchbaren stratigraphischen Korrelationen anwendbare Differenzierungen noch weiter zu verwischen imstande ist, so wird man a priori wenigstens für die s. M. dem Studium der für spätorogene Sedimentation besonders typischen Nagelfluhbildungen gewisse Vorteile zubilligen müssen.

Es ist das Verdienst von A. VON MOOS, mit seiner Arbeit (Lit. 115) eine wichtige Grundlage für die Schweremineraluntersuchung gerade auch der s. M.-Psammite geschaffen zu haben. Seine, schon auf Grund eines (dem Zweck der Arbeit entsprechenden) weitmaschigen Proben-netzes erhaltenen Ergebnisse sind allerdings, soweit sie die Möglichkeit stratigraphischer Korrelierung betreffen, erwartungsgemäss wenig ermutigend. Ergab sich doch, dass innerhalb der Schweremineral-kombinationen eine weitgehende Monotonie vorhanden ist, dass sich ähnliche Kombinationen über mehrere Stufen und über weiträumige Gebiete erstrecken. Wenn v. Moos trotzdem gewisse vertikale und horizontale Regelmässigkeiten erkennen will und z. B. innerhalb seiner voralpinen Molasseprovinz (= M-Provinz) gewisse Unter-provinzen M_I , M_{Ia} , M_{II} u.s.w. unterscheidet, so können wir ihm hierin auf Grund eigener Detailstudien nicht ohne weiteres folgen. Wir kommen je länger je mehr zur Überzeugung, dass schon die Schwere-mineralführung einer einzigen Sandsteinbank sowohl vertikal wie horizontal auf kleinstem Raume stärksten Schwankungen unterworfen sein kann, und zwar sowohl quantitativ wie qualitativ. Dies gilt speziell in Bezug auf den herkunfts- und umlagerungsempfindlichen Epidot, dessen sedimentpetrographische Rolle noch keineswegs abgeklärt erscheint. Es ergäbe sich so die Notwendigkeit, schon an einer einzigen, engbegrenzten Lokalität auf Grund einer ganzen Reihe von Probeentnahmen einen statistischen Mittelwert des Schweremineral-gehaltes zu bilden, womit die Schweremineralcharakterisierung ganzer Schichtkomplexe und Stufen praktisch fast unmöglich wird. Bei der v. Moos'schen, auf Grund eines sehr weitmaschigen Netzes der Probe-entnahmestellen gewonnenen provinziellen Gliederung muss daher dem Zufall ein nicht zu vernachlässigender Einfluss zugestanden werden. Es ist daher nicht zu verwundern, dass sich beispielsweise die nach v. Moos im Burdigalien-Helvétien von St. Gallen-Rorschach vorherrschende epidotarme M_I -Provinz als sehr epidotreiche M_{II} erwiesen hat. Wenn also, soviel bis heute zu erkennen ist, die Schwere-mineraluntersuchung der s. M. für stratigraphische Zwecke im all-gemeinen zu versagen scheint, so eröffnet sie immerhin interessante Perspektiven für andere sedimentpetrographische Probleme. Wir

denken hier z. B. vor allem an die Beziehungen zwischen dem Geröllbestand der Nagelfluhen und dem Schwermineralgehalt der Sandsteine, welche als detritische Äquivalente dieser Konglomerate zu gelten haben. Merkwürdigerweise zeigt sich, dass zwischen den Schwermineralien (Akzessorien) der Nagelfluhgesteine und denjenigen der diesen Konglomeraten eingelagerten Sandsteinen nicht immer Übereinstimmung herrscht (Epidotreichum in den Sandsteinen der ausgesprochenen Kalknagelfluhschüttung des Pfänders). Zur Lösung derartiger und anderer Probleme (z. B. Herkunft von Staurolith und Disthen, welche Mineralien in den Nagelfluhgesteinen unbekannt sind) sind daher weitere Schwermineraluntersuchungen durchaus nötig. Man mag sich dabei vielleicht auch einmal die Frage vorlegen, ob es in Zukunft methodisch nicht richtiger wäre, den Prozentanteil der zur Statistik gelangenden Schwermineralien nicht wie bisher nur zur Gesamtmenge der Schwerefraktion an sich, sondern auch zum Gewichtsanteil dieser Schwerefraktion an der ganzen Sandsteinprobe in Beziehung zu setzen. Und schliesslich wird es nötig sein, durch neue praktisch anwendbare Methoden auch die leichte Fraktion (Feldspäte, Glaukonit) in den Kreis sedimentpetrographischer statistischer Untersuchungen miteinzubeziehen.

b) Man hat auch die Schlämmanalyse der Sandsteine und namentlich der Mergel der Molasseforschung dienlich machen wollen (GEIGER, LIECHTI), leider wie im Fall der Schwermineralien mit dem Ergebnis, „dass es unzulässig ist. . . ., aus den Schlämmdiagrammen stratigraphische Schlüsse zu ziehen.“ (Lit. 99, p. 60). Es sei der Vollständigkeit halber auch noch erwähnt, dass — ein Vorgehen, das für die s. M. angesichts ihrer Facies allerdings zum voraus hoffnungslos erscheint — für die Oehninger Süswasserkalke neuestens auch pollenanalytische Methoden möglich geworden sind⁶⁾.

C. Mächtigkeit der subalpinen Molasse.

Um für die Gesamtmächtigkeit der s. M.-Schichtfolge Anhaltspunkte zu gewinnen, seien zunächst einige ausgewählte Mächtigkeitszahlen der einzelnen stratigraphischen Horizonte zusammengestellt:

⁶⁾ A. BACMEISTER: Pollenformen aus den Obermiozänen Süswasserkalken der Oehninger Fundstätten am Bodensee. In: E. RÜBEL: Bericht über das geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich für das Jahr 1935. Zürich 1936.