Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 57 (1964)

Heft: 1

Artikel: Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen

Autor: Füchtbauer, Hans

Kapitel: Regionale Ergebnisse

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-163140

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: 09.07.2025

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

Die untere Zeile enthält Angaben über die Leichtminerale, und zwar bedeutet:

1. Zahl = Feldspatgehalt } in Kornzahlprozenten der Fraktion 0,09–0,15 mm
2. ,, = Hornsteingehalt }
3. ,, = Karbonatgehalt (Gew.-%)
4. ,, = Calcit/Dolomitverhältnis

(Das letztere wurde logarithmisch (graphisch) gemittelt). Liegt keine Messung vor, so ist ein Strich vermerkt. Gelegentlich ist als 5. Zahl der Anteil undulös auslöschender Quarze (in % aller Quarze) angegeben.

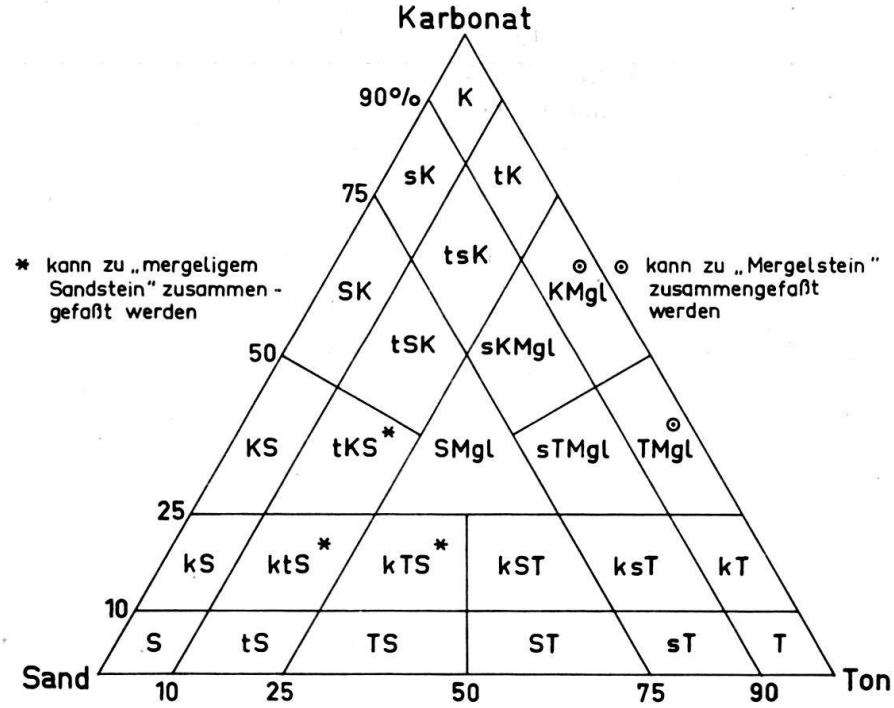

Fig. 3. *Grunddiagramm* Sand-Ton-Karbonat nach FÜCHTBAUER und MÜLLER (aus FÜCHTBAUER, 1959). S = Sandstein, Sand- oder stark sandig, s = sandig, K(D) = Kalkstein(Dolomit), Kalk- (Dolomit-) oder stark kalkig (dolomitisch), k = kalkig (dolomitisch), T = Tonstein, Ton- oder stark tonig, t = tonig, Mgl = Mergelstein.

2. Regionale Ergebnisse

2.1. Oberflächenprofile am südlichen und nördlichen Beckenrand

(von Osten nach Westen, s. Fig. 1).

Innerhalb jedes Gebietes werden die Proben entsprechend ihrer Numerierung vom Hangenden zum Liegenden besprochen. In jedem Abschnitt wird zu Beginn kurz die Tektonik skizziert und angegeben, aus welchen tektonischen Einheiten die Proben stammen.

2.1.1. *Traungebiet*

Eine gefaltete Molasse fehlt im Trauntalprofil (GANSS & SCHMIDT-THOMÉ 1955, HAGN und HÖLZL 1952). Die Vorlandsmolasse grenzt steil aufgerichtet unmittelbar an das Helvetikum.

Burdigal (Proben 1–3) — g, E H A t s (3)
24. 1. 46. 2,6

Diese verhältnismässig feinkörnige Serie unterscheidet sich vom Liegenden am auffälligsten durch das Überwiegen des Calcits und den hohen Gehalt an

Hornblende. Bei letzterer handelt es sich nach Herrn Dr. KARL z. T. um Barroisit, die typische Hornblende der Tauernkristallisation (KARL 1959).

Aquitan (Proben 4–5) G, SEATdhz (2)
23. 0. 40. 0,5

Die Proben stammen aus der «Blauen Wand» südlich von Traunstein, einer Folge von grüngrauen lockeren, tonig-kalkigen, stark dolomitarenitischen Sandsteinen mit Geröllschnüren. Graue Granitgerölle aus diesem Aufschluss bezeichnete Herr Dr. KARL als vermutlich teils jungkristallin (tauernkristallin), teils altkristallin. Ihr Schwermineralinhalt besteht hauptsächlich aus Apatit, daneben finden sich Epidot und Hornblende. Das plötzliche, starke Erscheinen des Epidots in den begleitenden Sandsteinen lässt vermuten, dass zu dieser Zeit im Abtragungsgebiet die Produkte der Tauernkristallisation angeschnitten wurden.

Chatt und Rupel (Proben 6–11) G, ASTRzed (5)
27. 0. 41. 0,7

Diese überwiegend sehr feinkörnigen Sedimente, denen nur gelegentlich Sandbänder (Proben 9 und 11) eingelagert sind, zeigen die typische Schwermineralgesellschaft älterer Molassestufen. Der Epidot tritt gegenüber dem Aquitan stark zurück. Der Feldspatgehalt ist vergleichsweise hoch und spricht für die Beteiligung eines kristallinen Liefergebietes.

2.1.2. *Chiemseegebiet*

Nach GANSS & SCHMIDT-THOMÉ (1955) besteht die gefaltete Molasse hier aus der Frasdorfer Mulde im Norden und der kleineren Bernauer Mulde im Süden. Die Proben stammen aus dem Nordflügel der Bernauer Mulde, vom Westerbuchberg (Chatt) und Osterbuchberg (nach GANSS et al. Bausteinschichten).

Chatt (Proben 12–15) G, TASRez (4)
12. 0. 12. 0.4

Diese Proben wurden auf dem Westerbuchberg genommen, dessen grobe Konglomerate («Restquarze», Kalkalpin und Kristallin) und Sandsteine, die sich mit Mergeln verzahnen, nach GANSS et al. die Einmündung eines Alpenflusses in das Chattmeer anzeigen. Das Schwermineralbild zeigt weitgehende Übereinstimmung mit dem Chatt des Traungebietes. Charakteristisch ist auch hier ein leichter Epidotgehalt. Drei Proben sind karbonatfrei.

«Bausteinschichten» (Proben 16–18) G, RATSz (4)
11. 0. 21. 0,3

In dem kleinen Steinbruch am Westende des Osterbuchberges stehen gelbliche, stark tonige, dolomitarenitische Sandsteine mit reichlich Pflanzenhäcksel und Geröllagen an. Aus letzteren wurden einige graue Gneis-, Granit- und Quarzitgerölle gesammelt (nach Dr. KARL Altkristallin), welche als Schwerminerale hauptsächlich Granat und Apatit enthielten (s. Mineralliste «Geröllunterschungen»). Die Sandsteine gleichen makroskopisch und petrographisch den Bausteinschichten des Allgäus, doch reicht diese Feststellung nicht aus, ihre zeitliche Gleichsetzung mit diesen zu beweisen (s. hierzu PAULUS, 1963, S. 68/70). Gegenüber dem Chatt des Westerbuchberges unterscheiden sie sich durch das Fehlen des Epidots.

2.1.3. *Priengebiet*

Die tektonische Gliederung entspricht derjenigen des Chiemseegebietes. Die Proben 19–21 gehören nach GANSS et al. (1955) in den Nordflügel der Frasdorfer Mulde, 22–24 in den Nordflügel der Bernauer Mulde.

Chatt (Proben 19–21) G, A E T z s r (3)
21. 1. 40. 0,8

Die gelblich- bis grünlichgrauen, dolomitarenitischen Sandmergelsteine vom Waschhaus bei Wildenwart werden von HAGN & HÖLZL (1952) als «marine Äquivalente der Baustein-Zone des Westens» aufgefasst, während GANSS et al. (1955) sie ins darüberliegende Chatt stellen. Da sie wegen ihres hohen Epidotgehaltes zu einer Sonderausbildung gehören (s. Proben 25–27), lässt sich die genannte Alternative auf petrographischem Wege nicht sicher entscheiden.

Bausteinschichten (Proben 22–24) G, S R T A z (3)
12. 0. 29. 0,6. 60

Westlich von Bernau hingegen trifft man Schichten, welche den Bausteinschichten des westlicheren Molassebeckens petrographisch und auch makroskopisch (graue karbonatische Sandsteine mit Geröllschnüren) ähneln. Dabei gilt aber auch hier wieder der bereits beim Osterbuchberg (Chiemseegebiet) genannte Vorbehalt.

2.1.4. *Inngebiet*

Bei Höhenmoos, 6,6 km östlich des Inns, ist nach GANSS et al. (1955) nur die Frasdorfer Mulde ausgebildet. Von ihrem Nordflügel wurden aus dem Haselbachgraben die folgenden Proben untersucht.

Chatt (Proben 25–27) G, A E T s h z (3)
29. 0. 36. 0,1–3,6

Die grünlichgrauen, festen Sandmergelsteine des südlichen Grabenabschnittes sind wie die Aufschlüsse am Waschhaus bei Wildenwart (Proben 19–21) durch einen hohen Epidotgehalt gekennzeichnet. Wegen ihrer Nachbarschaft zum Inntal soll diese epidotreiche Sonderentwicklung als «Innschüttung» bezeichnet werden. Sie spielt in den Chattsanden des Alpenvorlandes eine wesentliche Rolle. Bemerkenswert ist hier ein schwacher Hornblendegehalt. In der Nachbarschaft von Probe 27 ist eine Gerölleinlagerung aufgeschlossen. Darin überwiegen Quarze (bis 3 cm Durchmesser), daneben wurden Gerölle von hellem Dolomit, Gneis und Glimmerschiefer gefunden. Von den letzteren wurde eines untersucht; es wies einen hohen Granatgehalt auf. Ausser dem Epidot und den genannten Geröllen spricht auch der z. T. hohe Feldspatgehalt, insbesondere die Tatsache, dass er in den Sandfraktionen mit wachsender Korngrösse kaum abnimmt, für ein vorwiegend kristallines Liefergebiet.

Rupel (Proben 28–30) G, A S E Z t h d (2)
34. 2. 52. 1,4

Aus dem nördlichsten, sich verflachenden Grabenteil wurden grüngraue, z. T. plastische, sandig-dolomitische Kalkmergel untersucht, die in ihrem Mineralinhalt im wesentlichen mit den Chatt-Proben übereinstimmen. Die in den beiden tiefsten Proben, 29 und 30, vorkommenden Hornblenden sind nach freundlicher Durch-

sicht von Herrn Dr. KARL grossenteils Barroisite, d. h. die typischen Hornblenden der Tauernkristallisation.

Die feinkörnigen Proben sind in diesem Profil kalkreicher, die deutlich sandigen dolomitreicher. Diese Regel, die darauf beruht, dass der Dolomit häufig in psammitischer, der Calcit aber meist in pelitischer Korngrösse zugeführt wurde, gilt nach den Dünnschliffbefunden für einen grossen Teil des untersuchten Molassematerials.

2.1.5. *Schliersee-Tegernseegebiet*

Die gefaltete Molasse setzt sich hier aus der Miesbacher und der südlich anschliessenden Marienstein-Haushamer Mulde zusammen. Aus dem Nordflügel der letzteren wurde im Sulzgraben östlich Miesbach eine Probenserie genommen (31–40). Die Proben 41–45 stammen von beiden Flügeln der gleichen Mulde aus dem Bergwerk Marienstein.

Chatt (Proben 31–38 und 41–43)	G,ASTrz (10) 13. 2. 57. 0,5

Die Serie umfasst die gesamten chattischen Cyrenenschichten, graue, feste, sandig-kalkige Dolomitmergelsteine. Vom Epidotgehalt der Innschüttung ist nichts mehr zu erkennen. Diese scheint demnach den Streifen der gefalteten Molasse ziemlich genau im Bereich des heutigen Inntales zu kreuzen. Die Mineralzusammensetzung der vorliegenden Proben zeigt das typische Bild der chattisch-aquitanen Alpenrandschüttungen.

Bausteinschichten (Proben 39–40 und 44–45)	G,TSArz (4) 11. 1. 34. 0,3

Diese sind wesentlich gröber und infolge des kleineren Karbonatgehaltes auch lockerer als die überlagernden Cyrenenschichten und enthalten Gerölle, und zwar überwiegend Quarze (bis 1 cm ⌀); daneben kommen dunkle Dolomite vor. Aus dem Südflügel der gleichen Mulde stammt eine Geröllauszählung von BODEN (1925). Er fand am Rohn-Bach 56% Dolomite, 24% «Gangquarze» und 15% Phyllite, Glimmerschiefer und Gneise. Im Schwermineralbild zeigt sich kein wesentlicher Unterschied gegenüber dem Hangenden. Der höhere Granatgehalt sowie das Hervortreten des Turmalins auf Kosten des Apatits sind korngrössenbedingt. Zu erwähnen ist eine gelbliche Granatvarietät, die nur hier in nennenswerten Mengen auftritt.

2.1.6. *Isargebiet*

Hier gliedert sich die Gefaltete Molasse nach GANSS & SCHMIDT-THOMÉ (1959) von N nach S in die Nonnenwald- (oder auch «Rimselrainer») Mulde, die Penzberger und die Mariensteiner Mulde. Die Proben 46a–46b stammen aus beiden Flügeln der Nonnenwaldmulde, die Proben 65–70 vom Südflügel der Penzberger Mulde.

Aquitan und Promberger Schichten (Proben 50–53 und 57–60)	G,ZASRtea′ (7) 31. 1. 48. 2,6

Es handelt sich um meist feinkörnige Sand-Ton-Karbonatmischgesteine, in denen zum ersten Male der Calcit im Mittel stark überwiegt. Auffällig ist der recht

hohe Feldspat- und Zirkongehalt sowie das Vorhandensein von Epidot. Während der Zirkon möglicherweise mit den unten zu besprechenden Glassanden in Zusammenhang zu bringen ist, erscheint für Feldspat und Epidot eine Zufuhr aus beckenparallelen Transporten (von W) nicht ganz ausgeschlossen.

Glassande (Proben 46a–c, 48–49b, 54–56b, 61–62 und 64a–b)	g,ZTA″rsde (14) 11. 0. 2. –. 15

Im Liegenden der marinen Promberger Schichten finden sich im obersten Teil der brackischen Cyrenenschichten zwei 30 bzw. 40 m mächtige, nahezu karbonatfreie und dementsprechend nicht zementierte Sandhorizonte, die zur Glasherstellung verwendet wurden und daher «Glassande» genannt worden sind. Diese Glassande weichen mineralogisch so sehr von den umgebenden Molassegesteinen ab, dass ANDRÉE (1936), der ihnen einen grossen Teil seiner Arbeit widmete, sie von der Böhmischen Masse herleitete. Sie sind durch das Fehlen von Karbonat, einen geringen Feldspatgehalt, Grobkörnigkeit und schlechte Sortierung, sowie durch einen hohen Zirkongehalt gegenüber ihrer Umgebung charakterisiert. – Auf Grund dieser Eigenschaften lässt sich die von ZIMMERLE (1963) ausgesprochene Möglichkeit, dass es sich um litorale Aufarbeitungsprodukte alpinen Materials handelt, noch nicht stichhaltig widerlegen. – Jedoch die charakteristischen Merkmale, das Vorkommen von Andalusit, der in der Molasse nirgends ausser in Zufuhren von der Böhmischen Masse (z. B. in der «Graupensandrinne» des Helvet) auftritt, ein besonders geringer Anteil undulös auslöschender Quarze (Tab. 1) und abweichende Turmalinvarietäten (rotbraune herrschen vor, wie dies sonst nur in Sedimenten aus der Umrandung der Böhmischen Masse vorkommt) sprechen eindeutig für eine nichtalpine Zufuhr, und zwar, wie schon ANDRÉE (1936) postulierte, aus dem Bereich der Böhmischen Masse.

Tabelle 1. Undulös auslöschende Quarze in der Fraktion 0,09–0,15 mm, bezogen auf die Gesamtheit aller Quarzkörner. Die Probennummern und die Abkürzungen der Stufen entsprechen den Mineraltabellen.

Nr. 46a	UG	16%	Nr. 52	Prom	64%	Nr. 59	Prom	42%
Nr. 46b	UG	21%	Nr. 53	Prom	46%			
Nr. 46c	UG	10%				Nr. 61	OG	18%
Nr. 47	(Ch, Cyr)	16%	Nr. 54	OG	16%	Nr. 62	OG	18%
Nr. 48	UG	6%	Nr. 55	UG	12%			
Nr. 49a	UG	19%	Nr. 56a	UG	12%	Nr. 63	Ch, Cyr	50%
Nr. 49b	UG	12%	Nr. 56b	UG	14%			
						Nr. 64a	UG	22%
Nr. 51	A	32%	Nr. 58	Prom	49%	Nr. 64b	UG	7%

Glassande im Mittel 15; Molasse im Mittel 47%

Der untere und der obere Glassand sind mineralogisch kaum voneinander zu unterscheiden. Im Isargebiet scheint der untere etwas gröber zu sein; ausserdem ist sein Andalusitgehalt möglicherweise grösser (s. Proben 76–77b).

Das sandige Material der «Schwaiger Schichten» (= die Cyrenenschichten zwischen den Glassanden) und auch des Hangenden der Glassande besitzt zum Teil eine Glassandkomponente wie man an dem niedrigen Feldspat- und hohen

Zirkongehalt (Probe 60) oder an dem geringen Anteil undulöser Quarze (Probe 47) erkennt. Dabei liegt die erstere Probe 140 m über den Glassanden.

Bausteinschichten (Proben 65–70)	G, T A Srz (6) 11. 0. 42. 0,4

Die Bausteinschichten am Stallauer Weiher sind gut gebankt und von wechselnder Festigkeit. Die lockersten, durchlässigsten Bänke zeigen leuchtend gelbe und braune Verwitterungsfarben und besitzen eine vorwiegend dolomitische Karbonatkomponente, während in den festen und feinkörnigeren, grünlichgrauen Bänken (Proben 67 und 69) der Calcit überwiegt. Hiermit stimmt der Dünnschliffbefund der Proben 66 und 69 überein, dass der Calcit die feinkörnige Grundmasse, der Dolomit aber detritische Körner bildet, welche gleich gross, aber besser gerundet sind als die Quarze und deshalb in den gröberen Gesteinen angereichert sind. In den festen Bänken finden sich reichlich rotbraune Biotite, in der lockersten Probe fehlen sie. Diese Anfälligkeit gegen Oberflächenverwitterung lässt sich an den rotbraunen Biotiten auch sonst beobachten. Die Schwerminerale zeigen das Bild der Bausteinschichten. Die Proben 66, 68 und 70 könnten wegen ihrer abweichenden Calcit-Dolomitverhältnisse und ihres geringen Feldspatgehaltes bereits Einflüsse des westlich benachbarten «Nesselburgfächers» anzeigen (s. Abschn. 2. 2. 2. 2.).

2.1.7. *Ammergebiet*

Die Ammer schneidet von N nach S die Peissenberger, die Rottenbucher und die Murnauer Mulde. Die Proben 72–77b stammen aus dem N-Flügel der Peissenberger Mulde, vom Südhang des Hohen Peissenberges. Die Proben 78–86 wurden an der Echelsbacher Brücke aus dem Südflügel der Rottenbucher Mulde genommen, während die Proben 87–94 vom Südflügel der Murnauer Mulde stammen.

Burdigal-Helvet (Probe 71) der Vorlandmolasse	g, E a z s t (1) 26. 1. 34. 76

In dieser Probe, einem marinen, grünlichgrauen, absandenden, tonigen Kalksandstein, fällt das Fehlen von Dolomit und der hohe Epidotgehalt auf. Das Material wurde im Gegensatz zu den tieferen Schichten nicht unmittelbar vom Alpenrand, sondern vermutlich durch küstenparallelen Sandtransport von Osten zugeführt.

Aquitan (Proben 72–75 und 78)	G, S T A Z R d (5) 15. 1. 58. 1,4

In diesen gelbgrauen, fluviatilen (72–73 und 78) bis marinen (74–75), meist lockeren, dolomitarenitischen Sandkalken finden sich die Schwerminerale und der niedrige Feldspatgehalt der Alpenrandschüttungen. Die Probe 78 enthält bis 3 cm grosse Gerölle von schwarzem Dolomit und Quarz. Bemerkenswert ist in allen diesen Proben ein deutlicher Disthengehalt.

Glassand (Proben 76–77b)	g, Z T R s (3) 9. 0. 0. –. 24

Im Ortsteil «Schächen» am SW-Hang des Hohen Peissenberges sind karbonatfreie, unverfestigte, weisse Sande aufgeschlossen, die den Glassanden des Isargebietes auffallend ähneln, jedoch, wie schon ANDRÉE (1936) feststellte, frei von

Andalusit sind. An seine Stelle tritt in die Reihe der Hauptkomponenten der Rutil. Die neben dem Fehlen von Karbonat wesentlichsten Merkmale der Glassande, das Vorwiegen rotbrauner Turmalinvarietäten und der geringe Gehalt an undulös auslöschenden Quarzen, sind auch hier zu beobachten.

Probe	76	24%	undulöse Quarze
,,	77a	24%	,, ,,
,,	77b	23%	,, ,,

Die eingelagerten Geröllchen sind hauptsächlich Quarze. Nach KRAUS und PAULUS (1962) soll es sich hier um den oberen Glassand der Nonnenwaldmulde handeln. Hierzu würde das Fehlen von Andalusit besser passen als zu einer Einstufung als unterer Glassand.

Chatt (Proben 79–83) G, A T Srz (5)
5. 0. 54. 0,7

Probe 79 repräsentiert nach ZÖBELEIN (1952a) eine marine Einlagerung. Sie ist arm an Dolomit und enthält den rotbraunen, gegen terrestrisches Milieu empfindlichen Biotit (s. u.) in grösseren Mengen, während er in den tieferen, terrestrischen Proben schwach vertreten ist oder fehlt. Hier überwiegt als Karbonat der Dolomit. Probe 80 stammt von der Grenze der rötlichen zur grüngrauen Schichtenfolge (ZÖBELEIN, l. c.); die Proben 81–83 gehören in die «Konglomeratzone» (s. u.). Aus dieser wurden einige fragliche Flyschgerölle untersucht, quarzitische, schwach kalkige Mittelsandsteine. Sie sind feldspatfrei und enthalten als Schwerminerale Granat, Apatit und Zirkon.

Bausteinschichten (Proben 84a–88) G, T A Srz (5)
7. 3. 58. 0,4

Diese setzen sich aus grauen, gelblich verwitternden, stark sandigen, tonig-kalkigen Dolomitareniten zusammen. Die eingelagerten Geröllschnüre enthalten nach BODEN (1925) bis 2 cm grosse dunkle Dolomite und eine geringe Anzahl kleinerer Quarzgerölle. Granat und Staurolith treten in den feinkörnigen Proben 84a, 85 und 88 ganz zurück und erweisen sich damit als stark korngrössenabhängig. Demgegenüber enthalten die feinkörnigen Proben im Chatt (79 und 80) reichlich Staurolith. Der Karbonatgehalt ist gegenüber östlicheren Vorkommen stark erhöht.

Auf unserem Wege von Osten nach Westen finden wir in diesem Profil zum ersten Male die Bausteinschichten von nichtmarinen Schichten («Bunte Molasse») überlagert, wie es für den gesamten westlicheren Alpenrand zutrifft. Gleichzeitig stellen sich zwei neue Merkmale der Bausteinschichten gegenüber ihrem Hangenden ein, die ebenso für alle westlich anschliessenden Profile gelten (siehe auch Abschnitt 2.2.2.).

a) Der Anteil olivfarbener Turmaline, ausgedrückt durch den Quotienten olivfarbene/übrige Turmaline, ist in den Bausteinschichten wesentlich höher als in der Bunten Molasse.

b) Nur in den Bausteinschichten, nicht aber in der Bunten Molasse, finden sich rotbraune Biotite. Jedoch sind sie nur in den gut zementierten Proben 84b–86 erhalten; in der lockeren Probe 84a sind sie offensichtlich der Verwitterung zum Opfer gefallen.

Die Verknüpfung dieser beiden Varietäten mit brackisch-marinen Sedimenten und die Verwitterungsempfindlichkeit des rotbraunen Biotits sprechen dafür, dass

es sich hier um faziesanzeigende Mineralveränderungen handelt (FÜCHTBAUER, 1963).

In der «Konglomeratzone» vollzieht sich nach ZÖBELEIN (1952a) der Umschwung von mariner zu limnisch-fluviatiler Sedimentation. Die entsprechenden Proben (81–83) zeigen hinsichtlich ihrer Turmalinfarben (siehe oben) noch brackische Einschläge.

Von den hier beschriebenen Proben weichen die fraglichen Bausteinschichten der Bohrung Murnau 2 (FISCHER, 1960) durch ihren geringen Staurolith- und Feldspatgehalt merklich ab:

G, ATzrs (5)
1. 2. 52. 0,36

Sogar die gröbste Probe ist staurolithfrei. Sie ähneln darin den Bausteinschichten des Lechgebietes.

Tonmergelschichten (Probe 88, siehe oben)

Diese Probe, eine Sandmergelsteinbank, lässt sich nicht von den Bausteinschichten unterscheiden und wurde daher in obiger Formel mit diesen zusammengefasst.

Deutenhausener Schichten	G, ASTzr (5)
(Proben 89–94)	21. 0. 34. 1,4

Grünlichgraue, tonige, kalkig-dolomitarenitische Feinsandsteine mit Flyschmerkmalen auf der Unterseite der Sandsteinbänke : Kolkmarken (flute casts) und Schleifspuren (groove casts) (FISCHER, 1960, KUENEN, 1958, siehe auch Abschnitt 2.2.1.4.). Ausser durch diese Merkmale unterscheiden sie sich von den oben beschriebenen Bausteinschichten durch den hohen, fast korngrössenunabhängigen Feldspatgehalt und das Zurücktreten von Turmalin und Dolomit. All dies deutet auf die stärkere Beteiligung eines kristallinen Liefergebietes hin. In Übereinstimmung damit fand SCHIEMENZ (1960) 2,5 % Kristallingerölle (hauptsächlich Gneis) gegenüber 1 % in Chatt und Bausteinschichten. Die beherrschende Geröllkomponente aber sind nach ZEIL (1953) schwarze Lydite, welche grossenteils organogen sind. In Probe 89 wurden zahlreiche 1 mm grosse Lydit-(= Hornstein-)körner gefunden, welche aus einem feinkörnigen, undulösen Chalcedon-Quarz-Gemisch (n ca. 1,54) bestehen, dunkel pigmentiert sind und einzelne Dolomitkristalle enthalten. In den feineren Sandfraktionen, aber nach SCHIEMENZ (1960) auch in der Geröllfraktion 3–5 cm, treten diese Lydite nicht in Erscheinung und spielen demnach als Ursprungsmaterial der Sandsteine keine Rolle.

2.1.8. *Lechgebiet*

Die tektonische Gliederung der Gefalteten Molasse entspricht derjenigen im Ammergebiet. Die Proben 95–96 stammen vom Nordflügel der Murnauer Mulde, 97–98 vom Südflügel der Rottenbucher Mulde und 99–100 vom Südflügel der Murnauer Mulde.

Chatt (Proben 95–96)	G, SATRzd (2)
	0. 0. 72. 0,2

Das Fehlen von Feldspat und der extrem hohe Dolomitgehalt passen zu der Vorstellung, dass diese Proben im Zentrum des von der Loisach bis zur Iller

reichenden «Nesselburgfächers» liegen, welcher nach SCHIEMENZ (1960) durch das Überwiegen von Dolomitgeröllen gekennzeichnet ist. Der hohe Turmalinfarbquotient (fast 6) lässt vermuten, dass der Abstand von den Bausteinschichten geringer ist, als er nach den Profilen von GANSS & SCHMIDT-THOMÉ (1955) geschätzt wurde (s. Abschn. 2.1.7. und Mineralliste).

Bausteinschichten (Proben 97–98)	G, ATRZs (2) 0. 0. 62. 0,3

Während sich die Karbonate und Leichtminerale vom unteren Chatt nicht unterscheiden, fällt im Schwermineralbild das starke Zurücktreten des Stauroliths auf, wie es im Ammerprofil nur in den feinkörnigen Proben, in der Bohrung Murnau 2 aber auch in den Mittelsandsteinen beobachtet wurde. Auch hier sind gleichkörnige Proben des Chatt (s. o.) staurolithreich.

Deutenhausener Schichten (Proben 99–100)	G, ASTZr (2) 10. 0. 43. 0,8

Die Gesteine im Deutenhausener Steinbruch (heute im Lechstausee), mit ihren zahlreichen dunklen Lydit- und Dolomitgeröllen unterscheiden sich von den Bausteinschichten im gleichen Sinne wie für das Ammergebiet beschrieben wurde: Der Feldspatgehalt ist höher, der Dolomitgehalt niedriger.

Aus dem Hangenden der Probe 99 wurden zwei Flyschgerölle untersucht, rotbraune, feste, tonig-sandige, z. T. dolomitische Kalksteine, deren Mineralinhalt im Prinzip mit den Deutenhausener Schichten übereinstimmt. Dies gilt sogar für den Turmalinfarbquotienten. Da der Flysch-Anteil in den Konglomeraten der Deutenhausener Schichten dieses Gebietes nach SCHIEMENZ (1960) gering ist, kann die genannte Übereinstimmung hier aber trotzdem nicht als hinreichendes Kriterium für eine Flyschabkunft des Molassematerials gelten.

2.1.9. *Wertachgebiet*

Die Gefaltete Molasse gliedert sich hier von N nach S in die Auerbergmulde, (nach VOLLMAYR (1955) die ? Fortsetzung der Peissenberger Mulde), die Rottenbucher und die Murnauer Mulde. Die Proben 101–105 stammen aus dem Nordflügel der Auerbergmulde, 106–112 und 114 aus dem Nordflügel der Rottenbucher Mulde, 113 und 131 aus dem Nordflügel und 115–130 aus dem Südflügel der Murnauer Mulde.

Burdigal (Probe 101)	g, EAtz (1) 30. 0. 35. 3

Die Probe ist ein grüngrauer, lockerer, toniger Kalksandstein, dessen Material aus dem Becken zugeführt wurde, wie es schon für das marine Burdigal-Helvet vom Ammergebiet beschrieben wurde.

Aquitan (Proben 102–109)	G, STAZR (8) 10. 12 (Pr. 102-105) .53. 1,1

Die vier ersten Proben, dunkelgraugelbe, stark sandmergelige (Kalk- und) Dolomitarenite vom Nordflügel der südlichsten Mulde, vertreten den oberen Teil des Aquitans, während die vier übrigen, heller gefärbten Proben vom Nordflügel der mittleren Mulde das unterste Aquitan repräsentieren. Diese beiden Serien unterscheiden sich voneinander nur durch den starken Gehalt an Hornsteinkörnern

in den hangenden Proben. Wir werden diesen Gesteinspartikeln vor allem in den Kojenschichten zwischen Iller und Rhein begegnen. Es ist nicht ganz ausgeschlossen und wäre auch mit dem übrigen Mineralinhalt zu vereinbaren, wenn man diese Sedimente von dort herleiten würde, doch könnte es sich auch um den kleinen Mittelbergfächer (SCHIEMENZ 1960) handeln, der nur im Aquitan bestand und überwiegend Flyschgerölle führte. Das Schwermineralspektrum ist typisch für Alpenrandschüttungen. In den feinkörnigen Proben treten Granat und Staurolith zurück.

Chatt (Proben 110–112)	G, STAZr (3) 4. 9. 60. 0,8
(Proben 113–123, 125)	G, SATrz (11) 4. 2. 60. 0,8

In den Steigbachschichten (Proben 110–113), dem oberen Teil des Chatt, ändert sich nach SCHIEMENZ (1960) die Geröllführung des Nesselburgfächers gegenüber dem Liegenden: Der Anteil der Flyschgerölle steigt von etwa 1 auf über 25%. Hiermit könnte der Anstieg des Zirkon- und Hornsteingehaltes zusammenhängen.

Die Weissachschichten, der untere Teil des Chatt, führen in einigen Proben die nach SCHIEMENZ (1960) typischen schwarzen und (seltener) grauen Dolomitgerölle des Nesselburgfächers, daneben kleine Quarzgerölle, etwas kalkalpines Material (BODEN 1925), Eozängerölle und verwitterten Gneis. Die Farbe der Weissachschichten ist hier überwiegend rotbraun, in den untersten 100 m aber kündigen sich durch die graue Gesteinsfarbe schon die Bausteinschichten an. Auch der hohe Turmalinfarbquotient entspricht dort bereits diesen. Wir haben hier ähnliche Verhältnisse wie in der «Konglomeratzone» des Ammerprofils vor uns.

Bausteinschichten (Proben 124, 126–129 und 131)	G, SATrz (5) 5. 1. 60. 0,4

Die Proben 126–129 stammen aus hellgrauen, stark sandigen Dolomitarenit-Einlagerungen der etwa 250 m mächtigen Nagelfluhserie des «Senkelefächers» (KRAUS 1951) südlich von Seeg (Bahndurchbruch), welcher zum Nesselburgfächer gehört. Unter den Geröllen bilden demgemäss dunkle, bis etwa 3 cm grosse Dolomite die Hauptkomponente. Daneben fanden sich etwa 10% kleinere Quarzgerölle (< 1 cm) und einige Kalke.

Der Turmalinfarbquotient liegt in den Bausteinschichten dieses Aufschlusses besonders hoch (5–10). Im übrigen unterscheiden sich diese Proben mineralogisch nicht von den unteren Weissachschichten. Eine sehr feinkörnige Probe (Nr. 131) vom Fuss des Grünten ist staurolithfrei, wie dies auch im Ammerprofil gelegentlich beschrieben wurde.

Rupel, Tonmergelschichten (Probe 130)	G, SATz (1) 15. 2. 60. 0,9

Die Probe stammt aus der südlichsten Partie des oben genannten Bahndurchbruches. Gegenüber dem Hangenden fällt nur der höhere Feldspatgehalt auf.

2.1.10. *Gebiet westlich der Iller*

Südlich des aufgerichteten Südrandes der Vorlandsmolasse (Proben 133–139) folgt zunächst die Hauchenbergmulde (Proben 132 und 140–141), dann die Sal-

maser Mulde (Proben 142–147 vom Südflügel), weiter die Hornmulde (Proben 148–158 vom Nordflügel) und als vierte und südlichste die Steinebergmulde (Proben 159–167 vom Nordflügel). Es handelt sich hier nicht mehr um symmetrische Mulden, wie sie weiter im Osten vermutet werden, sondern entsprechend den Verhältnissen in der Schweiz um Schuppen (MÜLLER & TRÖGER, 1948; VOLLMAYR, 1954). (Ausnahme: Steinebergmulde.)

Burdigal (Probe 132)	g, SAtdz (1) 19. 10. 44. 1,2

Diese hellgraue Probe stammt aus dem geröllführenden Landburdigal des grossen Steinbruchs am Westende des Hauchenberges. Sie besitzt dementsprechend im Gegensatz zu den marinen Burdigalproben (s. o.) und zur Oberen Meeresmolasse des Schüttentobels (Vorlandsmolasse, LEMCKE & GRAUL, 1955) die unmittelbar von Süden herzuleitende Mineralfazies. Der Apatitgehalt stammt aus den reichlich eingelagerten Gneisgeröllen, in denen er massenhaft und als einziges Schwermineral auftritt, desgleichen der erhöhte Feldspatgehalt. Die Ursprungsgesteine des Stauroliths wurden als Gerölle nicht gefunden.

Vorlandsmolasse (vorwiegend Aquitan) (Probe 133)	g, EAs (1) 39. 2. 34. 8,8
(Proben 134–136)	G, SATzr (3) 18. 7. 54. 1,4
(Proben 137–139)	G, ASZtr (3) 42. 2. 21. 0,3–23

Probe 133 wurde am südlichen Ausgang des Schüttentobels südlich Isny genommen, die übrigen Proben von dort aus gegen Süden ins Jugendachtal hinein. Das Aquitan ist hier nach VOLLMAYR (1954) in eine hangende Mergelzone und eine liegende Sandsteinzone gegliedert.

Probe 133, ein grüngrauer, schwach absandender Kalksandstein, ist charakterisiert durch hohen Feldspat- und Epidotgehalt. Sie repräsentiert damit einen kurzen Vorstoss der epidotreichen Granitischen Molasse aus der Schweiz. Dieser Begriff wurde von STUDER (1853) für Molassesandsteine eingeführt, die auf Grund ihres hohen Feldspat- und relativ geringen Karbonatgehaltes von granitischen Ursprungsgesteinen hergeleitet werden. Später wurde der Ausdruck auf die Vorkommen in der Unteren Süsswassermolasse beschränkt. In der Schweiz besteht die Granitische Molasse häufig aus einer oberen, epidotreichen und einer unteren, apatitreichen Abteilung.

Die Proben 134–136 sind demgegenüber mit ihrem relativ geringen Feldspatgehalt wieder unmittelbar von S oder SW geschüttet. Es sind feste, dolomitarenitische Sandmergelsteine und Sandkalke, sandige Einlagerungen der oben genannten Mergelzone. Das Schwermineralbild gleicht demjenigen der alpenrandnäheren, auf der nächsten Seite beschriebenen Kojenschichten, doch ist der Feldspatgehalt höher und der Hornsteingehalt niedriger als dort. Am einfachsten liesse sich die Mergelzone als Hangendes der Kojenschichten verstehen («Ob. Kojenschichten» in Fig. 13, rechts), da sich die Zunahme des Feldspatgehaltes auf Kosten des Hornsteins schon in den obersten Proben der letzteren erkennen lässt (s. u.).

Die Proben 137–139 endlich, rötlich gelbgraue, mürbe, kalkigdolomitische Grobmittelsandsteine, sind mit ihrem hohen Feldspat- und Apatitgehalt typische Abkömmlinge der apatitreichen Granitischen Molasse der Schweiz. Sie entsprechen der «liegenden Sandsteinzone» VOLLMAYRS (1954).

Wie schon diese wenigen Proben zeigen, unterscheidet sich die von der Schweiz herzuleitende Granitische Molasse von der am deutschen Alpenrand «autochthonen» Fazies vor allem durch ihren geringeren Karbonatgehalt und ihren hohen und weitgehend korngrössenunabhängigen Feldspatgehalt. Mit dem Landburdigal des Hauchenberges lässt sie sich nicht, wie es SCHIEMENZ (1960) vermutet, in Verbindung bringen (zu hoher Feldspatgehalt!).

Aquitan der gefalteten Molasse (Kojenschichten) Proben 140–144 und 148–149)	G, SATZr (7) 7. 34. 68. 1,5

Die von Süden geschütteten Kojenschichten der Gefalteten Molasse dürften, den Erläuterungen von Probe 134–136 zufolge, etwa gleichaltrig mit der apatitreichen Granitischen Molasse sein. Sie sind in den südlichen Schuppen überwiegend als Nagelfluh ausgebildet (Hochgratfächer). Die Hauptkomponenten derselben sind nach SCHIEMENZ (1960) Triasdolomite, Jurakalke und Flyschsandkalke. Dementsprechend zeigen die Dünnschliffe der Psammitbänke neben detritischem Dolomit auch Calcitkörner. Das Bindemittel ist stets überwiegend kalkig. Auf sedimentäre Liefergebiete deutet der geringe Feldspatgehalt und die Häufigkeit von Hornsteinkörnern hin. Wegen des hohen Hornsteingehaltes wurden die Proben 140–141 aus der Hauchenbergmulde N Oberstaufen zu den Kojenschichten gestellt, wie es auch VOLLMAYR (mündlich) vermutete.

Chatt, Steigbachschichten) (Proben 145–147 und 150–155)	G, STZRA (9) 5. *29*. 71. 1,1

In den Nagelfluhen, denen die hier untersuchten, stark sandigkalkigen Dolomitarenite eingelagert sind, ist nach SCHIEMENZ (1960) die Flyschkomponente gegenüber dem Hangenden wesentlich zurückgegangen. Auch der Hornsteingehalt in der Sandfraktion ist etwas geringer und nimmt zum Liegenden weiter ab:

Chatt, Weissachschichten (Proben 156–160 und 162)	G, STARż (6) 3. *16*. 67. 1,3

Gegenüber den Steigbachschichten ist ferner der Zirkongehalt verringert, ebenso der Feldspatgehalt. Der Turmalinfarbquotient steigt gegen unten langsam an und erreicht schon etwa 200 m über den Bausteinschichten den Wert 3. Das entspricht den bereits an der Ammer und an der Wertach gefundenen Verhältnissen, da das Chatt in der Hornmulde nach VOLLMAYR (1954) etwa 2700 m mächtig ist. In der Hornmulde wurde z. T. ein merklicher Picotitgehalt festgestellt.

Bausteinschichten (Proben 161 und 163–167)	G, TASrz (5) 11.8. 55. 1,8

Der Karbonatgehalt ist vor allem auf Kosten der Dolomitkomponente gegenüber dem Chatt zurückgegangen, ebenso der Hornstein. Dafür ist der Feldspatgehalt deutlich gestiegen. Dies mag damit zusammenhängen, dass hier im Gegensatz zum Chatt ein wenn auch kleiner Gneisgehalt in den Nagelfluhen festgestellt wurde (SCHIEMENZ 1960).

Die Probe 167, ein stark toniger Kalksandstein aus dem Rupel, bringt gegenüber den Bausteinschichten nichts Neues; infolge der geringen Korngrösse fehlt der Staurolith, und der Granat tritt zurück.

2.1.11. *Gebiet der Bregenzer Ache*

Die drei nördlichen Mulden reduzieren sich westlich der Bregenzer Ache nach VOLLMAYR (1954) zu der Zone von Inngrüne (= Rest der Hornschuppe), während die Steinebergmulde als «Mulde von Maltach» aushält. Die Proben 168–173 stammen vom Südrand der Vorlandsmolasse, 174–181 und 190 vom Nordflügel der Hornschuppe, 182–189 und 191–193 vom Nordflügel der Steinebergmulde und 194–203 aus verschiedenen Teilen der gleichen Mulde.

Vorlandsmolasse (vorwiegend Aquitan)	
(Probe 168)	g, Ezat (1) 49. 0. 13. 0,7
(Proben 169–171)	G, ATzser (3) 52. 1. 16. 1,8
(Proben 172–173)	G, ZARST (2) 14. 11. 64. 1,0

Probe 168 vertritt wie Probe 133 den oberen, epidotführenden Teil der Granitischen Molasse und ist aus der Schweiz herzuleiten. Es ist ein hellblaugrauer, absandender, schwach kalkig-dolomitarenitischer Mittelsandstein. In diese oberste Partie gehören auch die epidothaltigen Proben C_2 und C_3 von RENZ (1939b). Die Molluskenfauna von der Kirche Kennelbach SE Bregenz, welche im höchsten Teil dieser Serie liegt, besitzt nach BAUMBERGER (1931) ein aquitanes Alter. Die Epidotschüttung beginnt demnach hier nicht erst im Burdigal, wie WOLETZ (1955) vermutete.

Die Proben 169–171, gelblichgraue, absandende, kalkige Mittelsandsteine, gehören zum unteren, apatitreichen Teil der Granitischen Molasse und entsprechen den Proben 137–139. Der hohe und korngrössenunabhängige Feldspatgehalt spricht wiederum für ein kristallines Liefergebiet.

Die Proben 172–173, feste, gelbgraue, tonig-kalkige, stark sandige Dolomitarenite, passen mineralogisch am besten zum Gäbris = Schuttfächer der Ostschweiz, und nach BÜCHI (1950), Fig. 9, reicht in der Tat ein Arm dieses Ur-Illsystems in das betrachtete Gebiet. Gegen die nähere Verbindung mit den Kojenschichten spricht der höhere Hornsteingehalt und der geringere Zirkon- und Rutilgehalt der letzteren.

Aquitan der gefalteten Molasse (Kojenschichten) Proben 174–176)	G, STAZr (3) 6. 50. 78. 3

Die Proben, gelbgraue, feste, sandige Dolomit- und Kalkkonglomerate, stammen vom Kojen bei Riefensberg. Hier sind die Kojenschichten nach MUHEIM (1934) und VOLLMAYR (1954) 600 m mächtig und bestehen in ihrer unteren Hälfte aus Nagelfluhen. Die häufigsten Komponenten derselben sind nach MUHEIM (1934) Juraradiolarite und Kieselkalke. Diese erreichen in den Kojenschichten ihre höchste prozentuale Beteiligung. Ebenso wird hier der höchste Hornsteingehalt in der Sandfraktion erreicht, und es ist wahrscheinlich, dass dieser sich z. T. von

den genannten Gesteinen herleitet. Bestimmtere Aussagen aber könnte man nur aus Geröllanalysen mehrerer Grössenfraktionen ableiten, welche weder von MUHEIM (1934) noch von SCHIEMENZ (1960) mitgeteilt wurden. Das Schwermineralbild schliesst sich eng an das Liegende an.

Chatt, Steigbachschichten	G, T S A Z R (5)
(Proben 177–181)	6. 13. 57. 2
Weissachschichten (Proben 182–187,	G, T S Z A R (10)
190–192 und 200)	7. 5. 52. 2,5

Die Mächtigkeit der Steigbach- und Weissachschichten, welche wegen ihrer mineralogischen Gleichartigkeit gemeinsam besprochen werden, beträgt nach MUHEIM (1934) und VOLLMAYR (1954) hier 3100 m. Die Dünnschliffe zeigen als Hauptbestandteile Quarz-, Kalk- und Dolomitkörner in einer calcitischen Grundmasse. Der Hornsteingehalt ist in den Steigbachschichten höher als in den Weissachschichten, im übrigen bestehen keine wesentlichen Unterschiede. Der Turmalinquotient erreicht mindestens 100 m über den Bausteinschichten schon den Wert 3.

Bausteinschichten nahe der	
Bregenzer Ache	G, T S A r z (7)
(Proben 188–189 und 194–198)	8. 19. 49. 0,9

Dieser östliche Teil der Proben schliesst sich mineralogisch an das Hangende an: Der Hornsteingehalt ist relativ hoch, der Staurolithgehalt mit Ausnahme der feinkörnigsten Proben ebenfalls. Während SCHIEMENZ (1960) diese Gesteine nach ihrem Geröllinhalt – Flyschsandkalke, daneben vorwiegend Kalke, Dolomite und Radiolarite – dem Hochgratfächer zurechnet, möchte VOLLMAYR (1954) ein lokales Schüttungszentrum östlich der Bregenzer Ache annehmen. Gelegentlich eingestreute Kristallingerölle erhöhen stellenweise den Feldspatgehalt. Bei Probe 198 wurden – entsprechend dem geringen Feldspatgehalt der Psammite – keine Kristallingerölle gefunden. Flyschsandkalkgerölle von diesem Fundpunkt stimmen in ihrem Schwermineralbild (mit Ausnahme des nahezu fehlenden Staurolithgehaltes) mit der umgebenden Molasse überein, auch bezüglich ihres hohen Hornsteingehaltes. Es ist daher nicht ganz ausgeschlossen, dass der Hornstein z. T. auch aus den Flyschgesteinen herzuleiten ist.

Bausteinschichten am rechten	
Hang des Rheintals	G, T R Z a s′ (4)
(Proben 199 und 201–203)	5. 3. 42. 2,3

Sie unterscheiden sich durch den niedrigen Hornsteingehalt, das Fehlen von Staurolith (auch in grobkörnigen Proben), den geringeren Apatitgehalt und den hohen Zirkongehalt von der östlicheren Probenserie (s. o.). Auch liegt der Turmalinfarbquotient etwas niedriger. Die Proben schliessen sich mit diesen Merkmalen an die schweizerische Entwicklung an.

Deutenhausener Schichten	G, Z T A r s (1)
(Probe 193)	12. 2. 50. 0,7

Diese Probe stammt ebenfalls vom Hang des Rheintals und ähnelt mineralogisch daher den zuletzt besprochenen Bausteinschichten, unterscheidet sich von diesen aber charakteristisch durch den höheren Feldspatgehalt.

2.1.12. *Rheingebiet*

Die Gefaltete Molasse besteht hier nach RENZ (1937b) aus zwei im Scheitel zerbrochenen und verschobenen Antiklinalzonen, welche durch eine Synklinal-Aufschiebung voneinander getrennt sind. Der Südflügel der nördlichen Antiklinale ist die «Gäbriszone», der Nordflügel geht stetig in die flache Vorlandsmolasse über und wird daher im folgenden zu dieser gerechnet. Aus der letzteren wurden die Proben 204–214 genommen; die Proben 215–216 stammen aus der Gäbriszone.

Vorlandsmolasse (vorwiegend Aquitan)

(Probe 205)	G,EAZRts (1) 40. 2. 37. 0,7. 63
(Proben 206–211)	G,AZtsr (7) 43. 1. 27. 0,9. 72
(Proben 204 und 212–214)	G, AZRTs (4) 20. 6. 41. 1,3. 54

Probe 205, ein absandender, dunkelgrüner, kalkig-dolomitarenitischer Sandstein, verkörpert den epidothaltigen, oberen Teil der Granitischen Molasse, schwach verunreinigt durch Gäbrismaterial (s. u.). Hierher gehört auch eine epidothaltige Probe von der Burg Rheineck, etwa 200 m im Hangenden von Probe 205, welche RENZ (1937b) untersuchte.

Die gelblichgrau gefärbten Proben 206–211 stammen aus dem apatitreichen Teil der Granitischen Molasse, welcher in diesem und allen folgenden Profilen den epidothaltigen Teil unterlagert.

Die Proben 204 und 212–214 stellen nördliche Ausläufer des Gäbris-Schuttfächers dar, wie ein Vergleich ihrer Formel mit derjenigen sicherer Gäbrissedimente (im Goldach- und Sittergebiet) ergibt.

Die Proben 212–214 stammen aus der Sulzbachnagelfluh westlich von Berneck, welche nach RENZ (1937a) etwa die Basis des Aquitans der Vorlandsmolasse bildet und identisch ist mit den untersten Bänken der Gäbrisnagelfluh auf der anderen Seite (S) der trennenden Antiklinale: RENZ (1937a) zählte im Aquitan der Gäbriszone unten etwa 7% Kristallingerölle (Gneis, Glimmerschiefer, Granit), weiter oben bis 20%; der Gehalt an Grüngesteinen ist sehr gering (< 0,5%). In der Sulzbachnagelfluh fand er neben Kieselkalken, Sandkalken, Kalken und Dolomiten 5% Kristallin (Gneis, Glimmerschiefer), d.h. etwa ebenso viel wie im unteren Teil der Gäbriszone. Diesen Zusammenhang mit der Gäbrisschüttung zeigt auch der petrographische Befund des Nagelfluhbindemittels (Probe 214). Eine Untersuchung von 8 Kristallingeröllen (rote und graue Granite und Gneise, nach Herrn Dr. KARL vermutlich überwiegend Altkristallin) ergab als Hauptschwermineral Apatit und daneben etwas Zirkon und Granat. Probe 213, die Kalksandsteinauflage der Nagelfluh, stellt eine Mischung von Granitischer Molasse und Gäbrisschutt dar. Probe 212 dürfte ein reines Gäbrissediment sein.

Die Sulzbachnagelfluh wurde von RENZ (1937a) als Kronzeuge dafür angesehen, dass die Granitische Molasse z. T. den feineren Detritus der Gäbrisnagelfluh darstellt. Die sedimentpetrographische Untersuchung zeigt jedoch – wie auch HOFMANN (1957) fand –, dass es sich hier um Gesteine ganz verschiedener Provenienz handelt. Während die Granitische Molasse ausweislich ihres hohen Feldspatgehaltes von einem weitgehend aus Kristallin bestehenden Gesteinsschutt gebildet wird, überwiegt in der Gäbrisschüttung die sedimentäre Komponente (s. o.). Ihr Feldspatgehalt ist wesentlich niedriger, desgleichen ihr Gehalt an undulösen Quarzen; dazu kommt ein geringer, aber charakteristischer Hornstein-

gehalt. Das typische Schwermineral der Gäbrisschüttung ist der Rutil. Die Probe 204 von der Nordseite der Burg Rheineck, ein dunkelgrünlichgelber, fester, tonig-kalkiger, stark sandiger Dolomitarenit, stellt ebenfalls eine Einschaltung von Gäbrismaterial dar. Wir haben solche Einlagerungen demnach sowohl an der Basis als auch im höchsten Teil der Granitischen Molasse. Daraus ergibt sich bereits, dass diese beiden Schüttungen etwa gleich alt sind. Nachdem ZÖBELEIN (1963) den unteren Teil der apatitreichen Granitischen Molasse am Zürichsee («Hohrone-Schüttung», s. u.) ins Chatt einstufen konnte, folgt aus der genannten Verzahnung, dass auch die Gäbrisschüttung wahrscheinlich noch ins Chatt hinunterreicht (s. auch Fig. 13).

Es liegen von RENZ (1937b) Schwermineraluntersuchungen aus diesem und den benachbarten Gebieten vor. Da er seine Proben zur Entfernung der Karbonate mit Salzsäure behandelte und somit auf den Apatit verzichtete, liessen sich seine Ergebnisse nicht ohne weiteres benutzen, so dass auf eine Neubearbeitung nicht verzichtet werden konnte. Wenn man mit den Apatitgehalten der vorliegenden Arbeit rechnet und Granat und Erz aus seiner Statistik herausnimmt, dann lassen sich seine Resultate mit den hier vorgelegten in Einklang bringen. Dabei zeigt sich übrigens, dass sein Schwermineralprofil durch eine 7 m mächtige Bank im Hauptsteinbruch St. Margrethen, welches er als Beweis für die stratigraphische Unbrauchbarkeit der Schwermineralmethode anführt, ein recht normales Bild ergibt: Während er in den Proben 1–4 kaum Epidot fand, in der obersten Probe (Nr. 5) jedoch 49%, ergeben sich nach der obengenannten Umrechnung für Probe 3 8% und für Probe 5 14% Epidot. Dabei wurde angenommen, dass in der letzteren, welche als wesentlich feinkörniger bezeichnet wird, der Apatitgehalt höher ist, wie dies stets zu beobachten ist. Da auch der Epidotgehalt in feinkörnigen Proben höher zu sein pflegt, wird somit die von RENZ herausgestellte Diskrepanz innerhalb einer Kalksandsteinbank mühelos durch einen normalen Korngrösseneffekt und die Nichtbeachtung des Apatits erklärt. Solche schwachen Epidotgehalte, wie sie RENZ (1937b) hier aus der apatitreichen Region der Granitischen Molasse beschreibt, wurden auch in der vorliegenden Untersuchung häufiger festgestellt.

Nachfolgend sollen alle Bestimmungen des Gehaltes an undulös auslöschenden Quarzen aus dem westlichen Teil der Untersuchungsgebietes zusammengestellt werden, da hierauf in den nächsten Kapiteln häufiger Bezug genommen wird.

Tabelle 2. Undulös auslöschende Quarze in % aller Quarze (Fraktion 0,09–0,15 mm)
Abkürzungen: Aq = Aquitan; Bau = Bausteinschichten; Ch = Chatt (Stei = Steigbachschichten); GrMo = Granitische Molasse: N = epidotreiche Abteilung, Ho = apatitreiche Abteilung in der Ostschweiz (in der Westschweiz: Ap); G = Gäbrisschüttung; H = Hörnlischüttung; K = Kronbergschüttung.

Probe Nr.	Stufe	undulöse Quarze	Probe Nr.	Stufe	undulöse Quarze
179	Ch, Stei	39%	215	Ch	22%
189	Bau	40%	216	Ch	46%
204	Aq, G	39%	218	Aq, GrMo, N	34%
205	Aq, GrMo, N	63%	221	Aq, H	74%
206	Aq, GrMo, Ho	67%	222	Aq, G	40%
208	Aq, GrMo, Ho	70%	223	Aq, G	70%
210	Aq, GrMo, Ho	70%	224	Aq, G	48%
211	Aq, GrMo, Ho	80%	229	Aq, GrMo, H	58%
212	Aq, G	44%	230	Aq, GrMo, H	54%
213	Aq, G	52%	231	Aq, GrMo, H	42%
214	Aq, G	80%	233	Aq, GrMo, N	50%

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Probe Nr.	Stufe	undulöse uarze	Probe Nr.	Stufe	undulöse uarze
234	Aq, GrMo, N	52%	265	Aq, GrMo, N	42%
235	Aq, GrMo, Ho	74%	266	Aq, GrMo, N	62%
238	Aq, GrMo, Ho	70%	268	Aq, GrMo, Ho	70%
239	Ch	58%	283	Aq, H	44%
241	Aq, G	46%	284	Aq, GrMo, N	42%
242	Aq, G	48%	294	Aq, H	36%
243	Aq, G	42%	295	Aq, GrMo, N	46%
244	Aq, G	56%	297	Aq, GrMo, Ho	64%
245	Aq, G	48%	302	Aq, GrMo, Ho	64%
246	Aq, G	44%	336	Aq, GrMo, N	44%
247	Aq, G	42%	339	Aq, GrMo, N	40%
248	Aq, G	58%	342	Aq, GrMo, N	42%
249	Aq, GrMo, Ho	62%	343	Aq, GrMo, N	40%
250	Aq, G	66%	347	Aq, GrMo, Ap	40%
258	Aq, K	44%	349	Aq, GrMo, Ap	44%
263	Ch	36%			

Chatt (Proben 215–216) G.RZSAt (2)
11. 6. 52. ~10. 34

Diese Proben stammen aus der «Appenzeller Sandstein»-Zone (RENZ, 1937b). Es sind graue bis gelbgraue, feste Kalksandsteine bis Sandkalke, die sich von den Sandsteineinschaltungen der überlagernden Gäbrisnagelfluh fast nur durch den geringeren Feldspat- und Apatitgehalt unterscheiden. In ihren Ursprungsgesteinen scheint demnach die Kristallinkomponente zu fehlen, welche sich in den Gäbrisgeröllen (bei den Proben 214, 223 und 241/247) als extrem feldspat- und apatitreich erwies.

2.1.13. *Goldachgebiet*

Der tektonische Aufbau entspricht demjenigen des Rheingebietes. Die Proben 217–220 stammen aus der Vorlandsmolasse, 221–224 aus der Gäbriszone.

Vorlandsmolasse (vorwiegend Aquitan)

(Probe 217) G,AZter (1)
29. 8. 59. 1,1

(Probe 218) G,EZA (1)
63. 3. 11. 1,1. 34

(Proben 219–220) G,AZtrs (2)
62. 1. 6. 1,8

Probe 217, ein hellgrüngrauer, fester, tonig-dolomitischer Sandkalk, gehört dem gleichen nördlichen Ausläufer der Gäbrisschüttung an, wie er uns schon in Probe 204 im obersten Teil der Granitischen Molasse des Rheinprofils begegnete.

Probe 218, ein grüngrauer, lockerer, dolomitisch-kalkiger Mittelsandstein, vertritt die epidothaltige Granitische Molasse; die Proben 219–220, gelbgraue, sehr lockere, schwach kalkige Mittelsandsteine, entsprechen der apatitreichen Granitischen Molasse.

Gefaltete Molasse:

Hörnlischüttung:	(Probe 221)	g,Eaz (1) 26. 4. 34. 0,7. 74
Gäbrisschüttung:	(Proben 222 bis 224)	G,AZRts (3) 24. 4. 50. 1,3. 53

Die Proben 222–224 sind Vertreter der Gäbrisschüttung, die von Büchi (1950) als Ur-Illschüttung bezeichnet wurde, und zwar stammt Nr. 222 aus einer dunkelgrünlichgelben, plattigen, tonigkalkigen, stark sandigen Dolomitarenitbank, während die beiden übrigen Proben Nagelfluh-Bindemittel sind. Die Nagelfluh bei Probe 223 ist besonders reich an kristallinen Geröllen, wodurch vermutlich der hohe Gehalt an Feldspat und undulösen Quarzen im Bindemittel verursacht ist. 18 graue Granit- und Gneisgerölle von dieser Stelle (nach Herrn Dr. Karl vermutlich Altkristallin) zeigten einen hohen Feldspatgehalt und als Schwermineral fast nur Apatit. Demgegenüber enthielten 5 rote Granitgerölle bei Probe 224 überwiegend Zirkon. Die typischen Merkmale der Gäbrisschüttung (Fig. 12): Mittlerer Feldspat-, Chalcedon- und Karbonatgehalt und unter den Schwermineralien vor allem Rutil neben Granat, Apatit und Zirkon, sind in allen drei Proben zu erkennen. Demgegenüber ist Probe 221, ein grauer, schwach absandender, dünnplattiger kalkig-dolomitarenitischer Sandstein, durch die Kombination von hohem Epidotgehalt mit nur mässigem Feldspatgehalt charakterisiert, wie sie im Sittergebiet die Hörnlischüttung kennzeichnet. Die nördlich von Altstätten/Rhein genommene Probe 221 zeigt, dass die Gäbrisschüttung hier von der Hörnlischüttung überlagert wird. Diese «Urrheinschüttung» (Büchi, 1950) setzte im Oberaquitan ein und war bis ins Obermiozän hinein tätig.

2.1.14. *Sittergebiet*

Die Gefaltete Molasse ist hier ebenso gegliedert wie es für das Rheingebiet beschrieben wurde. Die Proben 225–238 und 240 stammen aus dem aufgerichteten Südrand der Vorlandsmolasse, 239 und 241–250 aus der Gäbriszone, also aus dem Südschenkel der gleichen Antiklinale.

Burdigal (Proben 225–227)	g,Eza (3) 23. 11. 56. 0,9

Dunkelgrüngraue (225–226) und braungraue (227), z. T. absandende, tonige Sandkalke bis Sanddolomite, welche durch mässigen Feldspatgehalt und Epidot als beherrschendes Schwermineral charakterisiert sind und demnach zur Hörnlischüttung gehören (Fig. 12). Einige Kristallingerölle, welche bei Probe 225 gesammelt wurden, enthalten Zirkon, Apatit und Epidot.

Vorlandsmolasse (vorwiegend Aquitan)

(Proben 228–232)	g,EAz (5) 25. 5. 45. 0,9. 51
(Proben 233–234)	g,EZAt (2) 52. 0. 35. 2,1. 51
(Proben 235–238 und 240)	G,AZTs (5) 49. 0. 17. 1,8. 72

Proben 228–232. Die Geröllschüttung des Hörnli, welche erst an der Aquitan-Burdigalgrenze zu voller Stärke anschwillt, kündigt sich nach Büchi (1950)

schon in der «Oberaquitanen Mergelzone» durch gelegentliche Nagelfluheinschaltungen an. Eine der ersten ist die Nagelfluh der Fröhlichsegg oberhalb Teufen. Sie unterscheidet sich durch ihren höheren Gehalt an Grüngesteinen (5%) und Dolomitgeröllen (37%) von den Gäbrisnagelfluhen (1 bzw. 10%) (Büchi 1950). Die Untersuchung von 11 Kristallingeröllen – graue Granite und Gneise – ergab als Schwerminerale Granat, Epidot und Apatit. Das sandige Bindemittel derselben (Probe 230) ist durch ein extremes Überwiegen von Epidot bei mässigem Feldspatgehalt (25%) gekennzeichnet. Diese Kombination wurde nur in Sedimenten gefunden, in deren Herkunftsgebiet Grüngesteine abgetragen wurden, was im vorliegenden Fall zutrifft.

Mit diesem Kriterium erkennt man, dass hier die gesamte Oberaquitane Mergelzone bereits zur Hörnlischüttung gehört, welche demnach mit vorwiegend feinkörnigen Sedimenten die Granitischen Sandsteine überlagert. Die Proben 228–232, gelb- bis grüngraue, mässig feste, tonige, relativ feinkörnige Sandkalke bis Sanddolomite, zeichnen sich durch einen im Mittel etwas höheren Dolomitgehalt gegenüber ihrem Liegenden aus, was dem obengenannten relativ hohen Gehalt an Dolomitgeröllen in den Hörnli-Nagelfluhen entspricht. Die undulösen Quarze sind mit 51% nicht sehr stark vertreten.

Der obere Teil der Granitischen Molasse, zu welchem die Proben 233–234 gehören, ist stets durch hohen Feldspat- und Epidotgehalt charakterisiert. Diese Kombination entsteht bei der Aufarbeitung saussuritisierter Granite, wie die Untersuchung von Geröllen aus solchen Sedimenten lehrte. Der Prozentsatz undulöser Quarze ist hier ebenso niedrig wie in der Hörnlischüttung (~ 50%).

Der grössere, untere Teil der Granitischen Molasse (Proben 235–238 und 240), grünlich- bis bräunlichgraue, absandende, tonigkalkig-dolomitische Mittelsandsteine, ist durch Granat- und Apatitreichtum ausgezeichnet. Hier ist der Gehalt an undulösen Quarzen immer hoch. Diese beiden Abteilungen bilden die Zone des Granitischen Sandsteins sensu stricto in der Ostschweiz (Büchi). Für ihn ist auch in den anderen Profilen ein hoher Glimmergehalt typisch.

Gefaltete Molasse (Gäbrisschuttfächer, vorwiegend Aquitan)	(Proben 241–248 und 250)	G, A Z R St (9) 21. 12. 44. 1,2. 50
	(Probe 249)	G, A Z E st (1) 44. 3. 21. 1,5. 62

Das Profil durch die Gäbriszone an der Strasse Bühler–Gais ist nahe am Schüttungszentrum der Gäbrisnagelfluh vorbeigeführt. Für diese ist, wie schon weiter oben erwähnt wurde, ein relativ hoher Kristallingehalt (nach Büchi im Mittel 14%) bei fast völligem Fehlen von Grüngesteinen typisch. Dementsprechend findet sich in den Sandsteineinlagerungen Epidot nur sporadisch. Auch die 34 Kristallingerölle, die in den Aufschlüssen 241–247 gesammelt wurden, sind epidotfrei und führen als überwiegendes Schwermineral Apatit. (Nach Herrn Dr. Karl handelt es sich dabei um Altkristallin.) Der Apatit- und der relativ hohe Feldspatgehalt lassen sich also von den Kristallingeröllen herleiten.

Ein Teil der Granate und Staurolithe mag aus wenig transportresistenten Metamorphitgeröllen stammen, welche den Ablagerungsort nicht erreichten. Den Rest der Schwerminerale aber, Zirkon, Rutil, Turmalin und auch etwas Granat, Staurolith und Apatit, wird man aus umgelagertem Sedimentmaterial herleiten müssen. Nach den Tabellen von Renz kommen unter den Geröll-

len der Gäbrisnagelfluh als Schwermineralliefer anten ausser den Kristallingeröllen praktisch nur die «Sandsteine, Sandkalke und Kalkschiefer» in Betracht, welche im Mittel mit 16% beteiligt sind und möglicherweise den Flyschsandkalken der westlich und östlich angrenzenden Gebiete gleichzusetzen sind. Sie enthalten denn auch fast überall, wo sie im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurden, die genannten Schwerminerale.

Besonders interessant ist eine auch von HOFMANN (1957) beschriebene Einlagerung von typischer Granitischer Molasse im untersten Teil der Gäbris-Nagelfluh (Probe 249), ein hellgrauer, stark absandender kalkig-toniger Mittelsandstein, welcher durch seinen hohen Gehalt an Apatit, Feldspat und undulösen Quarzen bei geringem Hornstein- und Rutilgehalt als untere Abteilung des Granitischen Sandsteins gekennzeichnet ist. Es ist dies das Gegenstück zu den Gäbris-Einschwemmungen in der Granitischen Molasse, wie wir sie unter anderem in der Sulzbachnagelfluh (Rheingebiet) und an der Bregenzer Ache kennengelernt haben (s. Fig. 13).

Chatt (Probe 239)	G,ZRTasa′ (1) 1. 10. 60. 1,6. 58

Aus dem tiefsten Teil des an der Strasse Teufen–Bühler aufgeschlossenen Chatts wurde ein fester, plattiger, gelbgrauer, tonig-dolomitarenitischer Sandkalk untersucht: Ebenso wie die Proben 215 und 216 von Berneck (Rheingebiet) unterscheidet er sich von den Kalksandsteinen der Gäbrisschüttung durch seinen niedrigen Feldspat- und Apatitgehalt: Im (? tieferen) Chatt war praktisch noch kein Kristallin von der Erosion angeschnitten.

2.1.15. *Urnäschgebiet*

Die beiden Antiklinalzonen, im First durch die Gäbris- (= N) bzw. Kronberg-Aufschiebung (= S) zerteilt, sind auch hier ausgebildet, doch ist der Nordflügel der südlichen Antiklinale zugunsten ihres Südflügels unterdrückt, welcher durch die mächtige aquitane Nagelfluhserie der Kronbergschüttung (HABICHT 1945b) aufgebläht ist. Südlich davon schiebt sich hier, zunächst noch schuppenartig komprimiert, die Speerzone ein. Die Proben 251–253 stammen aus dem Südrand der Vorlandsmolasse, die Proben 254–263 aus der Kronbergzone.

Vorlandsmolasse (vorwiegend Aquitan)	g,Eaz (1)
(Probe 251)	51. 0. 24. 1,5
(Proben 252–253)	G,AZStr (2) 52. 0. 8. 0,7

Probe 251, ein stark absandender, gelbgrauer, kalkig-dolomitarenitischer Feinsandstein, gehört zur oberen, epidotreichen Abteilung der Granitischen Molasse, die Proben 252–253, absandende, dunkelgelblichgraue, tonige Mittelsandsteine, vertreten deren untere, granat-apatitreiche Abteilung.

Aquitan der Gefalteten Molasse (Kronbergfächer)	g,EAzt (3)
(Proben 254–256)	15. 20. 70. 2,7
(Proben 257–258)	g,ATsze (2) 17. 25. 59. 1,8. 44
(Probe 259)	G,TRZAes′s (1) 4. 55. 64. 1,2

Die drei obersten Proben, rötlichgraue, dolomitische Sandkalke, wurden aus dem Bindemittel der Nagelfluhen der «Pfingstboden-» und «Hochfläschlischichten» entnommen, welche nach HA-

BICHT im Schüttungszentrum des Kronbergfächers mit 900 m nahezu die Hälfte des ganzen Aquitans bestreiten und durch einen besonders hohen Ophiolithgehalt (bis 2%) neben 2–13% anderen Kristallingeröllen (Granit, Gneis, Quarzporphyr) und etwa 90% Flyschsandkalk-, Kieselkalk-, Kalk- und Dolomitgeröllen gekennzeichnet sind.

Vier grüne Gerölle wurden untersucht, und zwar 3 in Dünnschliffen und eines in Körnerpräparaten der Leicht- und Schwermineralfraktion:

1. Ein Hornblendegranit (Bestandteile: Calcitisierte Hornblende > Plagioklas, z.T. verglimmert > Chlorit, z.T. calcitdurchsetzt > Epidot.)
2. Ein saussuritisierter Porphyr (Bestandteile: Feinstkörnige Grundmasse > leicht verglimmerte Plagioklasidioblasten > Quarzeinsprenglinge, z.T. korrodiert, > Epidot, meist den Feldspat durchschwärmend, > Chlorit > Calcit.)
3. Ein Epidot-Glaukophanschiefer (Bestandteile: Kristallisationsschiefriges Gefüge von Quarz und Feldspat > Epidotkörner (posttektonisch gewachsen) > Glaukophan > etwas Chlorit und Karbonat.)
4. Ein Grüngestein (Bestandteile: 50% Feldspat, 22% Quarz, 22% Epidot, 5% Chlorit, 1% Apatit.)

Von der gleichen Stelle (bei Probe 254) wurden einige Flyschgerölle untersucht. Es sind schwach quarzitische Sandkalke, deren Sandkomponente einen geringen Feldspat- und Hornsteingehalt aufweist. Die Schwermineralfraktion zeigt das für den Flysch typische Bild: Granat, Zirkon, Apatit, Turmalin, Staurolith und Rutil sind – der Häufigkeit nach – die Hauptminerale. Die von HABICHT (1945 b) untersuchten Flyschsandkalkgerölle enthielten im Säureunlöslichen fast ebensoviel Hornstein wie Quarz. Nach HABICHT (1945 b, S. 52) führt die Molasse in der südlichen Kronbergzone bis 4 m grosse Flyschblöcke, welche nur sehr kurz transportiert sein können.

Das starke Überwiegen der Sedimentgesteinskomponenten und speziell der Flyschsandkalke in dieser Nagelfluh erklärt den geringen Feldspatgehalt und den hohen Hornsteingehalt ihrer Sandeinlagerungen. Die charakteristische Beteiligung sehr epidotreicher Grüngesteine (s.o.) erklärt den hohen Epidotgehalt. Von den Schwermineraluntersuchungen HABICHTS gehört die Probe «Urnäsch 11» hierher.

BÜCHI (1950) brachte die Kronbergnagelfluh mit der Hörnlischüttung wegen der gemeinsamen Grüngesteinskomponente in Verbindung. Diese Verwandtschaft zeigte sich auch bei der sedimentpetrographischen Bearbeitung, und zwar vor allem in der für Grüngesteine führende Nagelfluhen typischen Kombination von wenig Feldspat mit viel Epodit in den begleitenden Sandsteinen beider Schüttungen (s. auch unter Sittergebiet, Proben 228–232). Jedoch unterscheidet sich der obere Teil der Kronbergschüttung recht deutlich von der Hörnlischüttung durch seinen geringeren Feldspatgehalt, seinen höheren Hornsteingehalt und seinen wesentlich höheren Kalkgehalt. Dieser Unterschied lässt sich weitgehend durch die Verschiebung des Beteiligungsverhältnisses der beiden für die Sandfraktion massgebenden Geröllkomponenten erklären (nach BÜCHI 1950, HABICHT 1945b und TANNER 1944):

	Kristallingerölle	Flyschsandkalke
Basis der Hörnlischüttung (Oberaquitan)	15%	11%
Oberer Teil der Kronbergschüttung	5,5%	28%

Ausserdem ist auch der Gehalt an Kalkgeröllen in der Kronbergschüttung höher.

Wenn man mit BÜCHI (1950) die oberste Kronbergschüttung für gleichaltrig mit dem aquitanen Teil der Hörnlischüttung halten möchte, muss man nach dem Vorangehenden eine Verschiebung des Geröllspektrums in der Schüttungsrichtung annehmen, etwa derart, dass die grösseren Flyschgerölle in dieser Richtung zu-

gunsten der kleineren Kristallingerölle allmählich zurücktraten. Für die begleitenden Sandsteine jedoch bereitet dieses Modell Schwierigkeiten. Wahrscheinlicher ist deshalb die andere Möglichkeit, dass die Hörnlischüttung die Kronbergschüttung zeitlich abgelöst hat. Hierzu würde auch passen (s. u.), dass die Hörnlischüttung gleichsam das Endglied der innerhalb der Kronbergschüttung erkennbaren Entwicklung darstellt.

Die Proben 257–258 gehören zu den etwa 900 m mächtigen «Ennetbühler-» und «Hochalpschichten» HABICHTS (1945 b). Sie unterscheiden sich vom Hangenden vor allem durch das Fehlen von Grüngesteingeröllen. Dementsprechend tritt im Schwermineralbild der eingelagerten Kalksandsteine der Epidot zugunsten von Apatit und Turmalin zurück. Die Farbe wird im unteren Teil der Hochalpschichten grau. Der Kristallingehalt beträgt gelegentlich noch 4%. Dem entspricht der nahezu unveränderte Feldspatgehalt. Auch der Hornsteingehalt ist gleich hoch wie in der hangenden Abteilung. Undulöse Quarze finden sich auch hier wie im Gäbrisfächer nicht allzu reichlich, entsprechend dem Überwiegen sedimentären Ursprungsmaterials.

Hierher gehören auch die Proben «Urnäsch 6–9» von HABICHT (l.c.). Ein unmittelbarer Vergleich derselben mit den vorliegenden Untersuchungen ist nicht möglich, da HABICHT den Apatit nicht berücksichtigt hat. Dadurch entstehen in dieser apatitreichen Serie seine hohen Staurolithgehalte.

Probe 259. Die untersten 170 m des Aquitans, die «Krummenauer Schichten», lassen sich mineralogisch nicht vom Chatt unterscheiden. Für den tiefsten Teil gilt dies nach HABICHT auch makroskopisch, während weiter oben die Nagelfluhbänke mit ihrer geringeren Verkittung und ihren Gneisgeröllen noch typisches Kronberg-Aquitan sind.

Chatt (Proben 260–262)	G, ZTSAR (3) 4. 25. 74. 0,9
(Probe 263)	G, ZArs (1) 46. 1. 41. 0,9. 36

Die Proben 260–262, blaugraue, feste, sandige Kalk-Dolomitarenite, gehören den «Wintersbergschichten» des obersten Chatt an, welche nur im höheren Teil noch als Nagelfluh ausgebildet sind. Diese ist kristallinfrei und führt als Hauptkomponente Flyschsandkalke. Dementsprechend ist der Feldspatgehalt sehr gering und der Hornsteingehalt besonders hoch, mit Ausnahme der untersten Probe, welche aus der nagelfluhfreien Zone stammt. Das Schwermineralbild entspricht demjenigen der anderen Chattvorkommen. Insgesamt lässt sich die mineralogische Zusammensetzung dieser Molassegesteine aus den Flyschsandkalken und aus Kalk- und vor allem Dolomitgesteinen herleiten. (Die Flyschsandkalke sind fast immer nahezu frei von Dolomit.) Solche Gesteine bilden denn auch die überwiegenden Geröllkomponenten des unteren Aquitans und des oberen Chatts der Kronbergzone.

Eine Ausnahme macht die Probe 263, ein dunkelgrüngelber, lockerer, kalkig-dolomitarenitischer Sandstein. Sie stammt aus einem der Granitischen Sandsteine, wie sie den «*Ebnater Schichten*» nach HABICHT (1945b) verschiedentlich in mehrere Meter mächtigen Bänken eingelagert sind. Wenn auch der hohe Zirkongehalt und die geringe Anzahl undulöser Quarze eine Verwechslung mit den vorwiegend aquitanen Granitischen Sandsteinen s. str. ausschliesst, so erinnert doch das makroskopische Bild sehr daran. Der hohe Feldspat- und Apatitgehalt macht auch hier die wesentliche Beteiligung kristalliner Ursprungsgesteine wahrscheinlich. Diese dürften in gelegentlichen Kristallingerölleinschaltungen des Speerfächers zu suchen sein, welche zu dieser lokalen Entwicklung Anlass gaben.

2.1.16. *Thurgebiet*

Hier sind die Kronbergzone und die südlich eingeschobene Speerzone auf Kosten der Gäbriszone verbreitert. Da die Südgrenze der Vorlandsmolasse hier wie auch im Urnäsch- und Sittergebiet eine tektonische ist («Randunterschiebung

der Molasse»), wurde als Bezugsfläche für die Proben 264–272 aus dem Aquitan der Vorlandsmolasse wieder die Aquitan-Burdigal-Grenze angegeben. Die Proben 273–277 stammen aus den südfallenden, chattischen Nagelfluhen des Speerfächers (HABICHT 1945b), die Proben 278–279 aus den Horwer Platten, den Äquivalenten der Bausteinschichten (BUXTORF & KOPP 1943) im Liegenden der genannten Chatt-Nagelfluhen.

Vorlandsmolasse (vorwiegend Aquitan (Probe 264)	g,EAzts (1) 26. 13. 60. 1,2
(Proben 265–266)	g,Ezat′ (2) 44. 0. 21. 2,1. 52
(Proben 267–272)	G,AZter (6) 47. 0. 13. 1,4. 70

Probe 264, ein gelbgrauer, fester, sandig-toniger, dolomitarenitischer Kalkstein, gehört mit ihrem hohen Epidot- und relativ geringen Feldspatgehalt zur Hörnlischüttung.

Die Proben 265–266, gelbgraue, absandende, kalkige Tonsandsteine, repräsentieren den oberen, epidotreichen Teil der Granitischen Molasse. Er ist hier feinkörnig wie im Sittergebiet. Die untere Abteilung wird durch die Proben 267–272, gelblich- bis grünlichgraue, lockere, kalkig-dolomitarenitische Mittelsandsteine, vertreten. Die unterste Probe ist bereits durch aufgearbeitetes Chatt verunreinigt, wie der (in die obige Formel nicht mit aufgenommene) hohe Karbonat- und niedrige Feldspatgehalt zeigt.

Chatt (Proben 273–277)	G,ZTRAs′s (5) 0. 25. 57. 1,7

Die Nagelfluh der Speerzone gleicht nach HABICHT (1945b) weitgehend den chattischen «Wintersbergnagelfluhen» der Kronbergzone. Flyschgerölle sind auch hier die bei weitem überwiegende Komponente. Daher sind die begleitenden gelblich- bis rötlichgrauen, dolomitarenitischen Sandkalke nahezu feldspat- und glimmerfrei, jedoch reich an Hornsteinkörnern. Auch bezüglich der Schwerminerale stimmen diese Proben mit den weiter oben behandelten Chattproben überein.

Horwer Platten (Proben 278–279)	g,TAzr(2) 5. 6. 54. 2,0

Diese Proben, graue, tonige, stark sandige Kalk-Dolomitarenite, sind wie die vorigen Proben an der Strasse Stein–Nesslau genommen. Gegenüber dem Chatt fällt der höhere Feldspat- und Glimmergehalt, der niedrigere Hornsteingehalt und das Zurücktreten von Zirkon und Rutil zugunsten des Apatits und vor allem des Turmalins auf. Letzteres stellte auch HABICHT (1945b) an dem von ihm untersuchten Material fest. Diese Veränderungen erklären sich mühelos durch den höheren Kristallingehalt der Nagelfluhschnüre, die gelegentlich eingestreut sind. Nur für den höheren Turmalingehalt bieten die Geröllzählungen keine Erklärung.

2.1.17. *Zürichseegebiet*

Hier wurde fast nur der nördliche Aquitanstreifen untersucht, und zwar im Bereich des Goldinger Tobels sowie an der Hohen Rone. Während die Granitische Molasse in dem erstgenannten Gebiet wie meist auch weiter im Osten den auf-

gerichteten Südrand der Vorlandsmolasse, d. h. den Nordflügel der nördlichsten Antiklinale der Subalpinen Molasse, bildet, bestreitet sie in der westlichen Fortsetzung, in der Hohen Rone, auch den Südflügel dieser Antiklinale, wobei der schmächtige Nordflügel unter dem angeschobenen, mächtig aufgeblähten, geröllführenden Südflügel überkippt ist.

Burdigal (Probe 280)		g, E a s (1) 29. 3. 55. 1,6

Diese Probe, ein braungrauer, schwach absandender, dolomitarenitischer Sandkalk, gehört nach dem mineralogischen Befund eindeutig zur Hörnlischüttung. (Sie wurde, ebenso wie die folgende Serie, unter der freundlichen Führung von Herrn Dr. Büchi genommen.)

Vorlandsmolasse a) Bereich des Goldingertobels und des Buchberges (Aquitan und Chatt)	(Proben 281 u. 283)	G, E A Z t r t′ (2) 30. 5. 50. 1,7. 44
	(Proben 282 u. 284)	g, E a (2) 54. 1. 11. 4,1. 42
	(Proben 285 u. 293)	G, A Z t (10) 48. 1. 17. 1,3

Die Proben 281 und 283, graue, tonig-dolomitarenitische Sandkalke, stammen aus der Hörnli-Nagelfluh, die letztere aus der Basisbank derselben. Dem entspricht die mineralogische Zusammensetzung. Bei Probe 283 wurden fünf Grüngesteinsgerölle untersucht, wie sie für diese Schüttung typisch sind. Als häufigstes Schwermineral wurde darin Titanit gefunden, daneben etwas Apatit, Epidot und Zirkon. Titanit wird in den Molassesandsteinen fast nur mit Epidot zusammen gefunden. 16 rote Granitgerölle von der gleichen Stelle enthielten überwiegend Apatit und daneben etwas Zirkon, Granat und sehr wenig Epidot.

Die Proben 282 und 284, gelb- bis grüngraue, stark absandende, kalkige Mittelsandsteine, wurden westlich bzw. im Liegenden der Hörnli-Basisnagelfluh genommen. Sie gehören auch nach ihrer petrographischen Zusammensetzung nicht zur Hörnlischüttung, sondern in den oberen, epidotreichen Teil der Granitischen Molasse. Es sei besonders auf den geringen Dolomitgehalt hingewiesen. Die eingestreuten Gerölle, von denen 19 hellgraue und rote Granite sowie hellgraue Porphyre untersucht wurden, sind nahezu frei von Epidot. Als Schwerminerale figurieren Zirkon und Apatit. Diese Gerölle, nach Herrn Dr. Büchi typisches Hohrone-Kristallin, haben, wie später gezeigt wird, nichts mit den umgebenden Sandsteinen zu tun.

Die übrigen 10 Proben stellen den unteren, granat- und apatitreichen Teil der Granitischen Molasse dar. Ein auffälliges Merkmal dieser Zone ist der stark schwankende Zirkongehalt. Nach Zöbelein (1957 und 1963) ist damit zu rechnen, dass der untere Teil dieser Granitischen Molasse bereits ins Chatt gehört.

b) Hohe Rone (Aquitan und Chatt)	(Probe 294)	g, E Z a (1) 22. 18. 62. 0,8. 36
	(Proben 295–296 b)	G, Z A E t s (3) 60. 1. 16. 2,2. 46
	(Proben 297–307)	G, A Z t r (11) 46. 0. 12. 1,7. 64

Die Proben 294–296 b stammen aus dem Nordflügel, die übrigen aus dem aufgeschobenen Südflügel der Hohen Rone. Probe 294, ein hellgelbgrauer, fester, tonig-sandig-kalkiger Dolomitarenit, gehört zur Hörnlischüttung. Nach der von Büchi (1950) gegebenen Darstellung dürfte sie im westlichsten Ausläufer derselben liegen.

Nach KLEIBER (1937) enthalten die nordfallenden Schichten nur vereinzelte Gerölle. Sie bestehen im wesentlichen aus einer «monotonen Serie von glimmerigen Sandsteinen und Mergeln». In ihnen stellte schon KLEIBER einen hohen Gehalt an Epidot fest. Das konnte mit den Proben 295–296b, grünlichgrauen, lockeren, kalkigen Mittelsandsteinen, bestätigt werden. Diese gehören in den oberen, epidotreichen Teil der Granitischen Molasse, sind jedoch offensichtlich durch Material aus dem unteren, granat- und apatitreichen Teil verdünnt. Bei Probe 296a wurden 13 rote und grüne Granitgerölle gesammelt. Ihre Untersuchung ergab neben einem ausserordentlich hohen Feldspatgehalt als Schwerminerale fast ausschliesslich Apatite. Epidot, das charakteristische Schwermineral der umgebenden Sandsteine fehlt in ihnen. Es entsteht hier ebenso wie im Goldingertobel der Eindruck, dass diese Gerölle eine andere Herkunft haben als die umschliessenden Sandsteine.

Die Proben 297–307, grün- und gelbgraue, häufig absandende, z. T. kalkigtonige Sandsteine aus dem geröllführenden Schüttungszentrum des Hohrone-Fächers, stammen aus der unteren, granat- und apatitreichen Partie der Granitischen Molasse. Wir stehen hier gewissermassen am Ausgangspunkt dieser Schüttung, worauf auch HOFMANN (1957) hinweist. Das beweisen die folgenden Beobachtungen:

1. Nur in diesem Gebiet finden sich in der Granitischen Molasse die dazugehörigen Gerölle. 10 rote und grüne Granite von Probe 297, welche makroskopisch mit den aus dem Nordflügel untersuchten übereinstimmen, enthalten die gleichen Schwerminerale wie der umgebende Sandstein: Zirkon, Granat, Apatit und etwas Epidot.
2. Nur hier finden sich die Geröllbänke, deren Kristallingehalt (im Mittel 58%) genügend hoch ist, um den hohen Feldspatgehalt des Granitischen Sandsteins s. str. zu erklären.
3. KLEIBER (1937) weist sehr mit Recht auf den Unterschied gegenüber den typischen Nagelfluh-Schuttfächern hin. In der Hohen Rone fehlen die schlecht sortierten, kompakten Nagelfluhbänke, welche an grossen Teilen des Alpenrandes auftreten und ihre Entstehung offensichtlich einem sehr plötzlichen Abebben der Transportkraft verdanken. Demgegenüber finden sich in der Hohen Rone nur Geröllschnüre, die insgesamt nicht mehr als 5–10% dieser Serie ausmachen. Man hat den Eindruck, dass dieses Gebiet, welches auf Grund der heutigen tektonischen Aufschlussverhältnisse als Ausgangspunkt der Granitischen Sandsteinschüttung erscheint, keine sedimentologisch besondere Stelle jenes Flusses war, dass der Materialtransport vielmehr noch wesentlich weiter ging. Dementsprechend wurde am Goldingertobel (s. o.) noch die gleiche Fazies (mit Geröllschnüren) angetroffen.

Die epidothaltige Granitische Molasse des Nordflügels aber kann nicht von der Hohen Rone hergeleitet werden, mit Ausnahme der obengenannten Verunreinigungen und der eingestreuten Gerölle. Nach den Beobachtungen in den weiter im Osten untersuchten Gebieten ist sie jünger als die Hohroneschüttung. Zur Ermittlung der aufgeschlossenen Gesamtmächtigkeit der Granitischen Molasse wurde sie daher zu der letzteren hinzugerechnet. So ergibt sich die hier verwendete grössere

Mächtigkeit von 2000 m gegenüber 1500 m bei KLEIBER (1937), welcher von der Annahme ausging, dass die Schichten des Nordflügels eine feinere Abschlämmung des Südflügels darstellen, mit diesem also gleichaltrig sind.

Chatt (Proben ohne Nummern)	G, ZRTSas' (2) 5. 20. 75. —

Von dem Höhenrücken südlich der Hohen Rone stammen zwei sehr karbonatreiche Proben, welche auch in ihrem geringen Feldspat- und Apatitgehalt und ihrem hohen Hornstein- und Rutilgehalt mit den östlicheren Chattvorkommen übereinstimmen. (Sie konnten nicht mehr in die Zählisten aufgenommen werden). Alle diese Vorkommen von (? älterem) Chatt deuten auf ein fast ausschliesslich sedimentäres Herkunftsgebiet hin.

? Flysch (Probe ohne Nummer)	g, ZATra' 22. 1. ~20. ~10

Der kalkige, neuerdings fragliche Flyschsandstein von Matt im Sernftal bei Glarus ähnelt petrographisch, vor allem hinsichtlich des geringen Dolomitgehaltes, den anderen Flyschvorkommen (s. auch Abschnitt 2.2.1.3.)

2.1.18. *Vierwaldstätterseegebiet*

Die Granitische Molasse ist hier in zwei z. T. gestörte Falten gelegt. Gegen sie wurde von Süden die mächtige, südfallende chattische Nagelfluh der Rigi mit den Horwer Platten und Grisiger Mergeln an der Basis geschoben, welche ihrerseits im Süden an den Flysch grenzt. Die Proben 309–312 stammen aus der Granitischen Molasse, 313–323 aus dem Chatt der Rigischuppe, 324–327 A aus den Horwer Platten bei Grisigen, 327 B-C aus den dortigen Grisiger Mergeln und a–c aus dem autochthonen Flysch des Altdorfer Sandsteins.

Burdigal (Probe 308)	g, EAtz (1) 35. 0. 24. 1,8

Die Probe, ein graugrüner, fester, kalkig-toniger Feinsandstein, stammt aus dem untersten Teil des Luzerner Sandsteins. Sie stimmt mineralogisch mit dem darunterliegenden Aquitan überein, ist jedoch etwas feldspatärmer.

Granitische Molasse (Proben 309–312) (Aquitan)	g, EAzt (4) 48. 0. 19. 2,3

Die obere, epidotreiche Abteilung der Granitischen Molasse ist südlich von Luzern mindestens 1500 m mächtig. Ob darunter auch die untere, epidotfreie Abteilung vom Hohrone-Typ ausgebildet ist, liess sich hier infolge der Aufschlussverhältnisse m. E. nicht feststellen. Während die drei tieferen Proben, grünlich- bis gelbgraue, kalkige Grobsandsteine, neben Epidot und Apatit auch Granat führen, fehlt dieser in der ersten Probe, einem tonig-kalkigen, extrem epidotreichen Feinsandstein.

Ähnlich wie in der granat- und *apatit*reichen Granitischen Molasse der Hohen Rone finden sich nun hier extrem kristallinreiche Geröllagen in der *epidot*reichen Granitischen Molasse eingestreut; man befindet sich daher nicht sehr weit vom Liefergebiet entfernt.

Chatt (Proben 313–321)	G, AZTss′ (9) 10. 6. 52. 3,3
(Proben 322–323)	g, TZAr (2) 1. 3. 74. 0,5

Aus der obersten Abteilung, der etwa 500m mächtigen Kalknagelfluh der Scheidegg, wurden keine Proben untersucht.

Die Proben 313–317, dunkelgrüngelbe, feste, tonig-dolomitarenitische Sandkalke und (oben) Kalksandsteine, wurden an der Strasse Schwyz-Rapperswil genommen; die Proben 318–321, hellbraune bis violettgraue, dolomitarenitische Sandkalke, bilden das Bindemittel der Nagelfluh am Rigisüdfuss. Die gesamte Probenserie umfasst etwa den Bereich der ungefähr 1500 m mächtigen «polygenen» Riginagelfluh, welche im Mittel 8% Kristallingerölle (überwiegend Granit) enthält. Diese spiegeln sich in einem sehr wechselnden Feldspatgehalt der Sandeinlagerungen, welcher jedoch 27% nicht übersteigt und daher niemals zu einer Verwechslung mit der Granitischen Molasse Anlass geben könnte, zumal er im Mittel nur 10% beträgt. Trotz des «polygenen» Charakters ist die Riginagelfluh eben doch insgesamt von Sedimentkomponenten geprägt. Nach SPECK (1953) bilden Flyschgerölle den Hauptanteil. Darauf deuten auch das Schwermineralbild und ein geringer, aber deutlicher Hornsteingehalt hin. In diesem Zusammenhang sei auf den rotbraunen Spinell hingewiesen, der als accessorischer Gemengteil vor allem in sedimentogenen Molassegesteinen gefunden wurde (s. Tab. 12). Der Zirkongehalt steigt vom Liegenden zum Hangenden ziemlich stark an. Von den östlicheren Chattvorkommen weichen diese Proben durch ihren höheren Feldspat- und Apatitgehalt – verursacht durch die Kristallingerölle – und das Zurücktreten des Dolomits ab.

Die Proben 322–323, gelbbraune, mässig feste, sandig-kalkige Dolomitarenite, gehören zur Kalknagelfluh von Weggis, welche in einer Mächtigkeit von 800 m die Basis der Riginagelfluh bildet. Dem Fehlen von Kristallingeröllen entspricht der äusserst niedrige Feldspatgehalt, das Zurücktreten des Apatits und der hohe Karbonatgehalt. In dem letzteren fällt vor allem die hohe Dolomitbeteiligung auf. Probe 323 besitzt schon den hohen Turmalinfarbquotienten der Bausteinschichten bzw. Horwer Platten. Sie liegt noch etwa 300 m über den letzteren.

Horwer Platten (Proben 324–327 A)	g, ATZr (6) 11. 1. 26. 4,5

In einem kleinen Steinbruch oberhalb der Tongrube Grisigen SW Horw wurden diese dunkelgrauen, tonigen, meist feinkörnigen Kalksandsteinproben genommen. Ihr Feldspat- und Glimmergehalt ist höher als derjenige vor allem des unteren Chatts, desgleichen der Apatitgehalt. Vermutlich spielte hier ein kristallines Liefergebiet eine gewisse Rolle, wie das auch andernorts in dieser Stufe zu beobachten ist (z. B. im Thurgebiet); darauf deutet ebenso der relativ niedrige Karbonatgehalt hin, der in seiner Dolomitarmut dem «polygenen» Teil der Riginagelfluh ähnelt. Typisch ist der hohe Turmalinfarbquotient und die Häufigkeit rotbrauner Biotite, auffällig darüber hinaus der abnorm stark korngrössenabhängige Granatgehalt.

Grisiger Mergel (Proben 327 B–C)	g, ATZA′r (2) 6. 1. 32. 6,8

Aus dieser z. T. tektonisch verfältelten Mergelserie wurden zwei Kalksandsteinbänke (darunter die hangendste) untersucht. Sie unterscheiden sich petrographisch nicht wesentlich von den überlagernden Horwer Platten.

Altdorfer Sandstein (Proben a–c) (Eozän-Flysch)	g, ARTz (3) 23. 0. 20. ~10

Seine Zusammensetzung unterscheidet sich wohl vor allem durch den relativ hohen Feldspatgehalt und den niedrigeren Dolomitgehalt von derjenigen der Horwer Platten, zeigt aber im ganzen einen ähnlichen Gesteinstyp. Dieses und die anderen Flyschvorkommen wurden überschlägig untersucht, nachdem sich der grosse Anteil umgelagerten Flyschmaterials an den Molassesandsteinen herausstellte.

2.1.19. *Entlebuch*

Das Aquitan am Südrand der mittelländischen Molasse zeigt auf Blatt Escholzmatt nach FRÖHLICHER (1933) einen antiklinalen Bau (Proben 335–349). Die Verhältnisse ähneln damit denjenigen an der Hohrone. Nördlich dieses morphologisch als Längstal kenntlichen Streifens weicher Granitischer Molasse erhebt sich das aus Nagelfluhen des Burdigal, Helvet und Torton zusammengesetzte Napfmassiv (Proben 328–334). Im Süden folgt die gegen das Aquitan aufgeschobene Bäuchlenzone, welche aus südfallendem Chatt und etwas Rupel an der Basis besteht (Proben 350–365). Auf diese wiederum ist die aus Rupel (Grisiger Mergel ≃ Tonmergelschichten) zusammengesetzte Hilfernzone geschoben (Proben 366–366 D), welche im Süden vom Alpennordrand begrenzt wird.

Helvet (Proben 328–329)	g, E A z (2) 29. 0. 22. 21

Es wurden zwei Proben aus der untersten, nagelfluhärmeren Partie untersucht, rötlich-gelbgraue, lockere, kalkig-tonige Mittelsandsteine. Schwerminerale und Feldspatgehalt stimmen mit denjenigen der Hörnlischüttung und auch des westlichen deutschen Alpenvorlandes überein. Letzteres ging bereits aus der VON MOOSschen (1935) Bearbeitung der schweizerischen Molasse hervor. FÜCHTBAUER (1954, Abb. 2d–e) leitete daraus ab, dass sich das süddeutsche Becken der Oberen Meeresmolasse mit dem Material der Napfschüttung und einer ostbayerischen bis österreichischen, hornblendeführenden Schüttung gefüllt hat. Später wurde auf Grund der Arbeit von TANNER (1944) noch die Hörnlischüttung hinzugenommen (FÜCHTBAUER, 1955, Abb. 1d–e). Es wäre jetzt darüber hinaus möglich, den Einfluss von Hörnli- und Napfschüttung im Alpenvorland gegeneinander abzugrenzen: die erstere unterscheidet sich nämlich von der letzteren durch ihren Hornsteingehalt und ihren wesentlich höheren Karbonatgehalt (vor allem Dolomit).

Eine Geröllzählung von FRÖHLICHER (1933) etwa im Niveau der beiden untersuchten Proben ergab 28% Kristallin, darin weisse und rote Granite, grüne Granite mit saussuritisierten Feldspäten, Gneise, Gabbros, Diorite, Ophiolithe, Porphyrite und Aplite; daneben Quarzite, Kalke, Sandsteine und Radiolarite. Einige zum Teil grüne Granitgerölle bei Probe 328 ergaben als Hauptschwerminerale Epidot und Hornblende, daneben etwas Apatit. Es ist merkwürdig, dass in den untersuchten Proben der Molasse dieses Gebietes und auch in ihren Derivaten im deutschen Alpenvorland nur sporadisch Hornblende gefunden wurde, obwohl sie in den untersuchten Geröllen reichlich enthalten ist. Im Dünnschliff eines Hornblendegneises bei Probe 328 liess sich erkennen, dass die (braunen und grünen) Hornblenden schon im Geröll meist stark angegriffen und stellenweise in Chlorit übergegangen sind. Vielleicht ist dies die Erklärung für ihr Fehlen in den begleitenden Molassegesteinen.

Burdigal (Proben 330–334)	g, E A z (5) 34. 0. 24. 3,0

Die Proben 330 und 331, gelblichgraue, kalkig-tonige Feinsandsteine, stammen aus dem oberen, nach FRÖHLICHER (1933) nahezu limnischen Teil des Burdigals; die Proben 332–334, dunkelgrüngraue, gelbgrau verwitternde, tonig-kalkige Feinsandsteine, kommen aus dem unteren Teil, dem Luzerner Sandstein, in welchem der Napffluss vermutlich noch nicht so wasserreich war, so dass sich hier ein brackisch-marines Milieu halten konnte (RUTSCH 1957). Der Feldspatgehalt nimmt nach unten mit Annäherung an die Granitische Molasse zu; das Schwermineralbild gleicht demjenigen des Helvets, der Dolomitgehalt scheint etwas grösser zu sein als dort. Der Schwermineralgehalt ist hier abnorm hoch (bis 8% transparente Schwerminerale in der untersuchten Sandfraktion); die schwermineralreichsten Proben führen fast nur Epidot. Es ist nicht ausgeschlossen,

dass hier und auch im obersten Teil des Aquitans (Proben 335–337) der hohe Epidotgehalt nicht nur aus saussuritisierten Graniten, sondern darüber hinaus auch aus Grüngesteinen stammt. Die eingestreuten Gerölle sind polygen, doch sind helle Quarzite hier wie auch im Helvet die überwiegende Komponente.

Granitische Molasse (vorwiegend Aquitan)

(Proben 335–344)	g, E A z (10) 50. 0. 20. 5,2. 42
(Proben 345–349)	G, A Z t (5) 54. 1. 17. 4,2. 42

Wegen des gestörten Schichtverbandes musste hier von einer Angabe der relativen Höhenlage der Proben abgesehen werden; in der Tabelle ist lediglich die horizontale, senkrecht zum Streichen gemessene Entfernung vom Nordrand des Aquitanstreifens angegeben. Im folgenden werden zunächst die petrographischen Befunde besprochen und daraus dann die Konsequenzen für die tektonische Deutung des Profils gezogen.

Die Proben 335–344, gelblich grüngraue, meist stark absandende, kalkige Fein- bis Grobsandsteine, repräsentieren den oberen, epidotreichen Teil der Granitischen Molasse, welcher hier mit etwa 1600 m die grösste gemessene Mächtigkeit erreicht. Die drei ersten Proben, welche etwa den obersten 100 m des Aquitans entsprechen, sind durch ein enormes Überwiegen des Epidots gekennzeichnet, wie es ähnlich am Vierwaldstätter See beobachtet wurde. Geröllschnüre, welche denjenigen der Hohen Rone ähneln, finden sich in der ganzen Serie häufig eingestreut. Einige rote und grüne, nach Herrn Dr. Karl zum Teil sicher alpidisch metamorphe Granite, welche bei Probe 340 untersucht wurden, enthalten die Schwerminerale Apatit, Granat und Epidot, stimmen also mit dem umgebenden Sediment im Prinzip überein.

Als Ausgangspunkt der unteren, granat- und apatitreichen Granitischen Molasse konnte weiter oben die Hohe Rone ermittelt werden, und zwar auf Grund der folgenden Kriterien: 1. In den Sedimenten finden sich die bezüglich des Schwermineralinhaltes dazugehörigen Gerölle. 2. Die Beteiligung kristalliner Gerölle ist gross genug, um den hohen Feldspatgehalt der Molasse zu erklären. 3. Es fehlen die mächtigen Nagelfluhkomplexe mit feinkörnigem Bindemittel, wie sie in Gewässern mit grosser, aber schnell abnehmender Transportkraft entstehen; statt dessen findet man Geröllschnüre und Sande wie in Flüssen mit gleichmässigem Gefälle.

Alle diese Merkmale gelten in gleicher Weise für die obere, epidotreiche Granitische Molasse des Entlebuchs, die hier auch weitaus die grösste Mächtigkeit am Alpenrand besitzt. Demnach werden diese Sedimente, wo auch immer sie gefunden werden – ob im Nordflügel der Hohen Rone, wo sie etwa 150 m mächtig sind, oder am ostschweizerischen Alpenrand, wo sie Mächtigkeiten von maximal 300 m erreichen – aus der aquitanen Napfschüttung herzuleiten sein. Hierfür spricht auch der für die Ostschweiz ungewöhnliche, für die Napfschüttung aber ganz allgemein charakteristische, niedrige Gehalt an Dolomit und an undulösen Quarzen in den zuletzt genannten Vorkommen.

Die Proben 345–349, bräunlichgraue, gelegentlich schwach absandende, kalkige Fein- bis Grobsandsteine, gehören in die granat-apatitreiche Fazies der Granitischen Molasse. Sie ähneln damit zwar der Hohroneschüttung der Ostschweiz, unterscheiden sich jedoch von dieser durch ihren geringeren Gehalt an undulösen Quarzen (im Mittel 42 (2 Proben) gegenüber 69 (10 Proben))

und das völlige Zurücktreten des Dolomits so sehr, dass an einen genetischen Zusammenhang nicht zu denken ist. Es finden sich auch hier Geröllschnüre eingelagert. In einer solchen zählte FRÖHLICHER (1933) «S ob dem Gehöft Stohlen» bis 60% Kristallingerölle, darunter etwa 25% rote Granite. Einige rote und grüne Granite, welche bei Probe 346 aufgesammelt wurden, enthielten als Schwerminerale Granat, Epidot, Apatit und Zirkon. Epidothaltige Gerölle scheinen jedoch insgesamt hier noch so selten zu sein, dass sie das Schwermineralbild der Molasse nicht beeinflussen.

Obwohl diese Schüttung ähnliche fazielle Merkmale aufweist wie die darüberliegende, epidotreiche Napfschüttung, dürfte sie eine wesentlich geringere Ausstrahlung gehabt haben. Falls sie überhaupt bis dorthin reichte, ging sie anscheinend spätestens in der (stärkeren) Hohroneschüttung auf. Nur diese nämlich war an der Sedimentation der apatitreichen granitischen Molasse im deutschen Alpenvorland beteiligt, wie der geringe Calcit/Dolomit-Quotient dort zeigt (Fig. 14d).

Die Aquitanzone besitzt nach FRÖHLICHER (1933) einen antiklinalen Bau («Hauptantiklinale»), «doch fehlt ein Gewölbescheitel; die Schenkel neigen giebelförmig gegeneinander, und der innerste Kern zeigt bei steiler Schichtstellung starke Zusammenpressung». Die makroskopisch gleichartige Fazies zu beiden Seiten der Antiklinale unterstützt den Eindruck einer symmetrischen Falte. Um so überraschender war der mikroskopische Befund: Alle Proben des SE-Flügels gehören zur Granat-Apatitfazies, alle Proben des NW-Flügels aber zur Epidotfazies. Da der Hangendkontakt der letzteren gegen das Burdigal normal ist, muss sie die jüngere von beiden sein, wie es ja auch weiter im Osten die Regel ist. So ergibt sich das Bild einer steilen Aufschiebung des Südflügels von mindestens 2000 m. Es ist gut möglich, dass diese intensive Tektonik mechanisch mit dem nördlich vorgelagerten Nagelfluhklotz des Napf zusammenhängt, wie es FRÖHLICHER (l. c.) annimmt. Die Verwerfung dürfte im Gelände etwa mit dem Lauf der Wissemme bis zum Knick kurz vor der Einmündung in die Waldemme zusammenfallen. Die Proben wurden an der schmalsten Stelle des Aquitangürtels genommen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass am Südrand desselben weiter westlich auch noch die Epidotfazies des aufgeschobenen Flügels in einem schmalen Streifen aufgeschlossen ist, zumal die südlichste der untersuchten Proben bereits etwas Epidot und fast keinen Zirkon mehr enthält.

Chatt (Proben 350–355)	G, ATZrs′ (6) 12. 5. 36. 3,1

Die Proben, dunkelgrüngraue, feste, tonige Kalksandsteine und stark sandige Kalkarenite, welche nach unten zu dolomitisch werden, stammen aus der Waldemmeschlucht. Diese durchquert die überwiegend aus Chatt aufgebaute Bäuchlenzone, welche nach FRÖHLICHER (l. c.) etwa zu einem Drittel aus Nagelfluhen besteht. Sie führen an der Basis etwa 3% Kristallin (Granite, Gneise, Porphyre, Diorite usw.) und nahe der Oberkante sogar 10–20%, während sie im Hauptteil der Schuppe kristallinfrei sind. Dem entsprechen die Feldspatgehalte der genommenen Proben, welche in der Mitte sehr niedrig, oben und unten aber deutlich erhöht sind. Kalke, Dolomite und Flyschsandkalke bestreiten die Hauptmasse der Gerölle. Dementsprechend finden sich Hornstein und die für den Flysch charakteristische Mineralgruppe Granat, Turmalin, Zirkon, Apatit und Rutil in den begleitenden Sandsteinen. Der gegenüber den anderen Chattvorkommen erhöhte Apatit- und Feldspatgehalt erklärt sich durch die Beteiligung von Kristallingeröllen. Mindestens 100 m oberhalb der Horwer Platten erreicht der Turmalinfarbquotient den Wert 3, wie dies auch in den anderen Profilen stets beobachtet wurde.

Horwer Platten (Proben 356–363) G, ATZrs′ (8)
16. 1. 30. 1,6

Südlich Klusboden sind die Horwer Platten als dunkelgraue, z. T. grünstichige, tonige kalkdolomitarenitische Fein- und Mittelsandsteine aufgeschlossen. Sie enthalten im oberen Teil einige Geröllschnüre mit hellen Kalken und Dolomiten, Quarzen und schwarzen Radiolariten. Die Schwermineralfraktion unterscheidet sich nicht von derjenigen des Chatt, mit Ausnahme des Turmalinfarbquotienten, der in den Horwer Platten im Mittel etwas über 3 liegt. In der Leichtmineralfraktion fällt der höhere Feldspatgehalt und das Zurücktreten von Hornstein auf. Ausserdem erscheinen in grossen Mengen die rotbraunen Biotite, welche auch andernorts in den Bausteinschichten und Horwer Platten beobachtet wurden. Beiläufig sei auf den geringen, jedoch regelmässigen Gehalt an rotbraunen Spinellen hingewiesen.

Grisiger Mergel (Proben 364–365) G, ATZr (2)
32. 1. 24. 1,2

Die beiden Proben stammen von der Basis der Bäuchlenserie. Ihr Schwermineralbild gleicht dem der Horwer Platten, ihr Feldspatgehalt ist höher (s. den folgenden Absatz).

Hilfernserie (Proben 366–366D) G, AZTR (5)
28. 1. 16. 1,9

Die im Steinibach aufgeschlossenen, kalkigen Sandsteine der Hilfernzone wurden von Fröhlicher (1933) zu den Grisiger Mergeln gestellt, während Holliger (1955) vermutet, dass sie zumindest zum Teil älter als diese sind. Im Steinibachprofil konnten auf der Unterseite von Sandsteinbänken verschiedentlich eingeregelte Schleifspuren (groove casts) und Kolkmarken (flute casts) beobachtet werden, Texturmerkmale, welche nach Kuenen (1958) auf eine Ablagerung aus Trübungsströmen hinweisen. Möglicherweise handelt es sich hier um eine Parallelentwicklung zu den Deutenhausener Schichten, für die jene flyschartigen Merkmale ebenfalls typisch sind. Dort vollzieht sich der Übergang vom Sedimentationstyp des Flysch zu demjenigen der Molasse in den Tonmergelschichten, hier vermutlich in den Grisiger Mergeln, deren Sandsteinbänke bei Grisigen die genannten Schleifmarken nicht mehr aufweisen. Eine weitere Übereinstimmung mit den Deutenhausener Schichten zeigt sich in der Verringerung des Karbonatgehaltes und der Erhöhung des Feldspatgehaltes gegenüber den Horwer Platten bzw. den Bausteinschichten. Die Ursache liegt hier wie dort in einer stärkeren Kristallinkomponente: Während die Geröllagen der Horwer Platten bei Klusboden kaum Kristallin führen, beträgt dessen Anteil in der Flühlinagelfluh (Hilfernserie) nach Holliger (1955) 20–30%; auch beschreibt dieser Autor «polygene Sandsteine mit andesitischen Komponenten», welche den Taveyannazsandsteinen ähnlich seien. Die übrigen Gerölle sind nach Holliger (l. c.) grossenteils aus dem südhelvetischen Flysch herzuleiten. Hierzu passt der Schwermineralinhalt der umschliessenden Sandsteine.

Ultrahelvetischer Flysch (Proben d–f) G, ZTAa′r (3)
15. 0. 36. ~20

An der Strasse SE Flühli wurden einige Flyschproben gesammelt, Kalksandsteine, welche bezüglich ihrer Schwerminerale und des Vorkommens rotbrauner Biotite mit den übrigen Flyschvor-

kommen im Prinzip übereinstimmen und sich von der Molasse durch den äusserst geringen Dolomitgehalt unterscheiden.

2.1.20. *Emmegebiet*

Aus der Granitischen Molasse, die hier nach HAUS (1937) sehr gestört ist und gelegentlich Geröllbänke enthält, wurden wegen der schlechten Aufschlussverhältnisse keine Proben genommen. Südlich schliessen sich, jeweils von südfallenden Störungen begrenzt und auch aus südfallenden Schichten aufgebaut, die Schangnauschuppe (Unteraquitan), die Bäuchlen-Honeggschuppe (im Hauptteil Chatt, daraus die Proben 367–370) und die Hilfernschuppe an (Horwer Platten + Grisiger Mergel; aus dieser Serie stammen die Proben 371–372).

Chatt (Proben 367–368)	G, A t z e (2) 26. 8. 34. 5,6
(Proben 369–370)	G, A T Z r (2) 10. 0. 20. 14

Die beiden ersten Proben, graue, feste, tonige Kalkarenit-Sandsteine stammen aus dem Bereich der bunten, d.h. relativ kristallinreichen Honegg-Nagelfluh (HAUS 1937) und weisen dementsprechend einen recht hohen Feldspat- und Apatitgehalt auf. Erwähnenswert ist ferner ein schwacher Epidotgehalt sowie das Zurücktreten des Dolomits. Einige der typischen, roten, porphyrartigen Granitgerölle (bei Probe 367) enthielten als Schwerminerale Zirkon, Apatit und etwas Granat. Die Proben 369 und 370, bräunlich-graue, feste, kalkig-tonige Mittelsandsteine, stammen aus der Bäuchlenserie, in welche nach HAUS (l.c.) gelegentlich Kalknagelfluhbänke mit nur vereinzelten Kristallingeröllen (graue Gneise und Granite) eingelagert sind. In Übereinstimmung damit zeigen die Proben einen geringeren Feldspatgehalt und das für aufgearbeitete Flyschsedimente typische Schwermineralbild, welches uns aus den übrigen Chattvorkommen bereits geläufig ist.

Horwer Schichten (Proben 371–372)	G, A T z r s′ (2) 13. 2. 35. 14

Da es nicht zu entscheiden war, ob die Proben aus den Horwer Platten oder von sandigen Einlagerungen aus den Grisiger Mergeln stammten, wurde der nach BUXTORF & KOPP (1943) umfassende Begriff der «Horwer Schichten» angewandt. Es handelt sich um dunkelgraue, zum Teil feinplattige, tonige Kalksandsteine mit Pflanzenhäcksel, welche sich mineralogisch kaum von den letztbesprochenen beiden Chattproben unterscheiden. Charakteristisch aber für die Horwer Schichten ist auch hier der hohe Turmalinfarbquotient und das reichliche Vorkommen rotbrauner Biotite. Wiederum ist das fast völlige Fehlen des Dolomits bemerkenswert.

2.1.21. *Aaregebiet*

Die im Gurnigelgebiet (W der Aare) untersuchten Proben sind nach freundlichen, brieflichen Angaben von Herrn cand. geol. R. V. BLAU ins Helvet der Giebeleggschuppe (vgl. RUTSCH 1933, 1947; TERCIER & BIERI 1961) (Proben 377 und 378) bzw. ins Aquitan der Seftigschwandschuppe (Proben 373–376) zu stellen; für die Proben 378 A + B von der Blumen E Thun ist es noch unentschieden, ob sie ins Chatt oder Aquitan gehören.

Helvet (Proben 377–378)	g, E A z t s (2) 32. 0. 38. 11

Der Zusammensetzung nach ähneln die Proben weitgehend dem Helvet im Entlebuch. Bei Probe 377 wurden sowohl einige Flyschgerölle als auch rote und

grüne Granitgerölle, nach Herrn Dr. KARL alpidisch metamorphes Kristallin, untersucht. Während erstere die am ganzen Alpenrand typische Schwermineralkombination der Flyschsandkalke aufweisen und sich lediglich durch einen etwas erhöhten Feldspatgehalt auszeichnen, enthalten die Granitgerölle als Schwerminerale fast nur Epidote. Es scheint demnach nicht notwendig zu sein, für den Epidotgehalt der Molasse nur penninische Grüngesteine heranzuziehen, wie v. MOOS (1935) und FRASSON (1947) es tun. Beiläufig sei erwähnt, dass eine Probe des zentralen Aaregranits aus dem Haslital ebenfalls als überwiegendes Schwermineral Epidot führte.

Aquitan bis Chatt (Proben 373–376 und 378 A + B)	g, E a z (6) 34. 0. 22. 14

Die Proben 378 A + B, sandiges Nagelfluhbindemittel, stammen von der Blumen E Thun, welche nach CADISCH (1928) aus einer mehrere 1000 m mächtigen Nagelfluhserie mit grünen und roten, unterostalpinen Granitgeröllen besteht. Bemerkenswert ist das Erscheinen von Epidot bereits im Chatt, wie es weiter oben auch für den Innschuttfächer festgestellt wurde. Es ergibt sich hiernach eine grosse Ähnlichkeit mit der aquitanen Granitischen Molasse des Entlebuchs, doch erwies ein STUDENT-t-Test einen zu 99% gesicherten Unterschied von dieser auf Grund des niedrigeren Feldspatgehaltes in der Blumen und den nachfolgend aufgeführten Proben.

Diese, die Proben 373–376 aus dem Gurnigelgebiet, graue, lockere, kalkig-kalkarenitische Mittelsandsteine, stimmen mit den Proben aus der Blumen mineralogisch so gut überein, dass ein Zusammenhang vermutet werden kann. Zwar wurden ähnlich zusammengesetzte Proben auch im Chatt–Aquitan des Saanegebietes (MORNOD, 1949) und in der Bohrung Chapelle 1 (LEMCKE, 1959) bekannt, doch sprechen die im Gurnigelgebiet eingelagerten, mit der umgebenden Molasse mineralogisch harmonierenden Geröllbänder eher für eine Herleitung von der näheren Blumen. Auch die von FRASSON (1947) etwas weiter nordwestlich, im Sensetal bei Schwarzenburg, untersuchten Proben aus dem obersten Aquitan zeigen als Hauptschwerminerale Epidot und Granat.

«Goldeggsandstein» (Probe 379)	g, A Z t e (1) 23. 0. 20. 2,5

Diese Probe, ein dunkelolivgrüner, fester, kalkig-toniger Mittelsandstein, wurde nicht aus dem Anstehenden, sondern aus dem Bachbett am NE-Fuss der Goldegg entnommen, in welchem so grosse Blöcke dieses Gesteins liegen, dass nahezu mit Ortsständigkeit gerechnet werden kann.

Nach Herrn R. V. BLAU sind die Goldeggsandsteine sehr wahrscheinlich – allerdings atypische – Flyschgesteine. Petrographisch neigt die Probe mit ihrem niedrigen Calcit/Dolomitquotienten eher zur Molasse; insgesamt vermittelt sie demnach ähnlich wie die Deutenhausener Schichten und die Sandsteine am Steinibach (2.1.19) zwischen Flysch und Molasse. Eine weitere Abklärung ist jedoch auch in petrographischer Hinsicht notwendig.

Flysch des Gurnigel (Proben g–l)	g, T Z A r a′ (6) 9. 1. 49. 30

Dieses Flyschvorkommen ist kalkreicher als die übrigen, in der vorliegenden Arbeit untersuchten. Ausserdem deutet sich in ihm die Gesetzmässigkeit an, dass Turmalin in den feinkörnigen, Zirkon aber in den grobkörnigen Proben angereichert ist.

2.1.22. *Saanegebiet*

Zwischen den überschobenen Subalpinen Flysch im S und die burdigale Vorlandsmolasse im N schalten sich nach MORNOD (1949) mehrere Schuppen mit südlich einfallenden Schichten ein. Die breiteste, nördlichste ist die Schuppe von Gérignoz, bestehend aus den limnofluviatilen, chattisch-?aquitanen «Schichten von Gérignoz» (Proben 380–385). In der nächsten, der Schuppe von Vaulruz, werden die limnofluviatilen, unterchattischen «Schichten von Chaffa» (Proben 386 und 389A–C) unterlagert von den brackischen «Schichten von Vaulruz» mit den 20–25 m mächtigen «Sandsteinen von Vaulruz» (Proben 387–389 und 389 D–H), welche nach MORNOD (l. c.) den Horwer Platten gleichzusetzen, nach RUTSCH (1961) aber ins Rupel zu stellen sind (s. Ende des Abschnitts 2.2.2.2.). Es folgen gegen Süden noch die Schuppen von Champotey und Pattaz. Da die Molasse im grössten Teil des Gebietes durch würmeiszeitliche Moränen verdeckt ist, konnten nur wenige Proben genommen werden.

Oberes Chatt-?Aquitan (Proben 380–382)	g,Atss'z (3) 8. 13. 52. 3,3
(Proben 383–385)	g,EAzts (3) 42. 0. 27. 6,9

Die drei Proben aus dem oberen Teil der hier etwa 2000 m mächtigen Schichten von Gérignoz, gelbliche bis grünlichgraue, feste, sandig-dolomitarenitische Kalkmergelsteine und Sandkalke aus der Gegend von Maules NW Bulle, weisen mit ihrem Hornsteingehalt, der Feldspatarmut, dem Kalkgehalt und ihrem Schwermineralinhalt auf ein sedimentäres, alpines Liefergebiet hin. Der niedrige Granatgehalt ist hier, wie auch in den folgenden Proben, korngrössenbedingt.

Die Proben 383–385, graue bis blaugrüne, sandige Tonmergelsteine und ein absandender Kalksandstein, stammen aus dem Tal des Gérignoz und gehören in den mittleren Teil der oberchattischen Schichten von Gérignoz. Diese epidotreichen Proben stimmen weitgehend mit denen des Aaregebietes überein, nur der Feldspatgehalt ist am Gérignoz etwas höher. Es ist wahrscheinlich, dass dieses Material einer von SW kommenden Schüttung zuzuordnen ist, zumal von VERNET auch südwestlich des Genfer Sees epidotführendes Chatt gefunden wurde (freundliche mündliche Mitteilung).

Unteres Chatt (Proben 386 und 389A–C)	G,ATZSS'ra' (4) 8. 10. 44. 3,9

Diese Proben stammen aus den etwa 400 m mächtigen Schichten von Chaffa («Molasse rouge»). Der niedrige Feldspatgehalt, der relativ hohe Hornstein- und Kalkgehalt sowie das Schwermineralbild zeigen eine weitgehende Übereinstimmung mit dem oberen Teil der Schichten von Gérignoz und deuten daher ebenfalls auf ein sedimentäres Liefergebiet. Dies wird auch durch gelegentlich eingelagerte Konglomerate bestätigt, welche nach MORNOD (1949) überwiegend Dolomitgerölle und daneben in den feineren Fraktionen Radiolarite, Sandkalke und Kalke führen. Hierher gehören die mächtigen Nagelfluhen des Mt. Pélerin am Genfer See, welche sich nach TRÜMPY & BERSIER (1954) aus Kalk-, Flyschsandkalk- und Dolomitgeröllen zusammensetzen; nur ganz vereinzelt wurden Kristallingerölle gefunden.

Das Nagelfluh-Bindemittel des Mt. Pélerin zeigt nach einer eigenen Untersuchung die Formel

g,AZRSs't
1. 38. —. —

Flyschgerölle von der gleichen Lokalität:

G,ATZS'rsb
0. 10. —. —

Demnach lassen sich die den Chaffaschichten eingeschalteten Sandsteine im wesentlichen aus aufgearbeitetem Flysch herleiten.

Sandstein von Vaulruz (Proben 387–389 und 389 D–H)	G,AZTr (8) 29. 2. 29. 1,5

Bei Vuippens stehen an der Sionge dunkelgrünlichgraue, gelblich verwitternde, feste, tonige, kalkdolomitarenitische Sandsteine («Grès de Vaulruz») mit einer Glanzkohlenschmitze an (387–389). Die gleichen Schichten wurden auch am Ruisseau du Ruz (389 D–H) und N Corbière untersucht. Sie stimmen mineralogisch mit den Bausteinschichten des übrigen Alpenrandes überein. Charakteristisch ist auch hier neben dem erhöhten Turmalinfarbquotienten und dem Gehalt an rotbraunem Biotit der gegenüber dem Hangenden verstärkte Feldspatgehalt. In Übereinstimmung damit fand MORNOD (1949) unter den gelegentlich eingelagerten Geröllen neben Dolomiten, Radiolariten, Kalken und Quarziten auch rote Porphyre. Weiterhin scheint ein Zurücktreten von Staurolith und Spinell sowie von Hornstein und Calcit gegenüber dem Hangenden typisch zu sein.

2.1.23. *Aare am Jurarand*

Bei Aarwangen, Wynau und Murgenthal an der Aare wurden aus der Vorlandsmolasse 26 Proben untersucht.

Obere Bunte Molasse (Aquitan) (Proben 396–399)	G,AT'EZta' (4) 45. 1. 23. 3,2

Diese Serie, welche hier nach ERNI & KELTERBORN (1948) etwa 500 m mächtig ist, gibt sich durch ihren Epidot- und hohen Feldspatgehalt als Granitische Molasse zu erkennen, fällt jedoch durch ihren hohen Titanitgehalt aus dem Rahmen aller bisher am Alpenrand untersuchten Gesteine. Lediglich in der Bohrung Chapelle 1 (LEMCKE 1959) fanden sich ähnliche Verhältnisse, so dass für die Obere Bunte Molasse mit einem beckenparallelen Materialtransport aus dem Genfersee-Gebiet gerechnet werden muss.

Untere Bunte Molasse (Oberes Chatt) (Proben 400–410)	G,EAszt't (11) 32. 1. 21. 2,0

Sie ist nach ERNI & KELTERBORN (1948) NE von Aarwangen etwa 300 m mächtig. Ihr Material liesse sich weitgehend von der Blumen herleiten (Thunersee-Schüttung), doch ähnelt es noch mehr einigen Serien des Genfersee-Gebietes (z. B. in Chapelle 1), vor allem bezüglich des hohen Granat- und Titanitgehaltes sowie wegen des Calcit–Dolomitverhältnisses, welches niedriger ist als in der Thunersee-Schüttung. Es könnte sich auch um eine Mischung von Material der Thunersee- und der Genfersee-Schüttung handeln.

Obere Aarwanger Molasse (Unteres Chatt)

(Proben 417–421) G,EAstt'z (5)
23. 2. 24. 0,5

Im Steinbruch Mühlebühl bei Aarwangen stehen lockere, dolomitarenitische Mittelsandsteine (Proben 417, 418, 421) an, welche lagenweise konkretionär kalkig zementiert sind (Proben 419, 420). Sie dürften zu der von ERNI & KELTERBORN (1948) ausgegliederten oberen Aarwanger Molasse gehören. Petrographisch unterscheiden sie sich kaum vom Hangenden, wenn man von dem etwas niedrigeren Feldspatgehalt und dem höheren Dolomitgehalt absieht.

Vorwiegend untere Aarwanger Molasse
(Unteres Chatt) G,AZTsg't'ebr (6)
(Proben 411–416) 28. 3. 35. 3,1

Die am Aareufer ober- und unterhalb von Wynau genommenen Proben unterscheiden sich deutlich von dem Gestein im Steinbruch Mühlebühl (s. o.). Epidot tritt ganz zurück, Zirkon und Turmalin nehmen zu; Glaukophan kommt hinzu. Dieses Schwermineralbild und die grosse Zahl von Nebengemengteilen erinnern so stark an die in der Bohrung Chapelle 1 erstmalig ausgeschiedenen «Glaukophanschichten», dass ein Zusammenhang vermutet werden kann. Eine Zufuhr aus dem Genfersee-Gebiet ist demnach wahrscheinlich.

2.2. Zeitlicher Ablauf und Charakterisierung der Schüttungen

(unter Mitberücksichtigung der Tiefbohrungen im Vorland).

2.2.1. *Prämolasse* (Cenoman, Priabon, Lattorf, Rupel z. T.)

Diese Formationen werden nur kurz gestreift; sie kommen als mögliche Liefergesteine für die Molasse-Sedimente in Betracht.

2.2.1.1. Das Süd-Helvetikum am Alpenrand

Aus der durch v. STACKELBERG (1960) beschriebenen, schmalen Helvetikum-Zone bei Unterenzenau W von Bad Tölz wurde eine Reihe von Proben aus dem Untercampan bis Mitteleozän untersucht.

(g),ZTRa's (7)
3. 0. 0–80. 16

Sie zeigen trotz starker makroskopischer Unterschiede die folgenden, gemeinsamen Merkmale, die sie deutlich von der Molasse unterscheiden:

a. Die Karbonatkomponente ist fast nur Calcit, zum Teil in der Form von Schalendetritus. Einige Proben sind karbonatfrei.
b. Petrographisch handelt es sich um Quarzsandsteine hoher Maturität; Feldspäte und Gesteinsbruchstücke treten gegenüber der Molasse stark zurück.
c. Das Schwermineralspektrum ist durch die stabilen Minerale Zirkon, Turmalin und Rutil gekennzeichnet. In den stärker karbonathaltigen Proben ist darüber hinaus noch etwas Granat, Staurolith und auch Feldspat vor der «intrastratal solution» bewahrt worden.
d. Unter den Turmalinen überwiegen rötlich-braune Typen, ausserdem fällt die Häufigkeit mehrfarbig-fleckiger Varietäten auf: Von 417 Körnern waren:
   11% bläulich-grün (Farben 17-24-1 der Ostwald-Farbskala)
   37% grünlich-braun (Farbe 2)
   38% rötlich-braun (Farbe 3)
   4% braunrot (Farbe 4)
   10% mehrfarbig

2.2.1.2. Das «autochthone Helvetikum» (HAGN, 1960) im Alpenvorland

Im mittleren und oberen *Cenoman* wurden östlich von München grobe, glaukonitische Sandsteine abgelagert, welche dem Regensburger Grünsandstein (s. OSCHMANN, 1958) zeitlich und, wie Vergleichsuntersuchungen zeigten (Pr. 390–392), auch petrographisch entsprechen:

g,ZTra′ (24)	(Ampfing 26, Attel 1, Hohenlinden 1,
15. 0. 17 (nur Calcit)	Kastl 2a, Moosach 3, Moosach 1)

Charakteristisch ist ein hoher Anteil rötlichbrauner Turmaline sowie verschiedenfarbiger Quarzgerölle (farblos, grün, grau, rosa). Ein Teil der dunkelgrauen Gerölle besteht aus Orthoklas, wie es von TRUSHEIM (1936) aus dem nördlichen Verbreitungsgebiet beschrieben wurde. Dementsprechend besteht auch der Feldspatanteil der Sandsteine aus Orthoklas. In Kastl 2a ist der Feldspatgehalt infolge starker Kaolinisierung reduziert.

Die den *Turon*mergeln eingelagerten Sandsteine haben ein etwas anderes Liefergebiet: Bläulichgrüne Turmaline sind stark vertreten; der Feldspatgehalt liegt bei 1%.

Stark kalkige Grobsandsteine des *Priabons* wurden in Hohenlinden 1 und Moosach 2 untersucht, feinere Sandsteine in Ampfing 5 und 6. Sie alle sind mineralogisch nicht vom Ampfinger Sandstein (s. u.) zu unterscheiden. Möglicherweise sind die Grobsandsteine von Hohenlinden und Moosach sowie an der Lattorf-Basis von Unterbrunn 1 vom Cenoman herzuleiten, welches nach freundlicher Mitteilung der Herren Dr. LANG und Dr. LEMCKE im Raum von München unter dem Tertiär ausstreicht.

Die stark kalkigen Grobsandsteine des Lattorf, die in Oberösterreich (ABERER, 1957) ins Priabon gestellt werden, nach dem ersten in ihnen gefundenen Ölfeld «Ampfinger Sandstein» genannt, sind auf das Gebiet um das Landshut-Neuöttinger Hochgebiet (s. Fig. 14) beschränkt und auch nach der Korngrössenabnahme von diesem herzuleiten. Sie ähneln weitgehend, auch bezüglich des Orthoklasgehaltes und der rötlichbraunen Turmalin-Varietäten, dem Cenoman-Sandstein:

g,ZT (26)
15. 0. 32. 4,6

Die Kalkkomponente besteht grösstenteils aus umkristallisierten Schalenresten. Übersteigt sie 40% des Gesteins, so sinken Porosität und Durchlässigkeit unter 10% bzw. 1 md. Die Mächtigkeit schwankt zwischen 10 und 50 m.

Darüber legt sich das maximal 30 m mächtige Riff des *Lithothamnienkalkes*, welches $\geq$ 170 km lang (in EW-Richtung) und 30 km breit ist. Es wird in beckenwärts (gegen S) bis auf 30 m zunehmender Mächtigkeit von einem Vorriff-Schuttkalk (Lithothamnien, Foraminiferen, Bryozoen, Echinodermen) unterlagert. Hieraus ergibt sich das Bild eines beckenwärtigen Übergreifens über den eigenen Schutt. Daraus ergibt sich, dass die Beckenabsenkung zu dieser Zeit langsamer war als das vertikale Wachstum des Riffs. Um nicht aufzutauchen, musste es sich daher in beckenwärtiger Richtung Platz suchen.

Das Wachstum der bis etwa 5 cm grossen Algenknöllchen und -ästchen wurde von Zeit zu Zeit durch Toneinschwemmungen unterbrochen, welche gegen NE

zunehmen und vorwiegend aus Kaolinit bestehen. Von diesen Lagen ausgehend, ist das Gestein schwach dolomitisiert (Ca-Dolomit mit etwa 6 Mol-% $CaCO_3$-Überschuss im Gitter). Sandeinschaltungen, die ebenfalls gegen das nordöstlich gelegene Landshut-Neuöttinger Hoch zunehmen, gleichen mineralogisch dem Ampfinger Sandstein.

Diese Regression wurde von der Transgression des *Lattorf-Fischschiefers* beendet (s. 2.2.1.3).

2.2.1.3. Der Flysch am Alpenrand

An vier Stellen wurde der Flysch im Anstehenden untersucht. (Von Osten nach Westen:)

Probe «Matt»: (Einstufung unbekannt)	g, ZATra′ (1) 22. 1. ~20. ~10

Der ?Flyschsandstein von Matt im Sernftal bei Glarus ist ein kieselig-kalkig zementierter, kalkarenitischer, feldspathaltiger Mittelsandstein (Median ca. 0,3 mm).

Proben a–c Eozänflysch («Altdorfer Sandstein», bei Altdorf)	g, ARTz (3) 23. 0. 20. ~10
Proben d–f Ultrahelvetischer Flysch (Typus Schlieren-Gurnigel) von der Strasse SE Flühli (Entlebuch).	G, ZTAa′r (3) 15. 0. 36. ~20
Proben g–l Flysch des Gurnigel S Bern	g, TZAra′ (6) 9. 1. 49. 30

Hier sind die Strömungsmarken auf der Unterseite der Sandsteinbänke besonders schön ausgebildet.

Ferner wurden aus verschiedenen Molasseaufschlüssen Flyschgerölle untersucht, und zwar aus der Molasse östlich des Rheins bei den Proben 81, 87, 99 und 198:

G, TZARs (5)
4. 9. 65. 15

und aus der Molasse W des Rheins bei den Proben 254, 355 und 377:

G, ZTArsa′ (3)
8. 5. 63. 30.

Die untersuchten Flyschgerölle sind demnach Sandkalke, während aus dem Anstehenden Kalksandsteine analysiert wurden. In ihnen ist der Feldspatgehalt des Lösungsrückstandes höher als in den Geröllen. Beiden gemeinsam ist der auch von Wieseneder (1962) festgestellte, sehr geringe Dolomitgehalt sowie die Schwermineralgesellschaft Granat, Zirkon, Turmalin, Apatit und Rutil. Bemerkenswert ist das Fehlen von Staurolith. Woletz (1962) fand im Wienerwald

die gleichen Schwerminerale; dabei wiegt im Oberkreide-Flysch der Granat und im Alttertiär-Flysch der Zirkon vor.

Mit dem *Lattorf-Fischschiefer* beginnt in den ostbayerischen Bohrungen die alpine Schüttung: An der Basis desselben finden sich gelegentlich Sandsteinlagerungen, die durch ihren hohen Glimmergehalt auffallen und in den Bohrungen Ampfing 1, Hohenlinden 1 und Schnaupping 1 untersucht wurden. Bezüglich ihrer Zusammensetzung

g, ZTAr (3)
25. 1. 60. 15

ähneln dieselben dem Flysch, und zwar nach WOLETZ (1962) dem Eozänflysch. Dieser Befund lässt folgende Deutung zu: Die Flyschtröge im Süden waren aufgefüllt, so dass nun für kurze Zeit vorwiegend feinklastisches Material von S über dieselben hinweg ins nördliche Vorland gelangte.

Weiter im Westen war dies offenbar nicht möglich. Die Zusammensetzung einer Probe von der Tertiärbasis in Legau 1 (s. auch VOLZ & WAGNER, 1960)

g, ZTra'
0. 1. 78. 34

weist auf eine nördliche Materialherkunft hin. Die Probe ist frei von Glimmer. Als Ursprungsgesteine der Sandkomponente kommen hier wegen des niedrigen Feldspatgehalts Doggersandsteine in Frage.

2.2.1.4. Die Deutenhausener Schichten (RICHTER, 1948)

Die Deutenhausener Schichten der westlichen deutschen Subalpinen Molasse, welche nach ZEIL (1953) und FISCHER (1960) im Lattorf beginnen und evtl. noch ins Rupel hinaufreichen (ZÖBELEIN, 1957), sind vorwiegend marin (FISCHER, 1960) und ähneln hinsichtlich ihrer Schichtenmerkmale dem Flysch: Die Sandsteinbänke halten in gleichbleibender Dicke über längere Entfernung aus und zeigen auf der Unterseite «Kolkmarken» (flute casts) und «Schleifspuren» (groove gasts) (KÜPPER 1962), wie sie nach KUENEN (1958) für eine Sedimentation aus Suspensionsströmen in einem vorgeformten Trog charakteristisch sind. Petrographisch aber gehören sie schon zur Molasse:

G, AST zr (8)
18. 0. 36. 1,2

Dolomit und Kalk halten sich in ihnen etwa die Waage, während der Flysch praktisch frei von Dolomit ist (s. o.). Dem entspricht das Auftreten kleiner, schwarzer Dolomitgerölle in den Deutenhausener Schichten. In allen anderen Merkmalen (Schwer- und Leichtminerale) besteht kein prinzipieller Unterschied zwischen Flysch und Molasse.

In der Schweiz zeigen die (z. T. schwach ölimprägnierten) Sandsteine am Steinibach (Entlebuch) (HOLLIGER 1955), welche von FRÖHLICHER & WEILER (1952) ins Rupel eingestuft werden konnten, die gleichen Flyschmerkmale auf den Schichtflächen und Molassemerkmale der petrographischen Zusammensetzung (Dolomitgehalt!) wie die Deutenhausener Schichten, mit denen sie daher genetisch verwandt sind.

In diesen Schichten vollzog sich somit offenbar der Übergang vom Flysch in die Molasse: Während das Ablagerungsgebiet wohl noch die Form eines schmalen, ± tiefen Troges besass, dessen heutige Verbreitung vermutlich etwa mit der gefalteten Molasse zusammenfällt, hatte sich das Abtragungsgebiet gegenüber der Flyschepoche schon gewandelt und entsprach petrographisch bereits dem Zustand zur Molassezeit. Dementsprechend stimmt auch die spärliche Geröllführung nach SCHIEMENZ (1960) qualitativ mit derjenigen der Bausteinschichten überein. Aus der Verbreitung der Gerölle schloss SCHIEMENZ (1960, S. 34) zwar – nicht sehr überzeugend – auf einen Transport derselben aus westlicher Richtung, doch schliesst die Tatsache, dass seine Deutenhausener Probe schon den für die Nesselburgschüttung der Bausteinschichten typischen Reichtum an Dolomitgeröllen besitzt, obwohl sie an der westlichen Verbreitungsgrenze dieses Schuttfächers (beim 2. Buchstaben von «Nesselburg» auf Fig. 5) liegt, einen weiten Gerölltransport aus westlicher Richtung aus.

Andererseits zeigen die Kolkmarken (flute casts) in den Sandsteinen nach KUENEN (1958, S. 1019) einen Transport von W nach E an. Desgleichen passen der niedrige Dolomitgehalt und der hohe Feldspatgehalt der Sandsteine (Pr. 89–94, 99–100) besser zu einem westlicheren als zum Nesselburgfächer der Bausteinschichten.

Wie dieser scheinbare Widerspruch zu lösen ist, ob etwa die Gerölle von Süden, die Hauptmenge des Sandes aber trogparallel geschüttet wurden, kann anhand der wenigen Proben nicht entschieden werden. Die Mächtigkeit nimmt gegen Osten bis auf 800 m zu (FISCHER, 1960).

Die im vorletzten Absatz genannten petrographischen Merkmale könnten lokal eine Unterscheidung der Deutenhausener von den Bausteinschichten ermöglichen; regional gültige Unterscheidungsmerkmale lassen sich nicht angeben.

Die Deutenhausener Schichten schliessen nach FISCHER (1960) mit Sandsteinen und Konglomeraten ab und werden an scharfer Grenze von der monotonen Folge der maximal über 1000 m mächtigen *Tonmergelschichten* des Rupel überlagert. Diese enthalten nach WÄCHTER (1959) im Mittel 20% Calcit und 15% Dolomit. Ihnen entsprechen in der Schweiz die Grisiger Mergel. Die Tonmergelschichten besitzen, ähnlich wie die Deutenhausener Schichten, ihre grösste Mächtigkeit in einer schmalen Zone längs des Alpenrandes. Nach FISCHER (1960) zeigen die spärlich eingelagerten Sandsteine nur im unteren Teil der Folge noch Flyschmerkmale auf den Schichtunterseiten.

2.2.2. *Untere Meeresmolasse (Rupel z. T. und Bausteinschichten)*

2.2.2.1. Rupel in Ostbayern

Hier fehlte am Alpenrand der Deutenhausener Trog, bezeichnenderweise also dort, wo unter der Molasse mächtiges «Helvetikum» bekannt ist. Das Meer reichte weit nach Norden und bedeckte das Alpenvorland mit einer viele hundert Meter mächtigen Folge von Tonmergelgesteinen, welcher einzelne Feinsandsteine eingeschaltet sind, so z. B. der «*Isener Gassand*»,

G, TSAzs′ (4)
30. 3. 49. 2,1

welcher auf Grund dieser Zusammensetzung eindeutig von den Alpen herzuleiten

ist. Im Inngebiet zeigen sich bereits im Rupel die ersten Vorläufer der durch Epidot und Hornblende charakterisierten Innschüttung bei Höhenmoos SE Rosenheim. Sie dürfte schon zu dieser Zeit ins Vorland ausgetreten sein (Fig. 4).

Nach Westen nehmen Mächtigkeit und Nordausdehnung der tonmergeligen Rupelschichten beträchtlich ab; die Hauptmenge der Sedimente wurde dort vielleicht abgefangen von dem Trog der Deutenhausener und Tonmergel-Schichten in der Gefalteten Molasse.

Im marinen Chatt der Ostmolasse (s. Abschn. 2.2.4.) müssen die zeitlichen Äquivalente der Bausteinschichten enthalten sein, die sich nach freundlicher Mitteilung von Herrn Dr. LEMCKE auch tatsächlich mit Hilfe von Diagrammvergleichen bis ca. 40 km ostwärts München verfolgen lassen. Es gibt jedoch bisher keine Kriterien, die geeignet wären, sie petrographisch von den überlagernden Chattsanden zu unterscheiden. Da diese Partien nur selten gekernt wurden, ist auch das zur Verfügung stehende Material gering.

2.2.2.2. Untere Meeresmolasse im Westen

Der Begriff «Untere Meeresmolasse» stammt aus dem Gebiet westlich und südwestlich von München, in welchem diese von der mächtigen limnisch-fluviatilen Serie der Unteren Süsswassermolasse überlagert wird. Ihr oberer, bereits brackischer Teil ist als Sandstein ausgebildet und unter dem Namen «*Bausteinschichten*» (in Anlehnung an RICHTER, 1948) bekannt. Diese wurden in der Gefalteten Molasse geologisch zuletzt von ZÖBELEIN eingehend untersucht. Seiner kurzen, vorläufigen Zusammenfassung (1962) ist zu entnehmen, dass sich die Bausteinschichten durch allmähliche Kornvergröberung aus den liegenden Tonmergelschichten des Rupel entwickeln. So enthalten im Ammergebiet die 78 m mächtigen «tieferen Bausteinschichten» erst in ihrem oberen Teil nennenswerte Sandeinlagerungen. Diese «tieferen Bausteinschichten» wurden von HÖLZL (zit. in ZÖBELEIN, 1962) auf Grund der Molluskenfauna noch ins Rupel gestellt. In den «höheren Bausteinschichten», welche an der Ammer 67 m mächtig sind und nach HÖLZL (l. c.) chattisches Alter besitzen, geht die Kornvergröberung weiter; sie schliessen mit einer Konglomeratbank ab.

Dieser als «Dachbanktyp» (BRINKMANN 1929) bezeichnete Grosszyklus (FIEGE 1952) einer allmählichen Kornvergröberung nach oben von den Tonmergelschichten bis zur Oberkante der Bausteinschichten lässt sich in den Bohrungen bis an den Beckennordrand verfolgen (Fig. 6). Ähnliche Zyklen wurden auch aus Epikontinentalmeeren (z. B. Valendissandstein, FÜCHTBAUER (1955c): 30 m) und aus dem terrestrisch-ästuarinen Bereich beschrieben (Buntsandstein Norddeutschlands, WOLBURG (1961): ca. 100 m).

Unter den «Bausteinschichten im engeren Sinn» gliederten VOLZ und WAGNER (1960) eine «tonmergelreiche Serie» und unter dieser noch eine «sandmergelreiche Serie» aus, welche sie in die «Bausteinschichten im weiteren Sinn» einbezogen. Da eine faunistische Einstufung jener beiden Serien nicht möglich war, stellten sie dieselben vorläufig in den Grenzbereich Rupel/Chatt und nahmen über dem darunter folgenden Lattorf + Unter-Rupel eine Schichtlücke an. Sie konnten jedoch die andere, von ihnen genannte Möglichkeit, eine Verknüpfung der «sandmergelreichen Serie» mit den Deutenhausener Schichten, sowie der «tonmergelreichen Serie» mit den rupelischen Tonmergelschichten der Subalpinen Molasse nicht sicher ausschliessen. Bei einer solchen Ver-

knüpfung ergäbe sich im Vorland ein ähnliches Korngrössenprofil wie in der Gefalteten Molasse, wo die Deutenhausener Schichten oben mit einer Kornvergröberung abschliessen (FISCHER, 1960) und von dem ebenfalls nach oben gröber werdenden «Grosszyklus» Tonmergelschichten + Bausteinschichten überlagert werden. Auch würde die schwer zu erklärende Mächtigkeitszunahme von der gefalteten Molasse nach Legau 1 auf diese Weise wegfallen. Demgegenüber dürfte das von VOLZ und WAGNER (1960) seinerzeit auf Anregung des Verfassers herangezogene Gegenargument, der unterschiedliche Sedimentationstyp der Deutenhauserner Schichten und der «sandmergelreichen Serie», ein geringeres Gewicht beanspruchen.

Petrographisch jedoch lässt sich diese Alternative nicht entscheiden.

In den Figuren 4 und 5 wurde so verfahren, dass – entsprechend der auf neueren Stand gebrachten Abb. 2 in LEMCKE (1957) – in Fig. 5 nur die «Bausteinschichten i. e. S.» berücksichtigt wurden, während die Mächtigkeit der sandmergelreichen + tonmergelreichen Serie auf der Karte «Rupel» (Fig. 4) dargestellt wurde. Da, wie oben erwähnt, die Zugehörigkeit dieser Pakete zum Rupel faunistisch nicht gesichert ist, wurde für das Rupel in der Westmolasse möglicherweise eine zu hohe Mächtigkeit angenommen. (Das sehr geringmächtige Lattorf + Unter-Rupel von VOLZ & WAGNER (1960) wurde hierbei nicht berücksichtigt.) Deshalb wurden die Verbindungen mit den Mächtigkeitslinien des Rupel in den ostbayerischen Bohrungen nur gestrichelt gezeichnet. Sicher ist, dass dort die Rupelmächtigkeit im Vorland wesentlich grösser ist als in der Westmolasse. Für Isen 1 («Is» in Fig. 4) wurden von HEERMANN (1954, Fig. 5) etwa 270 m Rupel angegeben. Doch wurde die Unsicherheit der Rupel/Chatt-Grenze kürzlich von PAULUS (1963,

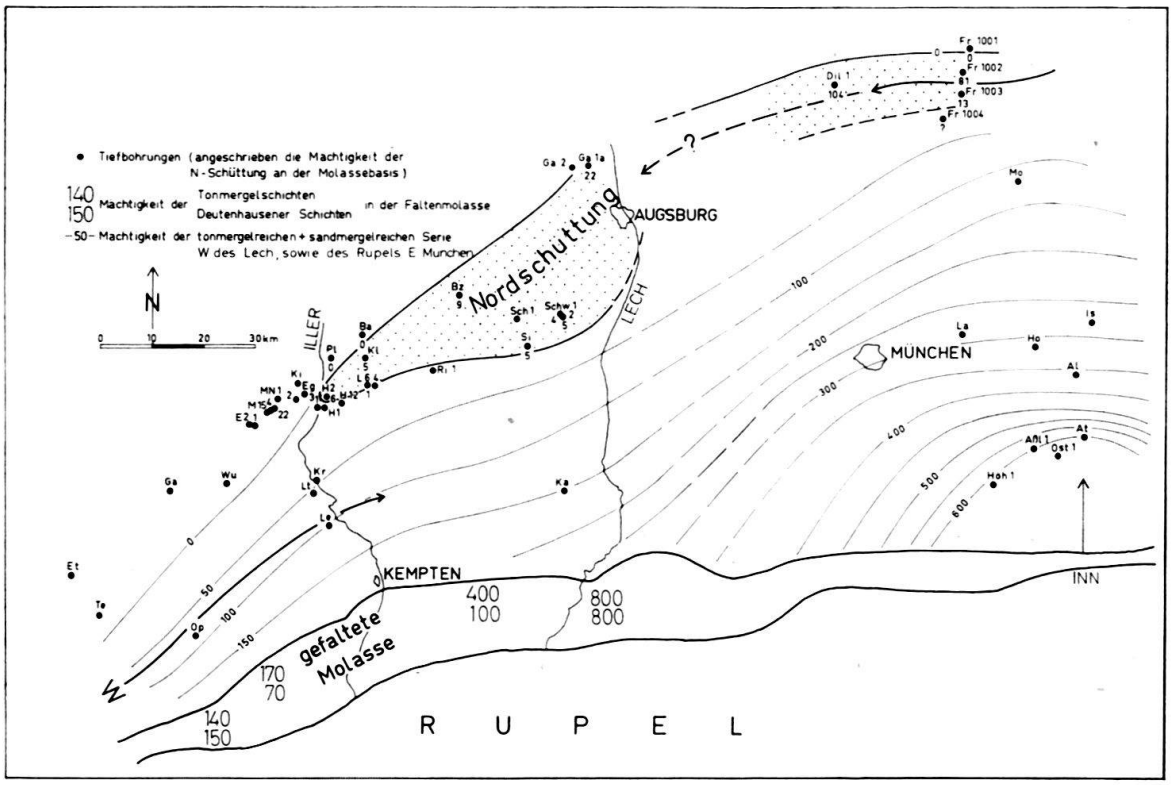

Fig. 4. *Mächtigkeit des Rupel.* Bohrungsnamen s. Fig. 1, darüber hinaus: Assl(ing) 1, Dil(lingen) 1, Fr(eising) 1001–1004, Höh(enrain) 1, Ki(rchdorf) 1, Ost(ermünchen) 1. Rupel W des Lech fraglich (s. Text).

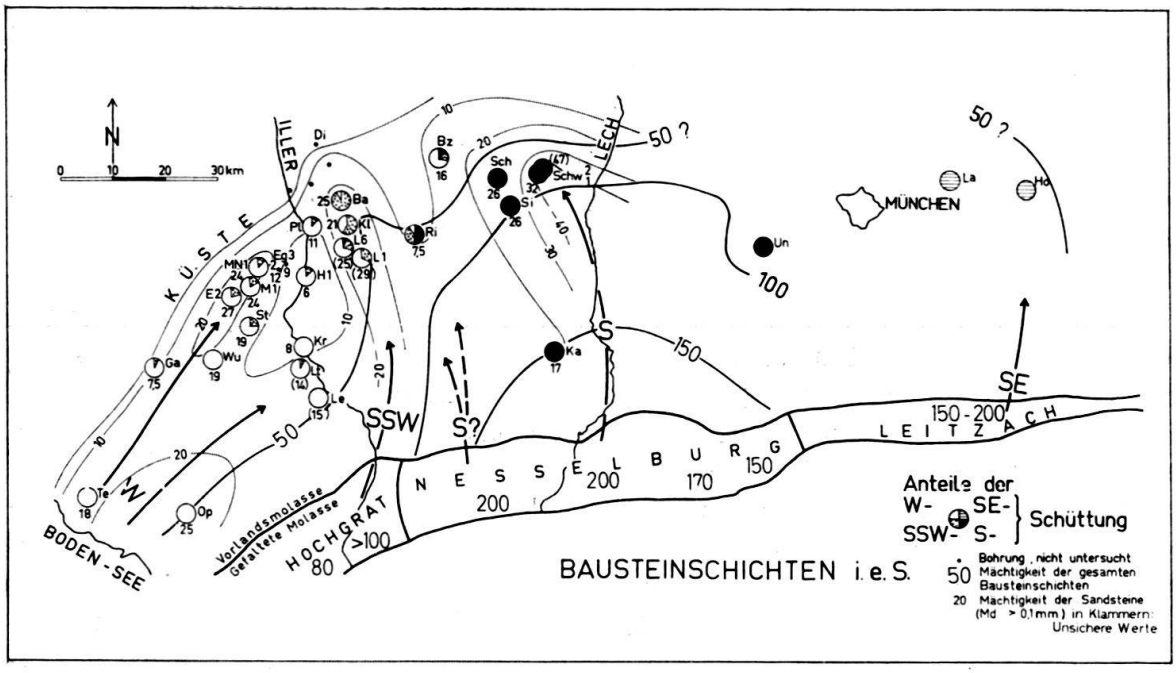

Fig. 5. *Mächtigkeit der Bausteinschichten im engeren Sinn* (s. Text). Pfeile = Schüttungen (Di = Dietershofen 1 aus VOLZ & WAGNER, 1960, Abb. 6)

S. 70) demonstriert). Das zur Zeit nördlichste, gesicherte Rupelvorkommen in der Westmolasse («Lattorf + Unter-Rupel») liegt in der Bohrung Balzhausen 1 (Bearbeiter: HÖRAUF, KÖWING, WECHSLER), unmittelbar unterhalb der nachfolgend besprochenen Sandsteine.

In den Bohrungen Klosterbeuren 1, Heimertingen 2 und Lauben 4 wird die sandmergelreiche Serie von Sandsteinen abweichender Zusammensetzung unterlagert, die nach NE an Mächtigkeit zunehmen und in Gablingen 1 A bei Augsburg die gesamte Untere Meeresmolasse vertreten; unmittelbar westlich davon, in Gablingen 2, fehlen sie aber bereits. Diese Verbreiterung lässt an ein scharf begrenztes Flussdelta denken. Hierzu passt auch das Vorkommen scharfkantiger, bis 20 mm grosser Bruchstücke von Hornsteinen und vererzten Staubsandsteinen, die offensichtlich keinen marinen Transport erlitten haben, in Schwabmünchen 2. Die mineralogische Zusammensetzung dieser Schüttung lautet:

g, TZ ra′
8.0.0.–.

Es handelt sich um feinkörnige Quarzsandsteine, die gelegentlich (in Siebnach 1, Heimertingen 2, Klosterbeuren 1 und Lauben 6) calcitisch zementiert sind. Dieser Kalkgehalt lässt sich aus dem Malm herleiten, wie die eingelagerten Gerölle von aufgearbeitetem Malmkalk in Siebnach 1 und Rieden 1 (GRIMM, 1957) zeigen. Die unterschiedlichen Feldspatgehalte (0–30%) und Turmalin-Farbvarietäten sowie die hohe Maturität deuten auf ein komplexes, vermutlich sedimentäres Liefergebiet hin. Aus der Mächtigkeitsverteilung sowie aus dem Fehlen von Dolomit und z. T. von Karbonat überhaupt, dem Fehlen von Gesteinsbruchstücken im Sandstein, den Schwermineralen (wenig Granat und Apatit) und den abweichenden Turmalin-Farbvarietäten ergibt sich eine nichtalpine, *nördliche Herkunft*. Da sie im SW-Teil ihres Verbreitungsgebietes von möglichen Äquivalenten zumindest der Tonmergel-Schichten überlagert wird, ist für diese Schüttung ein rupelisches Alter nicht auszuschliessen.

Ein ähnliches Sand-Transportband am Nordufer des Meeres wurde in den Bohrungen Dillingen 1 und Freising 1002 und 1003 angetroffen (Fig. 4). Es unterscheidet sich von dem Vorkommen von Gablingen 1A durch seinen Apatitgehalt, einen sehr hohen Zirkongehalt sowie etwas Andalusit. Vor allem das letztere Mineral weist auf die Böhmische Masse als Liefergebiet hin.

Über diese Schichten legen sich die *Bausteinschichten* i. e. S. Sie beginnen häufig mit feinen Wechsellagerungen von schmalen, schräggeschichteten Siltmergelsteinen mit Tonmergelsteinen und gehen nach oben in zunehmend gröbere, dolomitarenitische Sandsteine über (Fig. 6, z. B. Balzhausen 1 (Bearbeiter: WECHSLER, HÖRAUF), Schwabmünchen 1 (Bearbeiter: GRIMM, KLINGLER, HAGENMEYER, ZÖBELEIN), Pless 1 (Bearbeiter: WAGNER), Wurzach 1 (Bearbeiter: LEMCKE, WITTMANN) u. v. a.). Die sich darin andeutende Verflachung des Meeres findet ihren Höhepunkt in Gerölleinlagerungen nahe der Obergrenze. Darauf wurde das Meer im Westen endgültig, im Osten nur stellenweise kurzzeitig trockengelegt (Kieselkruste in Siebnach 1 nach GRIMM 1957). Es folgen im westlichen deutschen Molassebecken die Unteren Cyrenenschichten mit einer Folge von maximal 10 Transgressions-Regressions-Kleinzyklen (GRIMM), welche ihrerseits von der Unteren Süsswassermolasse abgelöst wurden. In der Schweiz konnten diese Cyrenenschichten bisher noch nicht nachgewiesen werden. Die überlagernden Sandsteine der Unteren Süsswassermolasse (USM) sind makroskopisch oft nicht von den Bausteinschichten zu unterscheiden. In solchen Fällen bewährten sich zwei mineralogische Kriterien, welche bei Untersuchungen in der gefalteten Molasse gefunden wurden. (Abschnitt 2.1.7.) Sie sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

Tabelle 3. Mineraländerungen beim Übergang brackisch-fluviatil

	Farbe der Biotite	olivgrüne Turmaline / andersfarbige Turmaline
USM	grünlich und bräunlichgrün	ca. 1
Baustein-Schichten	häufig rotbraun	ca. 3

Diese Farbänderungen sind von München bis an den Genfersee zu verfolgen und lassen sich daher nur schwer durch einen Schüttungswechsel erklären. Nur in Ostbayern, wo die Bausteinschichten von marinem Chatt überlagert werden, bleibt der genannte Wechsel aus. Man gewinnt daraus den Eindruck, dass das Ablagerungsmedium eine wesentliche Rolle dabei spielte. Wie an anderer Stelle ausgeführt wurde (FÜCHTBAUER 1963), finden sich in der Literatur Hinweise dafür, dass rotbraune Biotite und in geringerem Masse auch olivgrüne Turmaline dem sauerstoffreichen Milieu der terrestrischen Sedimentation auf die Dauer nicht gewachsen sind. Diese beiden Varietäten sind demnach hier Faziesindikatoren für nicht-fluviatile Sedimentation. Nur mit ihrer Hilfe lassen sich die Bausteinschichten petrographisch von der Unteren Süsswassermolasse abgrenzen.

Nachdem nun die Ober- und Untergrenze der Bausteinschichten petrographisch definiert sind, sollen die horizontalen Veränderungen ihrer Zusammensetzung betrachtet werden. Hieraus ergibt sich dann der Schüttungsmechanismus im einzelnen.

Die Bausteinschichten sind mehr oder weniger kalkig zementierte Sandsteine mit einer anorganisch-arenitischen Dolomitkomponente. Da sie sich auf Grund

ihrer Zusammensetzung aus den Alpen herleiten, sind die verschiedenen Schüttungen in der Gefalteten Molasse (am Alpenrand) noch am wenigsten vermischt.

In der folgenden Tabelle sind deshalb die wesentlichsten Merkmale der voneinander abgrenzbaren Schüttungen in der Gefalteten Molasse einander gegenübergestellt (s. auch Fig. 5 und 8).

Tabelle 4. Bausteinschichten am Alpenrand

	Chiemsee, Prien	Schliersee, Isar	Ammer, Lech	W der Iller	Bregenzer Ache (W), Thur	Entlebuch
Calcit	8	14	15	35,5	31,5	18,5
Dolomit	15	23	41	19	14,5	11,5
Feldspat	11	14	3	11	5	16
Hornstein	0	1	2	8	4	1
Zirkon	6	4	7	3	14	20
Rutil	25	6	9	6	16	6
Turmalin	22	37	33	37	50	22
Apatit	19	27	40	28	16	47
Staurolith	25	23	10	27	0	0
Spinell	0	0,5	0	0	3	3
(Probenzahl)	(7)	(7)	(11)	(5)	(6)	(8)
Benennung der Schüttung	–	Leitzach- (SE-)	Nesselburg- (S-)	Hochgrat- (SSW-)	Ostschweiz- (W-)	Emme-
			Schüttung			

Diesen Schüttungszentren lassen sich die Ablagerungen der Vorlandsmolasse in der folgenden Weise zuordnen:

Die Bausteinschichten des *Chiemsee-Prien*-Gebietes, welche sich durch ihren hohen Rutilgehalt mit 99%iger Sicherheit (STUDENT-t-Test) von den Nachbarvorkommen unterscheiden, sind noch nicht als selbständige Schüttung in der Vorlandsmolasse nachgewiesen worden.

Die *Leitzach*schüttung («SE»)

G,ASTZs'r (8)[2])
22. 3. 48. 1,3

unterscheidet sich von der nächstwestlichen Schüttung (s. u.) hauptsächlich durch ihren hohen Staurolithgehalt und ihren niedrigeren Dolomitgehalt. Der Leitzachfächer bildet nach den Profilen von GANSS & SCHMIDT-THOMÉ (1955) eine der stärksten Anschwellungen der Bausteinschichten in der Gefalteten Molasse. Seine

[2]) Diese und die folgenden Formeln wurden nur aus denjenigen Profilteilen der Bohrungen ermittelt, in welchen die betreffende Schüttung vermutlich rein vorliegt.

Fig. 6a–e. *Einzelprofile der Bausteinschichten* (rechts: Teufe in m; Schwerminerale ohne Granat; N = Nordschüttung)

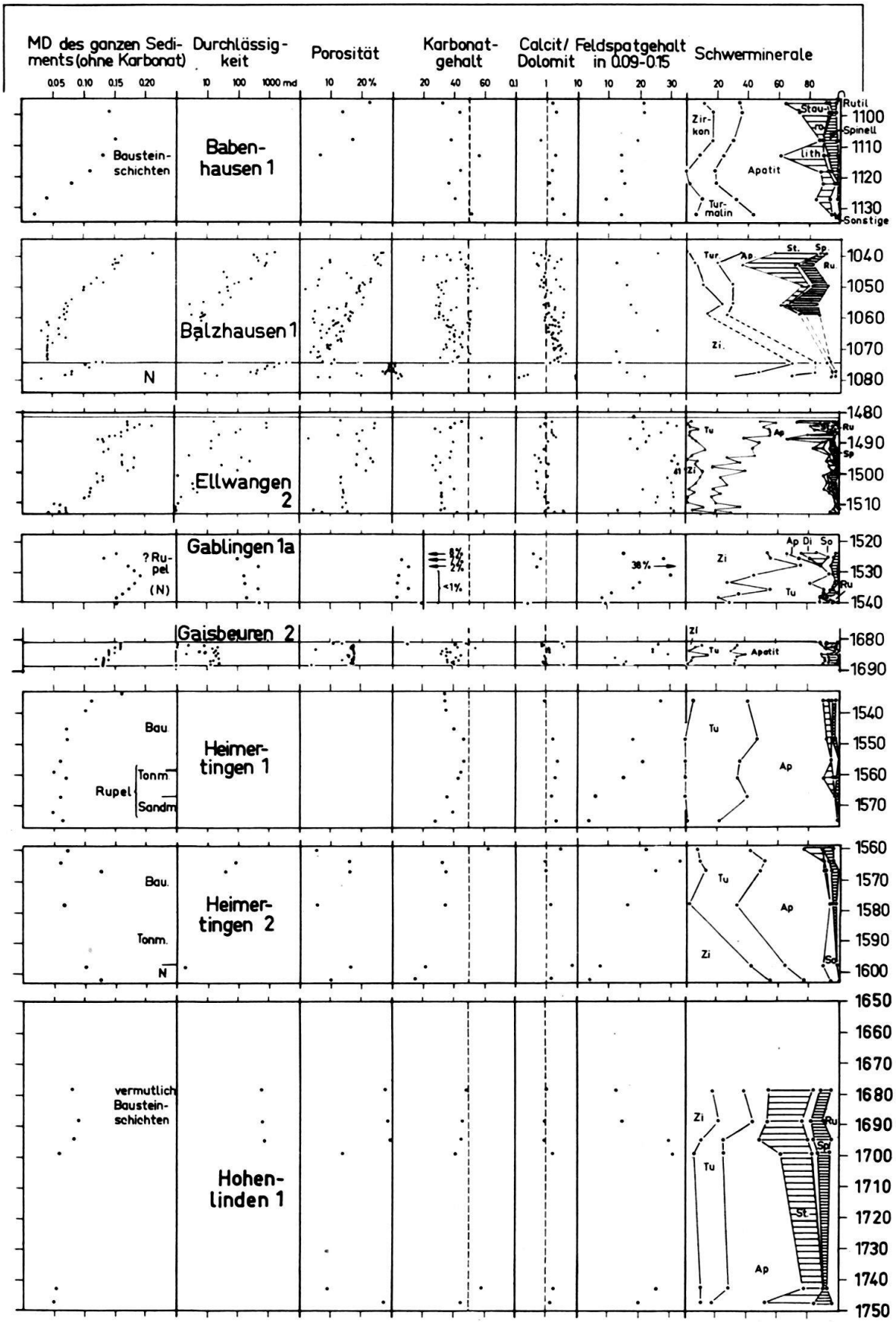
MD des ganzen Sediments (ohne Karbonat)
Durchlässigkeit
Porosität
Karbonatgehalt
Calcit/ Dolomit
Feldspatgehalt in 0.09-0.15
Schwerminerale
Baben-hausen 1
Bausteinschichten
Balzhausen 1
N
Ellwangen 2
Gablingen 1a
?Rupel
(N)
Gaisbeuren 2
Heimertingen 1
Bau.
Rupel
Tonm.
Sandm.
Heimertingen 2
Bau.
Tonm.
N
Hohenlinden 1
vermutlich Bausteinschichten
Zirkon
Turmalin
Apatit
Rutil
Spinell
Sonstige
Tu
Ap
Zi
Ru
Sp
St.
Di
So

Fig. 6a

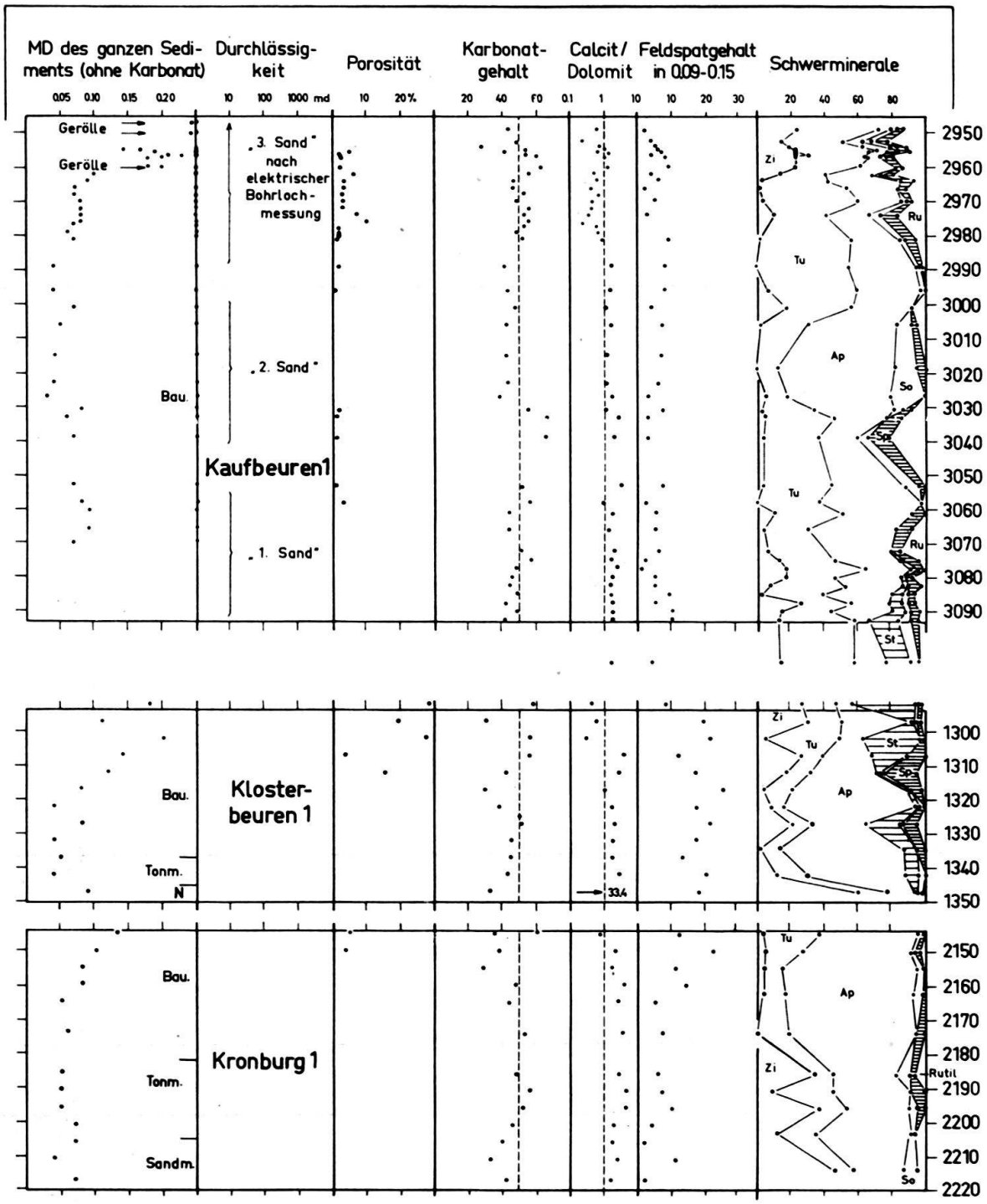

Fig. 6b

Ausstrahlungen reichen bis zu den Bohrungen Hohenlinden 1 (Fig. 5 und 6) und Landsham 1. Da diese Bohrungen bereits zur Ostmolasse mit durchgehend mariner Entwicklung des Chatt gehören, sind die Bausteinschichten in ihnen sedimentpetrographisch nicht von den Chattsandsteinen zu unterscheiden. Die Verknüpfung der elektrischen Bohrlochdiagramme mit Unterbrunn 1 macht jedoch nach Herrn Dr. LEMCKE (mündliche Mitteilung) eine Zuordnung zu den Bausteinschichten wahrscheinlich.

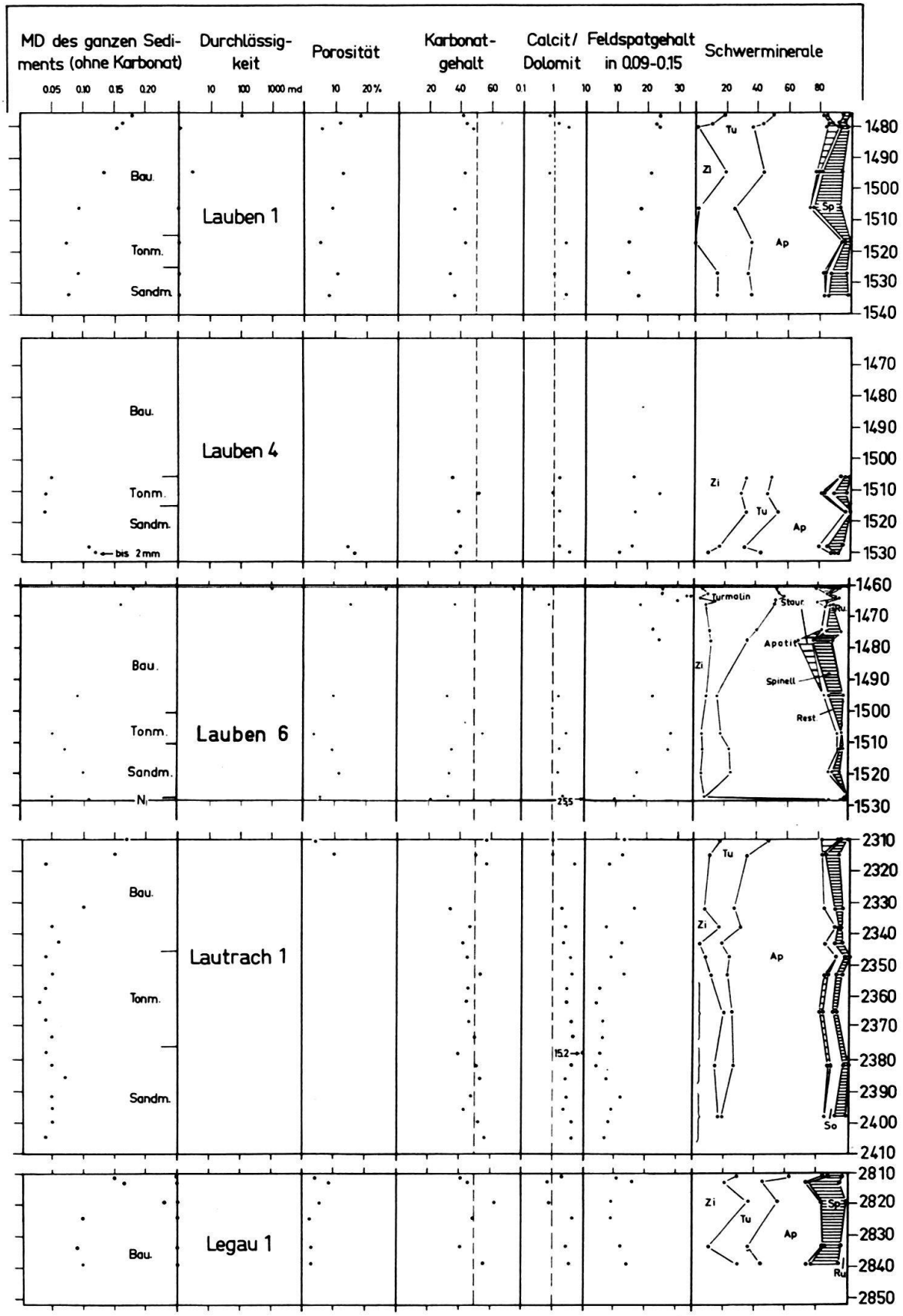
MD des ganzen Sediments (ohne Karbonat)
Durchlässigkeit
Porosität
Karbonatgehalt
Calcit/ Dolomit
Feldspatgehalt in 0.09-0.15
Schwerminerale
Lauben 1
Lauben 4
Lauben 6
Lautrach 1
Legau 1
Bau.
Tonm.
Sandm.
Tu
Zi
Ap
Sp
Ru
So
Turmalin
Staur.
Apatit
Spinell
Rest
bis 2mm

Fig. 6c

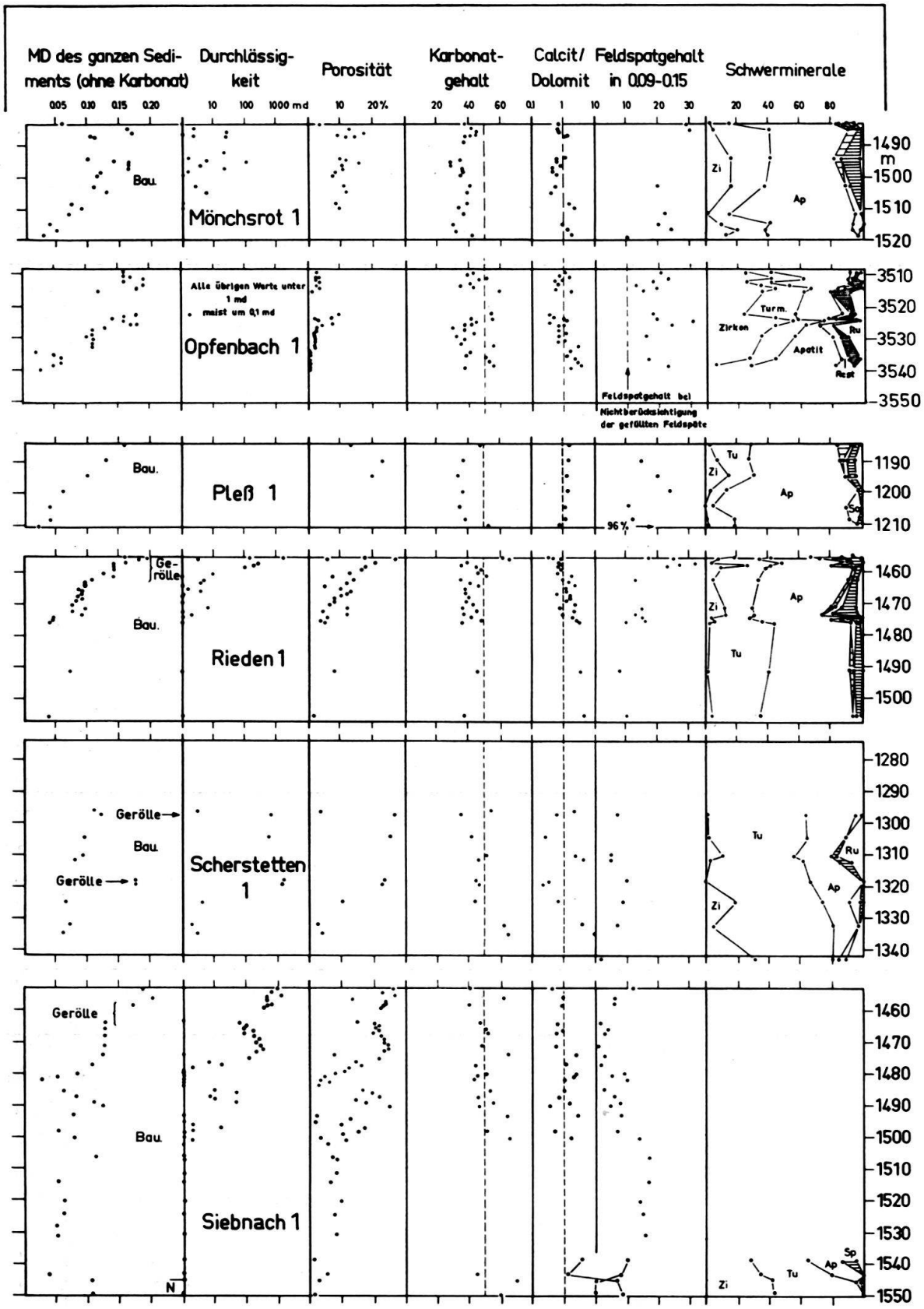
MD des ganzen Sediments (ohne Karbonat)
Durchlässigkeit
Porosität
Karbonatgehalt
Calcit/ Dolomit
Feldspatgehalt in 0,09-0,15
Schwerminerale
Mönchsrot 1
Opfenbach 1
Alle übrigen Werte unter 1 md
meist um 0,1 md
Feldspatgehalt bei Nichtberücksichtigung der gefüllten Feldspäte
Pleß 1
Rieden 1
Scherstetten 1
Siebnach 1
Bau.
Gerölle
Zi
Ap
Tu
Turm.
Zirkon
Apatit
Ru
Rest
Sp
N

Fig. 6d

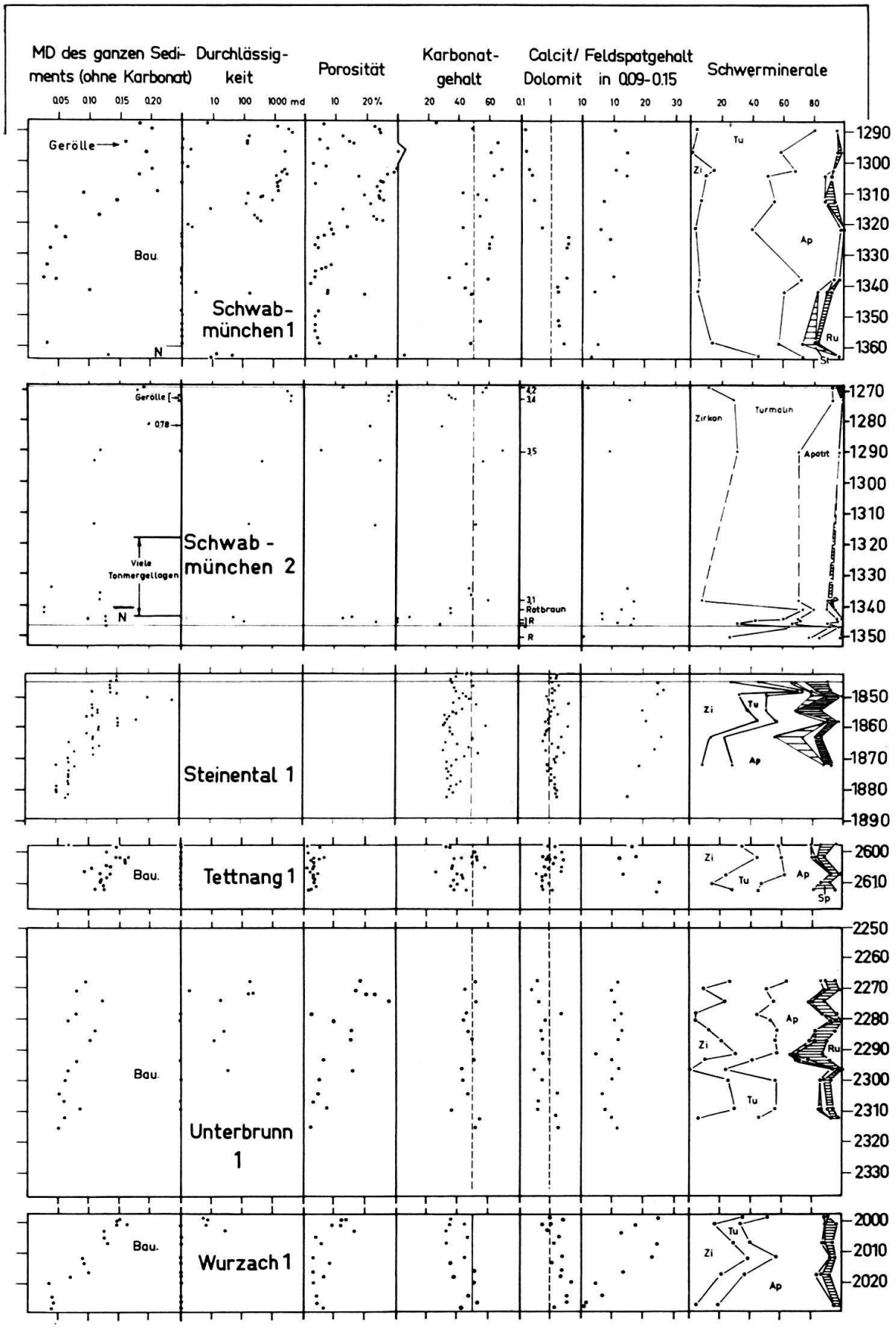
MD des ganzen Sedi-ments (ohne Karbonat)
Durchlässig-keit
Porosität
Karbonat-gehalt
Calcit/ Dolomit
Feldspatgehalt in 0.09-0.15
Schwerminerale
Gerölle
Bau.
N
Schwab-münchen 1
Schwab-münchen 2
Viele Tonmergellagen
Rotbraun
Zirkon
Turmalin
Apatit
Steinental 1
Tettnang 1
Unterbrunn 1
Wurzach 1
Zi
Tu
Ap
Ru
Sp

Fig. 6e

Die Nesselburgschüttung («S»)

G, TAzrs′ (81)
8. 0. 55. 0,6 (grob)
50. 1,4 (fein)

ist nach den Untersuchungen von SCHIEMENZ (1960) durch den hohen Anteil von Dolomitgeröllen charakterisiert, die nach diesem Autor zumindest teilweise aus der Trias der Nördlichen Kalkalpen herzuleiten sind. In der Sandfraktion fällt der geringe Feldspatgehalt und der relativ niedrige (s. Tab. 4) Staurolithgehalt auf. – In den Bohrungen Scherstetten 1, Schwabmünchen 1, Siebnach 1, Unterbrunn 1, Kaufbeuren 1 sowie Teilen von Rieden 1 und Balzhausen 1 (Fig. 5)

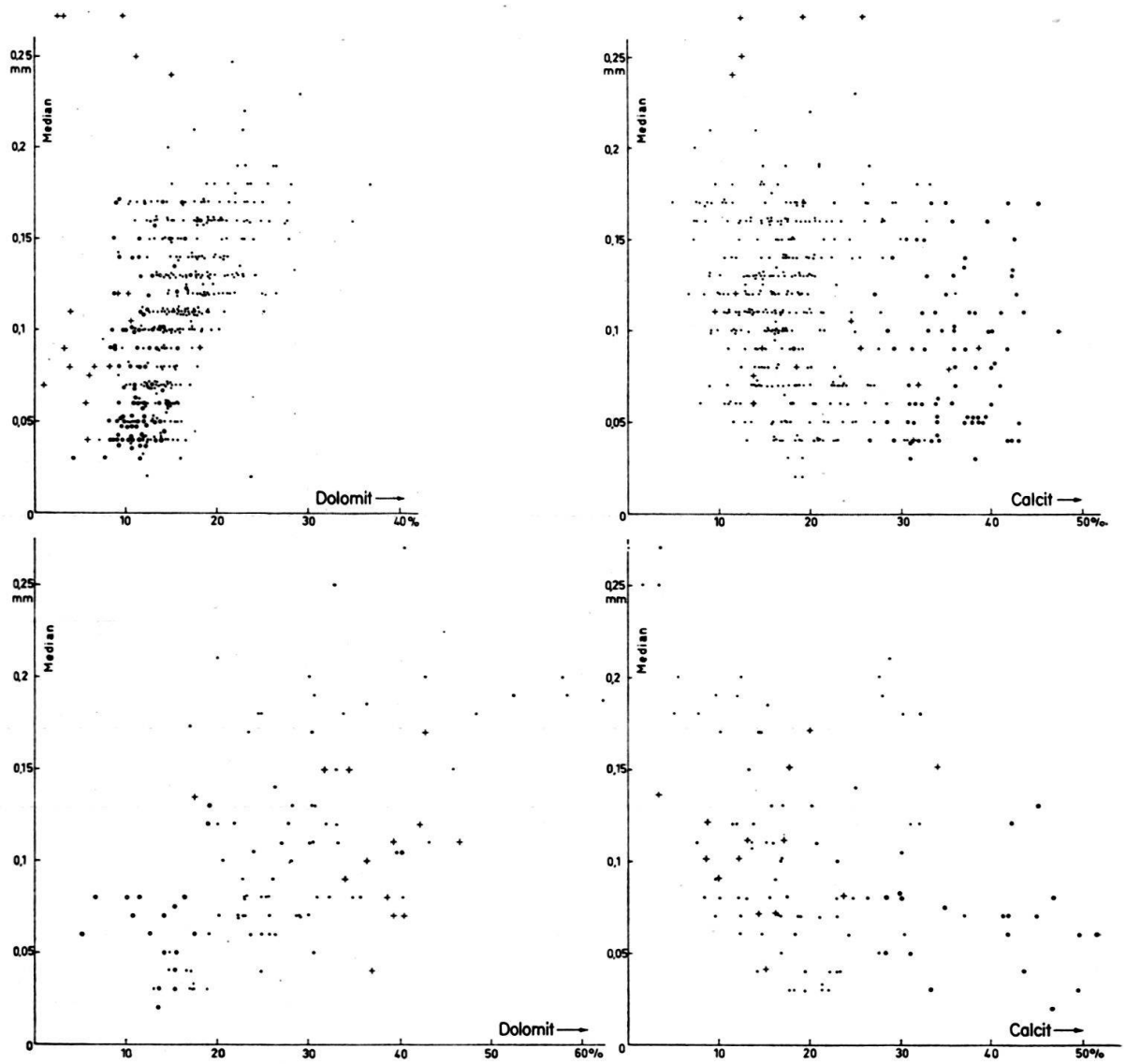

Fig. 7. *Bausteinschichten.* Beziehung zwischen Calcit- bzw. Dolomitgehalt und Mediandurchmesser der von Karbonat befreiten Proben.
Obere Reihe: Westschüttung, untere Reihe: Südschüttung.
Punkte: Vorlandsmolasse, Kreuze: Gefaltete Molasse; Kreise: Kalksandsteine (Calcit: Dolomit > 2).

wurde die Nesselburgschüttung vor allem an dem hohen Dolomitgehalt und seiner kräftigen Zunahme mit wachsender Korngrösse erkannt (Fig. 7, unten links).

Das «Senkele» südöstlich Seeg in der Gefalteten Molasse besteht zu etwa 90% aus Dolomitgeröllen bis 3 cm ∅, und zu 10% aus «Quarzgeröllen» bis 1 cm ∅. In den genannten Bohrungen hingegen halten sich die meist dunkelgrauen Dolomitgerölle und die «Quarzgerölle» (genauer: Quarz, Quarzit, Kieselschiefer und Kristallin) im ganzen etwa die Waage. Dabei sind die «Quarzgerölle» etwas gröber als die Dolomitgerölle. Letzteres dürfte sich nicht so sehr durch das geringere spezifische Gewicht der Quarzgerölle, als durch ihre grössere Kugelähnlichkeit erklären. Die Dolomitgerölle besitzen demgegenüber in der Vorlandsmolasse häufig die Form abgeplatteter Ellipsoide, welche sich rollend nur schwer transportieren lassen und folglich liegenbleiben, während die gleichgrossen Quarzgerölle noch weiterbewegt werden.

Während in den meisten Bohrungen die Gerölle einzeln wie Rosinen in den Sandstein eingestreut sind und z. B. in Schwabmünchen 1 (Bearbeiter: GRIMM, KLINGLER, HAGENMEYER, ZÖBELEIN) nur über 0,2 m Mächtigkeit kompaktere Geröllschnüre eingelagert sind, fanden sich in der nur 700 m weit entfernten Bohrung Schwabmünchen 2 (Bearbeiter: ZIMDARS) solche Geröllschnüre über eine Mächtigkeit von 9,1 m und darüber hinaus 1,4 m Konglomerate. (Diese Zahlen stellen Mindestwerte dar, weil in der geröllführenden Partie ein Kernverlust von 7,1 m eintrat (in Schwabmünchen 1: 2,8 m)). Die mittlere Geröllgrösse liegt meist bei 3 mm, steigt aber in einzelnen Lagen auf 10–20 mm an. Diese alpine Geröllschüttung nahe dem Nordrand des Bausteinschichten-Meeres vermittelt einen Eindruck davon, wie flach das Meer dort zu dieser Zeit gewesen sein muss. Die die Gerölle begleitenden Sandsteine zeigen häufig eine ebenflächige Schrägschichtung 5–10 cm dicker Pakete mit Winkeln bis zu 30°. Eine gradierte Schichtung wurde nie beobachtet. All dies würde zu dem Bild eines nur wenige Meter tiefen Meeres passen.

Das Fehlen von Staurolith in den Bohrungen kann dazu benutzt werden, am Alpenrand nach dem Austrittsbereich der zugehörigen Schüttung zu suchen. Dabei stellt sich heraus, dass nicht die so eindrucksvolle Geröllmassierung des «Senkele» (s. o.) – ihre Schwermineralfraktion ist reich an Staurolith! – sondern das Gebiet vom heutigen Lechaustritt nach Osten bis Murnau (Bohrung Murnau 1) die Wurzel jener mächtigen Schüttung bildet. Hierzu passt auch das Fehlen grösserer Geröllbänke in der alpennahen Bohrung Kaufbeuren 1 (Bearbeiter: LEMCKE, HADNAGY, KÖWING): Die Spülproben in den obersten 10 m der Bausteinschichten enthielten nur wenig Kies, die darunter folgenden Kerne über 5 m sporadisch Gerölle. Die Nesselburgschüttung (SCHIEMENZ, 1960) ist demnach nicht über ihre ganze Breite in der Subalpinen Molasse (75 km) homogen, sondern setzt sich aus mineralogisch unterschiedlichen Teilschüttungen zusammen. Jedoch soll die in die Vorlandmolasse hinausreichende Teilschüttung mit keinem neuen Namen belegt werden. (Andere Deutungsversuche, wie «intrastratal solution» oder Sortierungseffekte, führten nicht zum Ziel.)

Für die *Hochgrat*schüttung («SSW»)

G, ASTZs′ (12)
17. 6. 45. 2

ist nach SCHIEMENZ (1960) die Häufigkeit von Flyschgeröllen typisch. Dem entspricht ein deutliches Zurücktreten des Dolomits in der Sandfraktion gegenüber

der Nesselburgschüttung. (Die Karbonatverteilung ähnelt im Prinzip derjenigen der Westschüttung, s. u.; auf ihre Darstellung in Fig. 7 wurde daher verzichtet.) Der Feldspat- und Staurolithgehalt sind deutlich erhöht. – Die reinsten Ablagerungen dieser Schüttung wurden in den Bohrungen Babenhausen und Klosterbeuren festgestellt.

In Lauben 6 ergab ein Vergleich der Sandpetrographie mit der Zusammensetzung der eingeschlossenen Gerölle interessanterweise, dass der Sand grösstenteils zur Westschüttung gehört (s. u.), während die hier einzeln eingestreuten Gerölle in manchen Proben (Dolomit- und Quarzgerölle) der Nesselburgschüttung, in anderen (Dolomit-, Kalksandstein- und Quarzgerölle) der Hochgratschüttung zuzuordnen sind. Nur in einer Probe stammen Gerölle und Sand aus der Hochgratschüttung. Etwas Ähnliches wurde in Balzhausen beobachtet: Während die Sandkomponente überwiegend zur Westschüttung und zur Hochgratschüttung gehört, wurden die Gerölle vom Nesselburgfächer beigesteuert. Vielleicht handelt es sich hier um die Wirkung eines unterschiedlich starken Ebb- und Flutstromes. Eine verschiedene Herkunft von Geröll- und Sandkomponente wurde weiter oben (Abschnitt 2.1.17: Hohrone) auch aus der fluviatilen USM beschrieben.

Als *West*schüttung («W«)

G, AZTs′r (51)
22. 7. 40. 1,5

wurden die Schüttungen aus der Schweiz zusammengefasst, welche vom Entlebuch («Emmeschüttung») sowie von der Ostschweiz herzuleiten sind. Sie unterscheiden sich von der Hochgratschüttung durch das Fehlen von Staurolith, von der Nesselburgschüttung durch das Überwiegen von Apatit über Turmalin und durch höheren Feldspatgehalt. Dieser ist besonders im nördlichen Teil der Vorlandsmolasse angereichert, wodurch sich der stärkere Einfluss der Emmeschüttung zu erkennen gibt. Unklar ist noch, warum der Feldspatgehalt im Beckenbereich höher ist (20–30%) als in der Subalpinen Molasse (16%). Vermutlich aber reicht die Probenzahl in der letzteren für eine verlässliche Mittelwertbildung nicht aus. Der niedrigere Feldspatgehalt und der höhere Karbonatgehalt im Südteil des Vorlandes deuten auf den Einfluss der Ostschweizschüttung hin (Tab. 4).

In Fig. 5 wurde ausser der Gesamtmächtigkeit der Bausteinschichten i. e. S. noch die Mächtigkeit der gröberen Sandsteine dargestellt, da diese im allgemeinen empfindlicher auf Strömungsunterschiede reagieren als feinere.

Die meisten Profile der Bausteinschichten (Fig. 6) gliedern sich, wie erwähnt, in einen gröberen oberen und einen feineren unteren Teil, welche sich am besten beim Median 0,1 mm voneinander abgrenzen lassen.

Für jede Bohrung wurde ausserdem der nach mineralogischen Kriterien abgeschätzte, prozentuale Anteil der einzelnen Schüttungen durch Kreissektoren dargestellt (Fig. 5).

Die Mächtigkeitslinien der Sandsteine $< 0{,}1$ mm lassen die Bereiche intensivsten Materialtransportes erkennen, welche mit den aus der Mineralverteilung ermittelten Transportstreifen gut übereinstimmen. Hiernach bildete die Westschüttung im Gebiet von Mönchsrot anscheinend eine der Nordküste parallele Sandbarre. Die SSW-Schüttung zeichnete die schon im Lattorf (Volz & Wagner, 1960, Abb. 3) vorhandene «Iller-Depression» nach und zum Teil den heutigen Illerlauf vor, die S-Schüttung aber fällt erstaunlich genau mit dem heutigen Lechlauf zusammen. Bezeichnend ist, dass noch in der Bohrung Balzhausen 1 («Bz»)

die Westschüttung überwiegt, die hier offenbar von der Nesselburgschüttung weit nach N gedrängt wird.

Zum zeitlichen Ablauf ist festzustellen, dass die Westschüttung zuerst erlahmte, so dass gegen Ende der Bausteinschichten Material der SSW-Schüttung längs der Nordküste gegen W bis nach Gaisbeuren 2 («Ga») verdriftet werden konnte. Zu dieser Zeit scheint auch die S-Schüttung noch aktiv gewesen zu sein, wie die Gerölleinstreuungen z. B. in Balzhausen 1 (s. o.) zeigen.

Die zuletzt durch Rutsch (1961) hervorgehobene Diskrepanz der Alterseinstufung der Unteren Meeresmolasse in Bayern (Chatt) und in der Schweiz (Rupel) wird vielleicht durch die folgenden Überlegungen gemildert:

1. Nach Zöbelein (1962, s. o.) besitzt nur der höhere, besonders sandreiche Teil der bayerischen subalpinen Bausteinschichten chattisches Alter, während der tiefere, tonigere Teil noch ins Rupel zu stellen ist.
2. Nach Rutsch (1961) wurde in der Schweiz sicheres Rupel nur von Vaulruz bei Bulle und vom Steinibach im Entlebuch beschrieben.

   Das letztere Vorkommen aber wurde im vorigen Kapitel auf Grund seiner Flyschmerkmale mit den Deutenhausener Schichten verglichen. In den Horwer Platten am Ausgang der Waldemmeschlucht hingegen, welche mit der Westschüttung im deutschen Alpenvorland in Verbindung zu bringen sind, fehlen die typischen Flyschmerkmale (Schleifspuren, Kolkmarken) fast ganz. Sie sind daher nicht ohne weiteres mit den Schichten vom Steinibach gleichzusetzen, so dass für sie ein rupelisches Alter nicht gesichert ist.

Das oben erwähnte, etwas frühere Erlahmen der Westschüttung östlich des Bodensees entspricht wegen der im allgemeinen schnellen Sedimentation gröberer Sande einem nur unbedeutenden Zeitunterschied. Dort sind West- und Südschüttung folglich etwa zeitgleich. Nicht ganz auszuschliessen ist eine langsame, regressionsartig von W nach E fortschreitende Verflachung des Meeres, bei der die Sande aus dem Emmegebiet im Küstenstreifen mitwanderten. Dieses Modell besitzt jedoch keine grosse Wahrscheinlichkeit, zumal die Bausteinschichten östlich des Bodensees gegen N transgredieren.

Für die feinkörnigeren und tonigeren Schichten von Vaulruz hingegen, welche in keinem Schüttungszusammenhang mit den Horwer Platten des Emmegebietes stehen, bereitet eine zeitliche Sonderstellung keine Schwierigkeiten. Aus einer ungefähren Gleichzeitigkeit dieses molasseartigen Rupels mit den flyschartig abgelagerten Schichten vom Steinibach würden sich jedoch interessante paläogeographische Konsequenten ergeben.

Hiernach ist ein chattisches Alter zumindest der oberen, groben Partie der Bausteinschichten von der Emme bis zum Inn zur Zeit am besten mit allen Beobachtungen zu vereinbaren.

Eine überraschend umfassende petrographische Übereinstimmung mit den rupelischen «Bunten Niederröderner Schichten» in Stockstadt 7 bei Darmstadt (s. Mineraltabellen) wirft die Frage nach einer möglichen Verbindung des subalpinen Rupelmeeres mit demjenigen des zu dieser Zeit bereits einsinkenden Rheintalgrabens erneut auf. Eine solche Verbindung wurde von Buxtorf & Fröhlicher (1933) auf Grund übereinstimmender Fischfaunen angenommen, später aber von Rutsch (1961/62) und auch von Fröhlicher & Weiler (1952)

vor allem auf Grund «unterschiedlicher Fisch-, Ostrakoden- und Molluskenfaunen» abgelehnt. Zur Abklärung dieses Problems sind noch detaillierte sedimentpetrographische Untersuchungen notwendig.

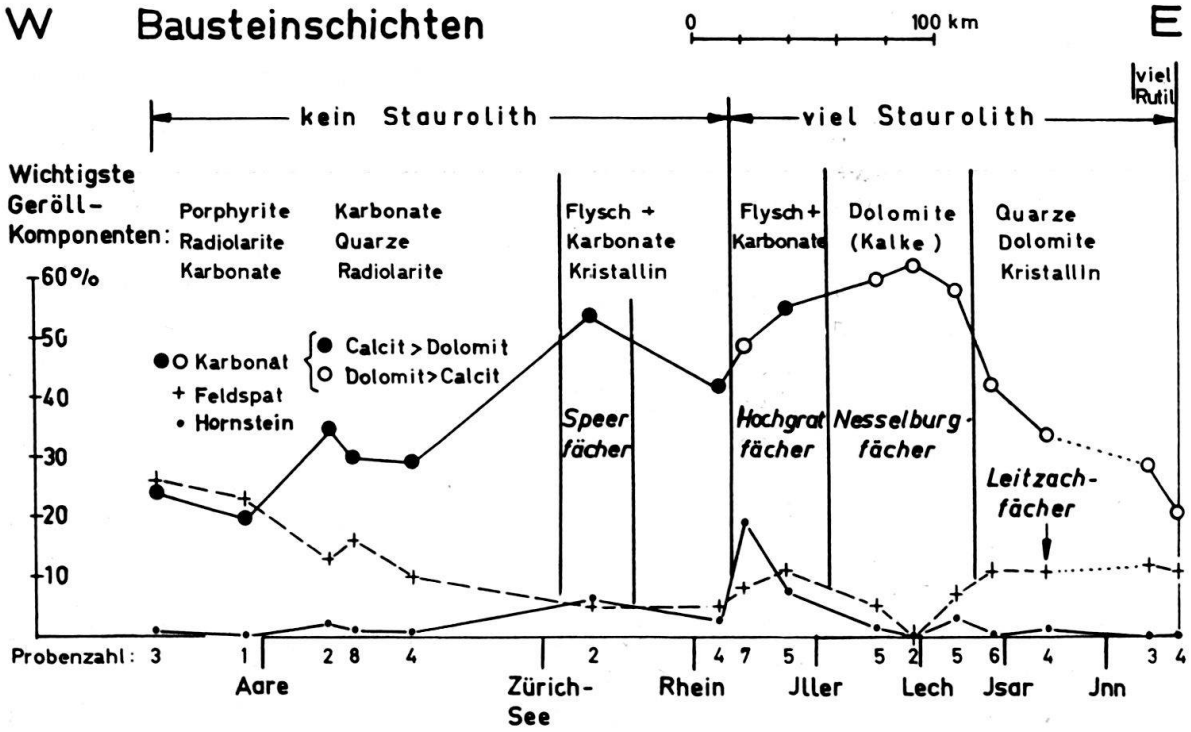

Fig. 8

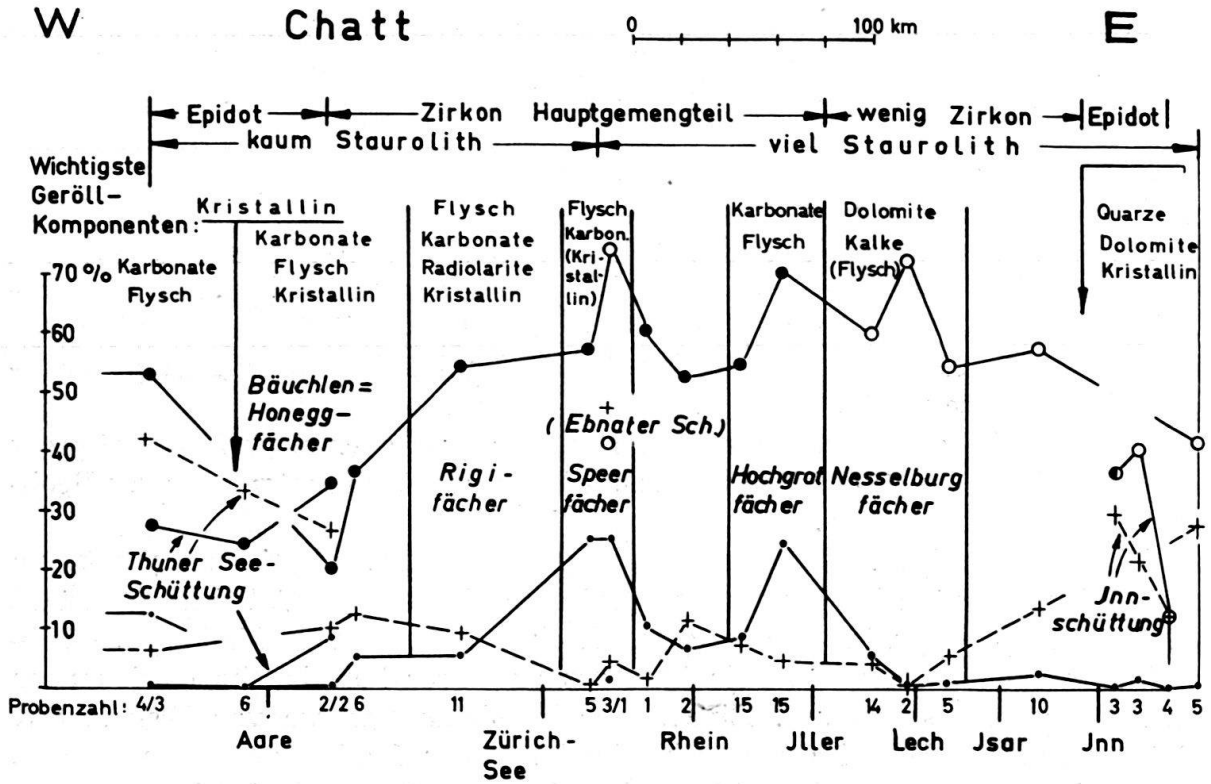

Fig. 9

2.2.3. *Terrestrisches Chatt und Aquitan* («Untere Süsswassermolasse = USM»)

2.2.3.1. Mechanismus und Charakteristik der Schüttungen

Die Untere Süsswassermolasse bestreitet in ihrem Verbreitungsgebiet W von München etwa $^2/_3$ der Molassemächtigkeit. Es lässt sich abschätzen, dass zu dieser Zeit eine Gesteinsschicht von etwa 1300 m Mächtigkeit von den Alpen abgetragen worden sein muss. Die zur Zeit der Bausteinschichten in der Subalpinen Molasse angelegten Schuttfächer erfuhren im Chatt und Aquitan ihren stärksten Zuwachs (maximal 4000 m). Sie sind weitgehend aus schlecht sortierten Konglomeraten mit sandmergeligem Bindemittel zusammengesetzt. Die geringe Ausdehnung dieser Fächer in der Schüttungsrichtung deutet auf ein sehr rasches Absinken der Transportkraft hin.

Von manchen Autoren (u. a. SCHIEMENZ, 1960) wurde daraus gefolgert, dass die Schuttfächer auf kurze, reissende Flüsse zurückgehen, welche in einen Süsswassersee mündeten. Jedoch können ähnliche Sedimente auch in terrestrisch-fluviatilen Gebieten an einem starken Gefälleknick entstehen, wie Beobachtungen von E. KOCH (Gew. Elwerath) in Ostperu zeigten (mündliche Mitteilung): Die von den Anden kommenden Flüsse verlieren dort ihren Geröllinhalt vollständig und auch ihre Sandfracht zum grossen Teil, sobald sie in die Ebene eintreten. An dieser Stelle finden sich daher die gleichen, schlecht sortierten und von Mergelbändern unterbrochenen Schuttfächer wie in der Subalpinen Molasse. Das weiter draussen sedimentierte Material aber, Sande, Tonmergel und vor allem Sandmergel, stammt zum grössten Teil nicht von diesen Geröll-Schuttfächern, sondern vom beckenparallelen Transport des Ucayaliflusses, eines der Hauptquellflüsse des Amazonas.

In der Unteren Süsswassermolasse («USM») lassen sich durch ein terrestrisches Becken hindurch mineralogisch definierte Materialströme bis in marine Deltaschüttungen verfolgen (s. besonders Fig. 14b und e). Hieraus kann man in Übereinstimmung mit HOFMANN (1960) einen *fluviatilen Transport* ableiten. Es ergibt sich das Bild einer Ebene, die von einem Flechtwerk von Flussadern durchzogen war («braided river»), welches sich häufig verlagerte und dabei kleinere und grössere Totwasserarme und -seen bildete. In ihnen und bei kurzfristigen Überflutungen kam die feine Trübe zum Absatz.

Die USM besteht zu etwa 80% aus rötlich- und grünlichbunten Silt- und *Tonmergelsteinen*. Diese scheinen, wie die Untersuchung der daraus abgeschlämm-

---

Fig. 8. *Bausteinschichten*. Petrographisches Westostprofil längs der Gefalteten Molasse. Aus den Proben wurden gebietsweise Mittelwerte gebildet. Zur Orientierung wurden unten die grösseren Flüsse in maßstäblichem Abstand eingezeichnet. Die Ordinate gilt für Karbonatgehalt, sowie für Feldspat- und Hornsteingehalt der von Karbonat befreiten Fraktion 0,09–0,15 mm. Der höhere Karbonat- und niedrigere Feldspatgehalt zwischen Zürichsee und Isar sowie das Überwiegen von Calcit in der Schweiz und Dolomit in Deutschland treten deutlich in Erscheinung.

Fig. 9. *Chatt*. Petrographisches Westostprofil längs der Gefalteten Molasse. Einteilung und Signaturen wie Fig. 8. Ganz links bzw. ganz rechts sind die Kristallin führende Thunersee- und Innschüttung mit eingezeichnet. Auf diese beziehen sich der Epidot (oberste Zeile) und die mit Pfeilen versehenen Geröllkomponenten. Die kleine, Kristallin führende Schüttung der Ebnater Schichten (Mitte des Diagramms) ist durch 1 Probe, der linke Punkt der Thunersee-Schüttung durch 3 Proben belegt, welche übrigens nur materialmässig der Thunersee-Schüttung ähneln, jedoch von SW geschüttet wurden (Saanegebiet). Beachte die prinzipielle Übereinstimmung mit Fig. 8.

ten Sandkomponente zeigte (s. u.), zu einem wesentlichen Teil feinste Abschlämmungen der grossen Schuttfächer in der deutschen Subalpinen Molasse zu sein. Daher nimmt auch die aus elektrischen Bohrlochmessungen ermittelte Gesamtmächtigkeit dieser Mergelsteine radial von den Schuttfächern gegen Norden ab (Fig. 14).

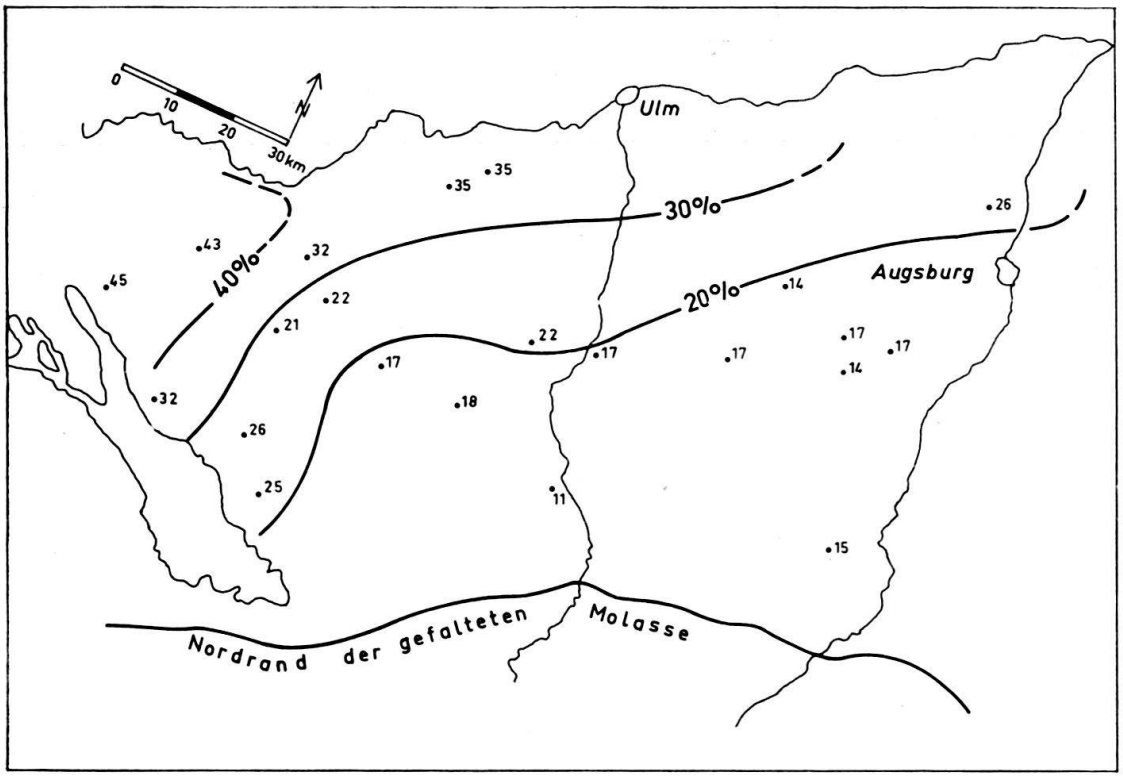

Fig. 10. *Geschätzter Anteil von Sandsteinen in der USM.* Nach Kernen, Spülproben und Diagrammen.

Sandsteine sind nach elektrischen Bohrlochmessungen und Spülprobenauszählungen im Durchschnitt zu etwa 20% an der chattisch-aquitanen Vorlandsmolasse beteiligt. Sie sind stets kalkig zementiert und führen eine arenitische Dolomitkomponente. Eine kartenmässige Darstellung der Sandbeteiligung (Fig. 10) zeigt, dass die Sandsteine nur zum kleineren Teil aus den grossen Schuttfächern des deutschen Alpenrandes stammen können: Da man die Transportrichtung hier etwa mit der Richtung abnehmender Sandbeteiligung gleichsetzen kann und ein Transport von N nach S natürlich nicht in Frage kommt, ergibt sich schon aus dieser Abbildung eine westliche Herkunft der sandreicheren und – ähnlich wie in Ostperu – wohl auch wasserreicheren Zuflüsse.

Dies wird durch die mineralogischen Untersuchungen bestätigt (s. u.). Die USM lässt sich hiernach in mehrere Abschnitte unterteilen (Fig. 11), welche im einzelnen

Fig. 11. *Schüttungseinheiten der USM.* Die Bohrprofile sind willkürlich angeordnet. Zahlen über den Bohrungssäulen = Teufe der Oberkante USM. Zahlen in Klammern: Hier ist ein Teil der USM präglazial abgetragen worden. Die einzelnen Proben sind durch Querstriche bezeichnet. Rechts unten: Sedimentpetrographische Formeln (s. Abschn. 1) der Schüttungseinheiten; dahinter in Klammern die Anzahl der gemittelten Proben.

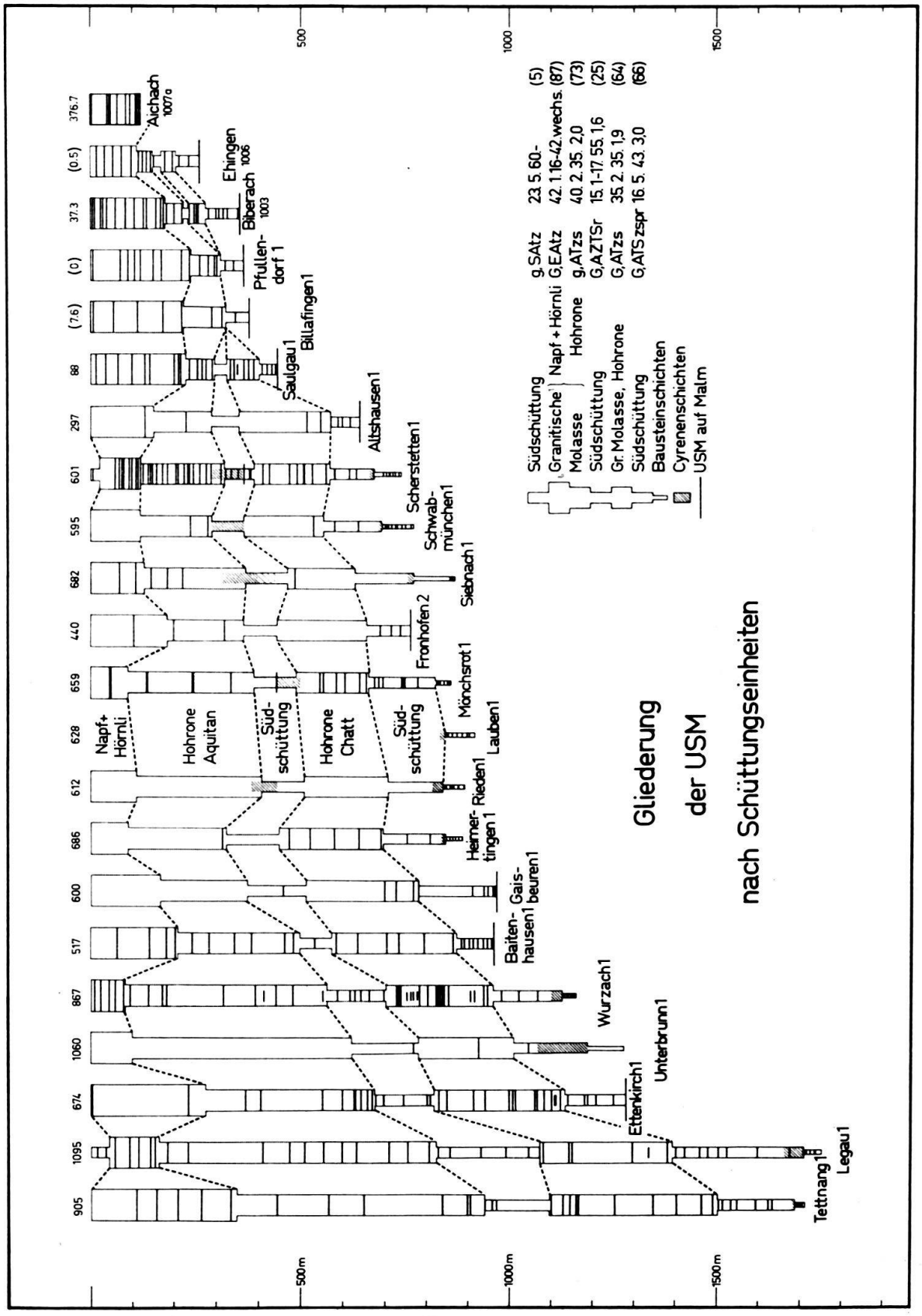
Gliederung
der USM
nach Schüttungseinheiten
Napf+ Hörnli
Hohrone Aquitan
Süd-schüttung
Hohrone Chatt
Süd-schüttung
Aichach 1007a
Ehingen 1006
Biberach 1003
Pfullen-dorf 1
Billafingen 1
Saulgau 1
Altshausen 1
Scherstetten 1
Schwab-münchen 1
Siebnach 1
Fronhofen 2
Mönchsrot 1
Lauben 1
Rieden 1
Herner-tingen 1
Gais-beuren 1
Baiten-hausen 1
Wurzach 1
Unterbrunn 1
Ettenkirch 1
Legau 1
Tettnang 1
Südschüttung
Granitische Molasse
Napf + Hörnli
Hohrone
Südschüttung
Gr. Molasse, Hohrone
Südschüttung
Bausteinschichten
Cyrenenschichten
USM auf Malm
g,SAtz 23.5.60.- (5)
G,EAtz 42.1.16-42.wechs. (87)
g,ATzs 40.2.35.2,0 (73)
G,AZTSr 15.1-17.55.1,6 (25)
G,ATzs 35.2.35.1,9 (64)
G,ATSzspr 16.5.43.3,0 (66)
500
1000
1500
500m
1000m
1500m

Fig. 11

auf den Schüttungskärtchen Fig. 14a–e dargestellt sind. Die Sedimente der Abschnitte a (der unterste) und c sind relativ arm an sandigen Einlagerungen. Diese erweisen sich durch ihren geringen Feldspatgehalt, ihren hohen Karbonatgehalt und das Vorkommen von Hornsteinkörnern und Staurolith als Abkömmlinge der grossen Schuttfächer des deutschen Alpenrandes mit vorwiegend sedimentären Liefergesteinen.

Demgegenüber lassen sich die Sandsteine der sandreicheren Abschnitte (Fig. 14b, d und e) nur von den wenig prononcierten Austrittsstellen der feldspatreichen «Granitischen Molasse» (STUDER 1853) in der Schweiz (LEMCKE & Mitarb. 1953, S. 20), und zwar von der Hohrone südlich des Zürichsees und aus dem Napf-Hinterland zwischen Thuner- und Vierwaldstättersee, herleiten. Diese Sandsteine sind durch hohen Feldspatgehalt, geringen Karbonat- und Hornsteingehalt sowie Anreicherungen von Apatit bzw. Epidot gekennzeichnet und deuten auf ein vorwiegend kristallines Liefergebiet hin. Sicher stammt auch ein Teil der begleitenden Mergelsteine von dort.

Die Verknüpfungen zwischen den Beckensedimenten und den Schuttfächern der Subalpinen Molasse beruhen auf den Verschiedenheiten der letzteren, welche auf Fig. 9 zusammengestellt sind. Ein Vergleich mit Fig. 8 zeigt übrigens, dass sich diese Schuttfächer seit den Bausteinschichten in ihrer Zusammensetzung

Tabelle 5. Mittelwerte der Schuttfächer der USM

a) Zusammenstellung der sedimentpetrographischen Formeln:

	Schwer-minerale	Proben-zahl	Feld-spat	Chalce-don	Karbo-nat	Ca/Dol.	Undulöse Quarze
1. Napf	g, EAzt	(28)	50	0	20	3,0	(46)
2. Hohrone	G, AZtsr	(47)	47	0	16	1,5	(69)
3. Hörnli	g, EAzt	(14)	25	8	50	1,0	(51)
4. Kronberg, oben	g, EAzts	(3)	15	20	70	2,7	
5. Kronberg, unten	g, ATsze	(2)	17	25	59	1,8	(44)
6. Gäbris	G, AZRSt	(19)	21	9	47	1,2	(51)
7. Kojen	G, SATZr	(13)	9	32	67	1,7	

b) Mittlere Schwermineralgehalte (Fig. 12):

	Zirkon	Rutil	Turma-lin	Apatit	Stauro-lith	Epidot	Sonstige	Granat
1. Napf	9	1	3	15	1	69	1 Chloritoid 1 Titanit	32
2. Hohrone	23	3	8	59	4	2	1 Chloritoid	70
3. Hörnli	7	2	3	23	2	62	1 Titanit	25
4. Kronberg, oben	6	1	5	31	3	54		26
5. Kronberg, unten	6	2	11	67	7	6	1 Anatas	27
6. Gäbris	23	15	9	39	11	0	1 Anatas 2 Spinell	62
7. Kojen	13	8	18	22	37	0	1 Disthen 1 Spinell	60

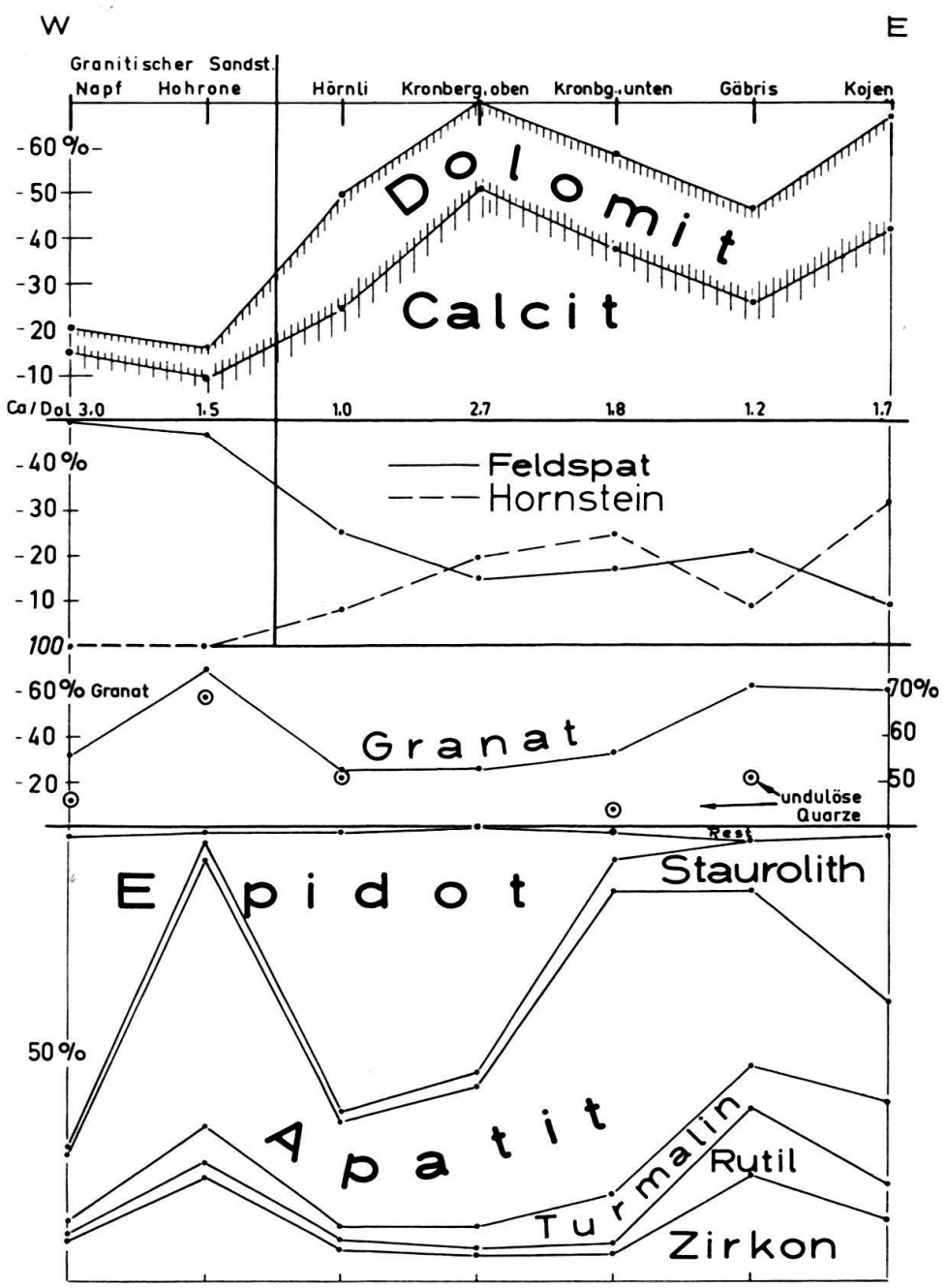

Fig. 12. *Petrographische Unterscheidung* der Schüttungen in der Subalpinen Molasse der Ostschweiz. (Mitte rechts: 50–60–70% undulöse Quarze; links: Granat in % aller Schwerminerale; unten: Schwerminerale ohne Granat).

kaum geändert haben. Die wesentlichen Merkmale, die unterschiedliche Höhe des Karbonatgehaltes und das Überwiegen von Calcit am schweizerischen und von Dolomit am deutschen Alpenrand, blieben bestehen. Da sich vor allem in der Ostschweiz die verschiedenen Schüttungen vielfach miteinander verzahnen (Fig. 13), ist zu prüfen, ob die in Tabelle 5 erkennbaren Unterschiede statistisch genug gesichert sind, um als Unterscheidungsmerkmale zwischen diesen Schüttungen gelten zu können. Hierzu dient der STUDENT-t-Test (s. z. B. MARSAL 1949):

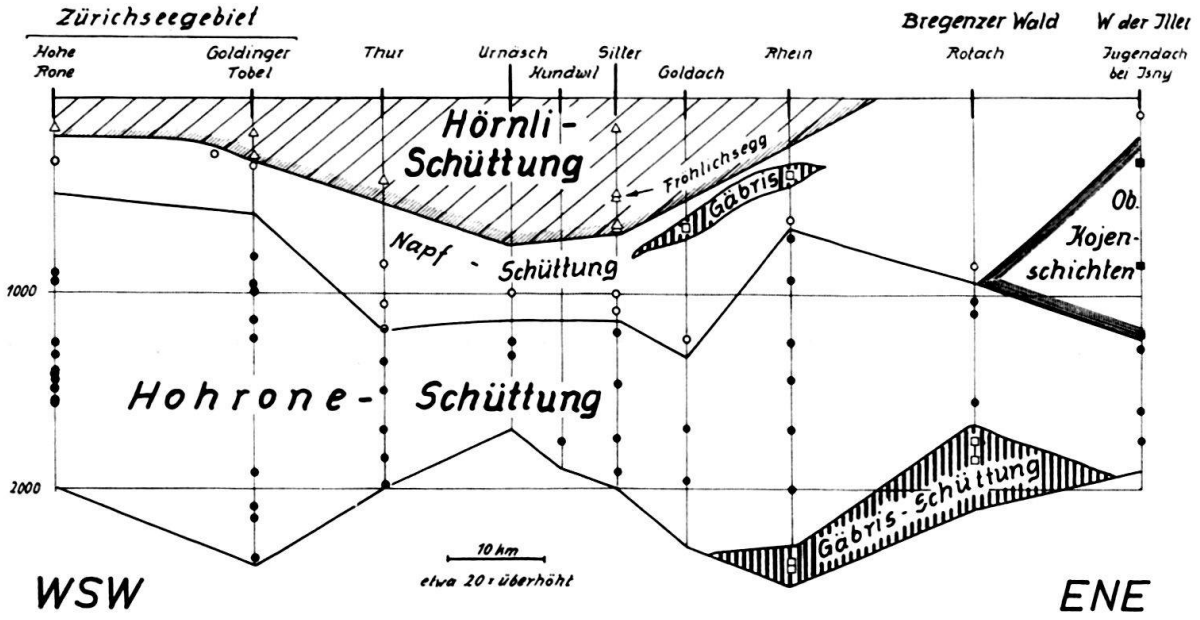

Fig. 13. *Längsprofil durch die Schüttungen* am aufgerichteten Südrand der Vorlandsmolasse (vorwiegend Aquitan) in der Ostschweiz. Es zeigt die Verzahnung der Granitischen Molassen (Punkte und Kreise) mit den südlichen Schuttfächern des Hörnli (Dreiecke), Gäbris (offene Quadrate) und Kojen (gefüllte Quadrate). Jedes Zeichen entspricht einer Probe.

Nach der Formel

$$T = t \cdot \sqrt{\frac{(v_1^2 + v_2^2 + \cdots v_n^2)}{n\,(n-1)}}$$

worin n = Probenzahl des betr. Kollektivs
v = Abweichung der Einzelmessung vom gefundenen Mittelwert
t (s. nachfolgende Tabelle!)

Tabelle 6. t-Tafel (aus MARSAL 1949)

$n-1$	Sicherheit 95%	99%	$n-1$	Sicherheit 95%	99%	$n-1$	Sicherheit 95%	99%
1	12,71	63,66	11	2,21	3,12	21	2,08	2,82
2	4,30	9,92	12	2,18	3,07	22	2,07	2,80
3	3,18	5,84	13	2,16	3,02	23	2,07	2,79
4	2,78	4,60	14	2,15	2,98	24	2,06	2,77
5	2,57	4,03	15	2,13	2,95	25	2,05	2,77
6	2,45	3,71	16	2,12	2,92	26	2,05	2,76
7	2,37	3,51	17	2,11	2,89	27	2,05	2,75
8	2,31	3,36	18	2,10	2,87	28	2,04	2,75
9	2,26	3,25	19	2,09	2,85	29	2,04	2,75
10	2,23	3,17	20	2,09	2,84	30	2,04	2,75

wurde berechnet, wie gross der Streubereich T um den *gefundenen* Mittelwert ist, in welchem der gesuchte, *wahre* Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 bzw. 99% liegt. In vielen Fällen jedoch waren die Unterschiede so evident, dass auf diesen Test verzichtet werden konnte. Es sind im folgenden nun alle diejenigen Eigenschaften genannt, durch welche sich die Schüttungen unterscheiden. In Klammern dahinter ist die obere bzw. untere Grenze des Streubereiches der Mittelwerte angegeben.

Napf unterscheidet sich von

Hohrone	durch	Granat (Evidenz)
		Epidot (Evidenz)
		undulöse Quarze (99% Sicherheit: Napf < 54; Hohrone > 64,3%)
Hörnli	durch	Feldspat (99% Sicherheit: Napf > 45,8; Hörnli < 30,4%)
		Hornstein (99% Sicherheit: Napf < 1; Hörnli > 3%)
		Karbonat (99% Sicherheit: Napf < 27,7; Hörnli > 42,2%)
		Calcit/Dolomit (Evidenz)
		Apatit/Zirkon (Evidenz)
Kronberg		Feldspat (99% Sicherheit: Napf > 45,8; Kronberg < 18,5%)
		Hornstein (Evidenz)
		Karbonat (Evidenz)
Kronberg-U	durch	Epidot (Evidenz)
Gäbris	durch	Feldspat (Evidenz)
		Hornstein (Evidenz)
		Karbonat (Evidenz)
		Granat (99% Sicherheit: Napf < 45,6; Gäbris > 54,2%)
Kojen	durch	Feldspat (Evidenz)
		Hornstein (Evidenz)
		Karbonat (Evidenz)
		Granat (Evidenz, s. Napf/Gäbris)
		Epidot (Evidenz)
		Staurolith (Evidenz)

Hohrone unterscheidet sich von

Hörnli	durch	Feldspat (Evidenz)
		Hornstein (Evidenz)
		Karbonat (Evidenz)
		undulöse Quarze (mit nicht ganz 95% Sicherheit: Hohrone > 64,3; Hörnli < 65,7%) (zu wenig Messungen!)
		Granat (Evidenz)
		Epidot (Evidenz)
Kronberg	durch	Feldspat (Evidenz)
		Hornstein (Evidenz)
		Karbonat (Evidenz)
		Granat (Evidenz)
Kronberg-O	durch	Epidot (Evidenz)
Gäbris	durch	Feldspat (Evidenz)
		Hornstein (Evidenz)
		Karbonat (Evidenz)
		undulöse Quarze (99% Sicherheit: Hohrone > 64,3; Gäbris < 59,7%)
		Rutil und Staurolith (99% Sicherheit: Hohrone < 9,5; Gäbris > 19,8%)
Kojen	durch	Feldspat (Evidenz)
		Hornstein (Evidenz)
		Karbonat (Evidenz)
		Staurolith (Evidenz)

Hörnli unterscheidet sich von

Kronberg	durch	Feldspat (99% Sicherheit: Hörnli > 19,6; Kronberg < 18,5%)
		Hornstein (95% Sicherheit: Hörnli < 11,1; Kronberg > 13,7%)
		Calcit (mit < 95% Sicherheit, d.h. unsicher)
Kronberg-U	durch	Epidot (Evidenz)
Gäbris	durch	Granat (99% Sicherheit: Hörnli < 36,6; Gäbris > 54,2%)
		Epidot (Evidenz)

Kojen durch Feldspat (99% Sicherheit: Hörnli > 19,6; Kojen < 14,2%)
Hornstein (99% Sicherheit: Hörnli < 12,4; Kojen > 15%)
Granat (Evidenz)
Epidot (Evidenz)
Staurolith (Evidenz)

Kronberg[4]) *unterscheidet sich von*

Gäbris durch Hornstein (95% Sicherheit: Kronberg > 13,7; Gäbris < 11,2%)
Granat (99% Sicherheit: Kronberg < 47,6; Gäbris > 54,5%)
Zirkon + Rutil + Turmalin (99% Sicherheit: Kronberg < 25; Gäbris > 36%)

Kojen durch Granat (99% Sicherheit: Kronberg < 47,6; Kojen > 50,6%)
Zirkon + Rutil + Turmalin (99% Sicherheit: Kronberg < 25; Kojen > 25,2%)
Staurolith (99% Sicherheit: Kronberg < 12,4; Kojen > 25,8%)

Gäbris unterscheidet sich von

Kojen durch Feldspat (99% Sicherheit: Gäbris > 14,2; Kojen < 14,6%, d.h. knapp)
Hornstein (99% Sicherheit: Gäbris < 12; Kojen > 14,7%)
Karbonat (99% Sicherheit: Gäbris < 55,5; Kojen > 57,2%)
Staurolith (99% Sicherheit: Gäbris < 18,9; Kojen > 25,8%)

Alle Merkmale, für welche in dieser Aufstellung Evidenz oder 99%ige Sicherheit angegeben ist, dürfen als statistisch gesicherte Unterschiede gelten; für die Kronbergschüttung ist allerdings einschränkend zu bemerken, dass die Probenzahl wahrscheinlich doch zu gering ist.

Auf fast allen Schüttungskärtchen ist der Calcit/Dolomit-Quotient im Vorland höher als in der Gefalteten Molasse. Dies beruht auf einem Sortierungseffekt, welcher schon in den Bausteinschichten festgestellt wurde (Fig. 7): Der Dolomit wurde vorwiegend in Sandkorngrösse, der Calcit auch pelitisch zugeführt. Daher wurde mit den feineren Sandsteinen des Beckenbereiches relativ mehr Calcit abgelagert als in den grossen Nagelfluhfächern am Alpenrand.

2.2.3.2. Chatt

Die Bausteinschichten werden von sehr fossilreichen, grauen, teilweise auch gelblichen, grünlichen oder bräunlichen Mergelsteinen überlagert, den «*Unteren Cyrenenschichten*» (s. z. B. Lemcke 1955, S. 18), deren maximale Ausdehnung in Fig. 14a dargestellt ist. Nach Grimm (1957) sind sie in Rieden 1 aus mehreren Zyklen (von unten nach oben) «marin-brackischer Mergelstein / limnisch-brakkischer Kalkstein / limnischer Stinkkalk / kohledurchstäubter Kalk» aufgebaut. Ihre Mächtigkeit beträgt im Norden 10 m, im Süden 50 m und nimmt gegen München vermutlich weiter zu. Sie entsprechen einem Rückzugsstadium des brackischen Bausteinschichten-Meeres, welches schon im obersten Teil der Bausteinschichten mit einem Erlahmen der Westschüttung begann (Abschn. 2.2.2.2.)

[4]) Es wurden nur die Proben 254–258 betrachtet.

Fig. 14. *Die Schüttungen der Unteren Süsswassermolasse.* Die Einordnung der Schüttungen in stratigraphische Einheiten ist im einzelnen hypothetisch (s. Abschn. 2.2.3.2. bezüglich Fig. 14c). Wo nichts anderes vermerkt ist, bedeuten dünne, durchgezogene Linien = Gesamtmächtigkeiten, dicke, durchgezogene Linien = Sandsteinmächtigkeiten, unterbrochene Linien = Mergelsteinmächtigkeiten. Punktierte Pfeile und Bänder = Schüttungen. Dicke Punkte = Bohrungen (s. Fig. 1). Die NE-Schüttung auf Fig. 14b bezeichnet die «Glassande»; die Formel gehört nicht zu diesen.

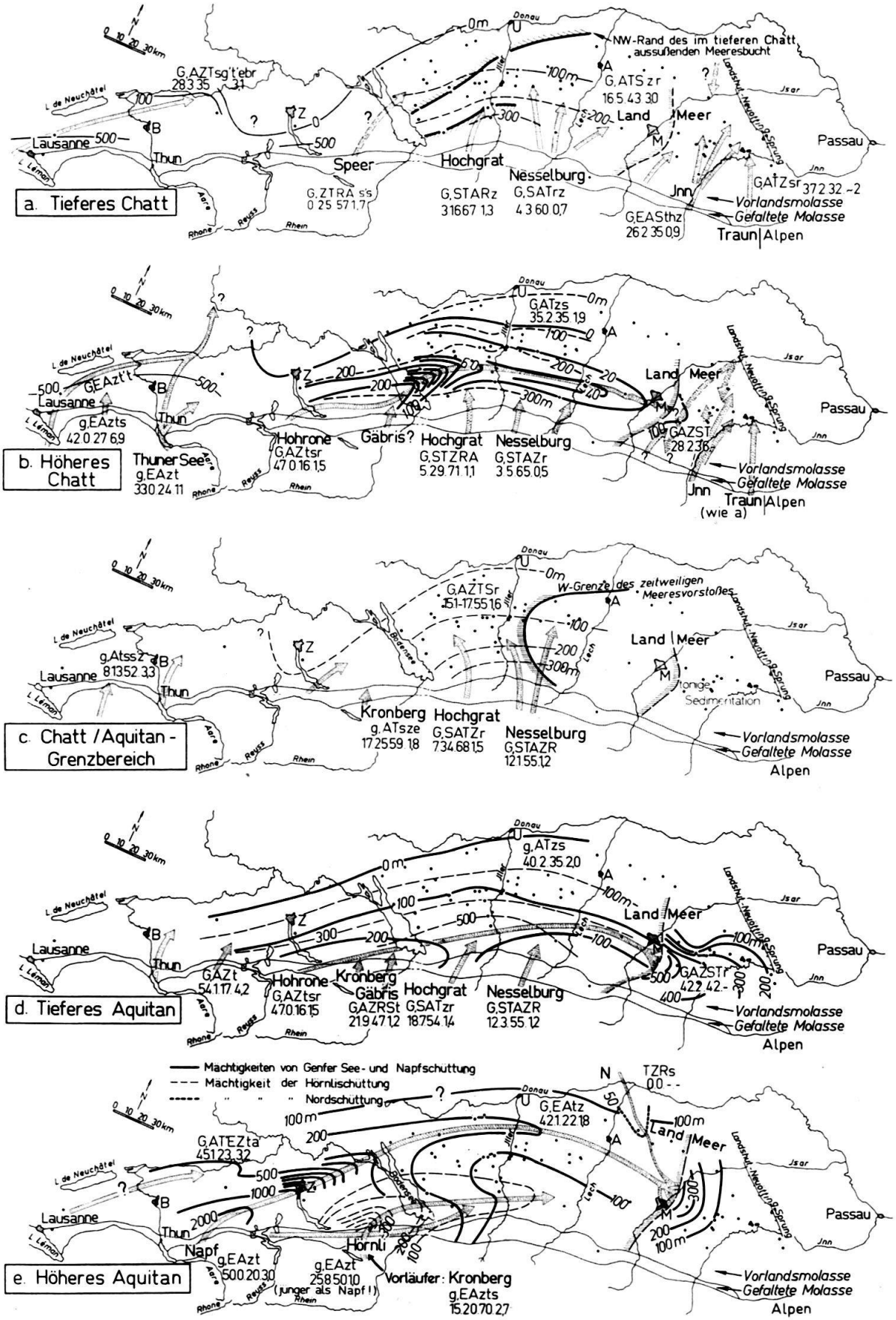
a. Tieferes Chatt
b. Höheres Chatt
c. Chatt / Aquitan - Grenzbereich
d. Tieferes Aquitan
e. Höheres Aquitan
Mächtigkeiten von Genfer See- und Napfschuttung
Mächtigkeit der Hörnlischuttung
Nordschuttung
NW-Rand des im tieferen Chatt aussußenden Meeresbucht
W-Grenze des zeitweiligen Meeresvorstoßes
Land
Meer
Lausanne
Thun
Speer
Hochgrat
Nesselburg
Passau
Hohrone
Gäbris
Kronberg
Napf
Hörnli
Vorläufer: Kronberg
Vorlandsmolasse
Gefaltete Molasse
Alpen
Traun
Donau
Rhein
Rhone
Jnn
Jsar
L. Léman
L. de Neuchâtel

Fig. 14 a-e

und stellenweise zur Entstehung kleiner Pechkohlenflöze (Echelsbacher Flöz, Scherstetten 1 (LEMCKE, 1955), Rieden 1, Schwabmünchen 1), in Siebnach 1 sogar zu einer Emersion mit Entstehung einer Kieselkruste auf den Bausteinschichten Anlass gab (GRIMM).

Der genannte Meeresarm erhielt damals Zufuhren von meist feinem Detritus aus dem dolomitreichen Nesselburgfächer und dem durch Staurolith und Hornstein charakterisierten Hochgratfächer. Diese Schuttfächer lieferten auch das Material der untersten, vorwiegend mergeligen, 50–250 m mächtigen Abteilung der Unteren Süsswassermolasse, welche sich durch höheren Staurolithgehalt und geringeren Zirkon- und Feldspatgehalt vom Hangenden unterscheidet. Der Sedimentationsraum erreichte zu dieser Zeit erstmals die Donau.

Im schweizerischen Alpenvorland wird das unterste Chatt durch die glaukophanführende, untere Aarwanger Molasse vertreten, welche nur mit den tiefsten Molasseschichten der Bohrung Chapelle 1 (LEMCKE, 1959) zu verbinden ist und sich demnach wahrscheinlich aus dem Genfersee-Gebiet herleitet (Fig. 14a). Östlich von Olten (VONDERSCHMITT & TSCHOPP, 1953) und südöstlich von Zürich (Bohrung Küsnacht 1, BÜCHI u. a. 1961) wurde zu dieser Zeit wahrscheinlich nicht sedimentiert, da die hier an der Molassebasis liegende Hohroneschüttung (Chatt/Aquitan) zeitlich etwa der Thunersee-Schüttung (s. u.) entspricht, welche jünger als die Aarwanger Molasse ist. Dieses Hochgebiet im Raum von Zürich legte sich den von Westen kommenden Schüttungen hemmend in den Weg: Möglicherweise bildete sich jetzt im Gebiet der Aarwanger Molasse ein Süsswassersee – das Vorkommen rotbrauner Biotite deutet auf nichtfluviatile Sedimentation hin. Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass die untere Aarwanger Molasse, welche wahrscheinlich den Basisschichten der Molasse in Chapelle 1 und damit möglicherweise dem Hangenden der rupelischen ? Grès de Vaulruz in Savigny 1 (LEMCKE, 1963) entspricht, ein zeitliches Äquivalent der Bausteinschichten zumindest östlich des Bodensees ist.

Noch deutlicher tritt die Wasserscheide in der Mittelschweiz auf dem Kärtchen 14b hervor. Zu dieser Zeit erreichte erstmals zentralalpiner Schutt an mehreren Stellen das Mittelland: Solche vor allem durch Epidot gekennzeichneten Schüttungen erscheinen am Rhoneaustritt (titanitführend), bei Bulle (staurolithführend) und am Aareaustritt (Thunersee-Schüttung). Es ist nicht ausgeschlossen, dass sie den Rahmen jenes hypothetischen Süsswassersees (s. o.) sprengten und einen Weg in den Rheintalgraben fanden, welcher nach VONDERSCHMITT & TSCHOPP (1953) seit dem Unteroligozän einsank. Auf die Möglichkeit einer derartigen Verbindung deuten auffallende petrographische Übereinstimmungen mit den chattischen «Bunten Niederröderner Schichten» der Bohrung Stockstadt 7 bei Darmstadt hin (s. auch Ende des Abschnittes 2.2.2.2.). Bis nach Delsberg ist diese Epidotfazies schon durch v. MOOS (1935) nachgewiesen.

Aus dem Gebiet des Zürichsees bahnte sich indessen das Flußsystem der Granitischen Molasse seinen Weg nach Osten (HABICHT 1945b). Die Sandsteine dieser sogenannten Hohroneschüttung (HOFMANN, 1957) sind durch hohen Apatit- und Feldspatgehalt sowie geringen Karbonatgehalt charakterisiert. Der untere Teil derselben wurde von ZÖBELEIN (1963) anhand von Landschnecken neuerdings ins Chatt eingestuft.

Die Schüttungen aus sedimentären Liefergebieten hatten demgegenüber im Chatt und Aquitan nur eine geringe Reichweite, wie man z. B. aus den Einlagerungen von Granitischer Molasse unmittelbar im Zentrum des Gäbrisfächers an der Strasse Bühler–Gais erkennt (Abschn. 2.1.14. und Fig. 13). Nur die Mergelsteine scheinen zumindest teilweise von jenen Schüttungen zu stammen, wie man aus ihrer Mächtigkeitsverteilung (s. voriger Abschnitt) und dem geringen Feldspatgehalt ihres (unter 1% liegenden) Sandanteils entnehmen kann (durch 9 Proben aus Scherstetten 1 belegt).

Fig. 14c zeigt eine vorübergehende Einschränkung der Hohroneschüttung: Zu dieser Zeit ist die Schüttung zwar in der Bohrung Küsnacht 1 bei Zürich nachzuweisen (Büchi u. Mitarb., 1961), gelangte aber nicht über den Bodensee hinaus nach Osten (s. auch Fig. 11).

Da die Beckensenkung jedoch andauerte, ermöglichte diese unzureichende Schuttzufuhr dem ostbayerischen Meer eine vorübergehende Transgression bis über die Iller hinaus. Nach Lemcke (1961, S. 280) erlahmten auch im marinen Bereich E München an der Chatt/Aquitangrenze die Sandzufuhren. Als mögliche Erklärung nennt Lemcke (l. c.) eine Umgestaltung des alpinen Gewässernetzes im Zusammenhang mit nachgewiesenen tektonischen Bewegungen. Die vorwiegend feinkörnigen Ablagerungen dieses Meeresvorstosses, die *Oberen Cyrenenschichten*, liegen nach Fahrion & Straub (1955) in Scherstetten 1 nahe der Grenze Chatt/Aquitan. Man wird sie daher stratigraphisch etwa gleichsetzen dürfen mit der in Ostbayern auf die Chattsande folgenden Tonmergelserie, in welcher die Chatt/Aquitangrenze mikropaläontologisch gut erkennbar ist. Oberhalb der Oberen Cyrenenschichten setzte die Hohroneschüttung wieder ein (s. u.). In Übereinstimmung hiermit wurde die Chatt/Aquitan-Grenze auch südlich des Zürichsees innerhalb der Hohroneschüttung festgestellt (Zöbelein 1963). Die gleichen Schüttungsverhältnisse blieben nach dem Zurückweichen des «Cyrenen»-Meeres noch für einige Zeit bestehen. Auch aus dem Gebiet des Genfersees ist brackisches oberes Chatt bekannt (Lit. bei Rigassi, 1957).

Hochgrat- und Nesselburgschüttung zeigen durch den stetig ansteigenden Feldspatgehalt (Fig. 14a–d) eine Veränderung im Liefergebiet an (s. hierzu Schiemenz, 1960). Im Nesselburgfächer nimmt auch das Calcit/Dolomitverhältnis zu, etwa gleichzeitig mit dem Auftreten der fast stets dolomitfreien Flyschsandkalkgerölle (Fig. 14c).

2.2.3.3. Aquitan

Im unteren Aquitan gewann die Hohroneschüttung ihre ursprüngliche Reichweite zurück, ja dieser Abschnitt zeigt sie auf dem Höhepunkt ihrer Ausstrahlung (Fig. 14d). Dabei begann sich eine Umgestaltung anzudeuten, welche schliesslich zu der Gefälleumkehr im oberen Miozän führte: Das im Chatt nur schwach abgesenkte Schweizer Mittelland nahm jetzt grosse Sedimentmächtigkeiten auf, z. B. in Küsnacht 1 ca. 1285 m Aquitan und ca. 300 m Chatt (Büchi u. Mitarb. 1961, S. 15) gegenüber ca. 325 m Aquitan und ca. 415 m Chatt in Scherstetten 1 (Fahrion & Straub, 1955). Das Gebiet östlich von Olten wurde dabei erstmalig in den Ablagerungsraum einbezogen. Demgegenüber wurde die Absenkung des westlichen deutschen Alpenvorlandes, in welchem zur Zeit der Bausteinschichten

und des Chatt kräftig sedimentiert worden war, nunmehr relativ schwächer. Die im vorigen Abschnitt erwähnte Einschränkung der Hohroneschüttung im obersten Chatt mag als erste Ankündigung jener Umgestaltung aufzufassen sein, deren Höhepunkt nach ELBERSKICH & LEMCKE (1953, S. 320) im Burdigal und später erreicht wurde.

In den beiden südlichen Bohrungen Tettnang 1 und Legau 1 finden sich in diesem Abschnitt einzelne Sandeinschaltungen, welche aus den südlichen, sedimentären Schuttfächern herzuleiten sind.

Im oberen Teil des Aquitan (Fig. 14e) blieb die Hohroneschüttung ohne erkennbare Ursache aus. Dafür häuften sich im Schweizer Mittelland die mächtigen Ablagerungen der epidotreichen Granitischen Molasse, der «Napfschüttung» (s. Abschn. 2.1.19) an. Diese wurde auf ihrem Weg nach Osten weniger als andere Schüttungen durch südliche Zuflüsse verdünnt, vermutlich deshalb, weil sie sich in einen nördlichen und einen südlichen Ast aufspaltete, deren letzterer die wohl schwachen Südzuflüsse abfing. Ein solches Bild ergibt sich aus der Mächtigkeitsverteilung am Alpenrand (Fig. 13).

Zu ganz ähnlichen Vorstellungen gelangte auch HOFMANN (1960, Fig. 2b). Er möchte allerdings den Austritt unserer «Napfschüttung» weiter nach Westen ins Thunersee-Gebiet verlegen. Auf Grund mangelnder Aufschlüsse westlich der grossen Emme kann diese Alternative noch nicht endgültig entschieden werden; die bei Schüpfheim gefundene Geröllführung scheint sich nach den Angaben von HAUS (1937) gegen W zumindest bis Schangnau nicht zu verstärken, so dass sich hieraus keine Argumente für eine weiter westliche Lage der Austrittsstelle gewinnen lassen. Als «Ur-Aare» aber lässt sich diese Schüttung auf jeden Fall auffassen (FÜCHTBAUER, 1954, HOFMANN, 1960). Sie ist möglicherweise die direkte Nachfolgerin der Thunersee-Schüttung.

Im Gebiet von Augsburg wurde dem Flußsystem Material von Norden zugeführt, welches durch Fehlen von Feldspat sowie durch die stabilen Schwerminerale Turmalin, Zirkon und Rutil charakterisiert ist. Die Mächtigkeit dieser *Nordschüttung* erreicht allerdings maximal nur 60 m (Aichach 1004).

In der Ostschweiz wird die Napfschüttung an scharfer Grenze von der zur Hörnlischüttung gehörenden «Oberaquitanen Mergelzone» (BÜCHI 1950) überlagert, welche sich durch einen höheren Karbonatgehalt und einen geringeren Feldspatgehalt von der Napfschüttung unterscheidet, entsprechend einer stärkeren Beteiligung von Dolomitgeröllen auf Kosten von Kristallingeröllen. Das Schwermineralbild ist infolge einer bemerkenswerten Konvergenz das gleiche: Das Hauptmineral Epidot geht nach Geröllunterschungen in der Napfschüttung auf saussuritisierte Granite, die Hauptkomponente der Geröllschnüre, in der Hörnlischüttung aber auf extrem epidotreiche Grüngesteine zurück, welche in nur geringer Zahl an den Nagelfluhen beteiligt sind. Gegen Osten zu verwischt sich der Unterschied zwischen Napf- und Hörnlischüttung allmählich, weshalb sie in der mittleren petrographischen Formel der Beckensedimente nicht getrennt wurden.

Der unterschiedliche Schwermineralgehalt der im übrigen recht ähnlichen «granitischen» Schüttungen des Napf und der Hohrone beruht fast nur auf

einer stärkeren Saussuritisierung der (jungkristallinen!) Granitkomponenten des Napf (s. Abschn. 2.1.19.) (Hohrone: Altkristallin?) und nicht, wie HOFMANN (1960) auf Grund des auffälligen Unterschiedes verständlicherweise vermutet, auf nichtgranitischen Gesteinen (kristallinen Schiefern) im Liefergebiet.

Den Abschluss der USM bildet in einigen Bohrungen (Siebnach 1 (GRIMM 1957, Beilage 5), Scherstetten 1 und Legau 1) ein 10–50 m mächtiges Paket von Sandsteinen, welche durch einen relativ geringen Feldspatgehalt und viel Staurolith und Apatit als Ausläufer südlicher Schüttungen charakterisiert werden. Eine besonders grosse Ähnlichkeit besteht zu dem Landburdigal des Hauchenberges (Pr. 132), etwa 20 km S Legau 1. Das weite Vordringen dieser Hochgratschüttung setzt eine Unterbrechung der bis dahin beherrschenden Westschüttungen voraus, die am einfachsten durch das Vordringen des «Burdigal»-Meeres von W bis zum Bodensee zu erklären wäre. Dann würde dieses oberste Paket der USM bereits ins «Burdigal» gehören.

2.2.4. *Marines Chatt und Aquitan in Ostbayern*

Östlich von München herrschte vom Beginn des Tertiärs bis ins Helvet hinein eine marine Sedimentation. Nach den Tagesaufschlüssen E von Rosenheim zu urteilen (Nr. 25–30), setzte hier schon im Rupel eine epidotführende Schüttung ein. Sie wurde im Chatt vieler Bohrungen als eine Folge von Fein- und Mittelsandsteinen angetroffen, welche sich von der epidotführenden Napfschüttung des Aquitan, aber auch von den z. T. chattischen Epidotschüttungen des Rhone- bis Thunersee-Gebietes sehr deutlich durch einen niedrigeren Feldspat- und höheren Karbonatgehalt, einen hohen Staurolithgehalt und vor allem das Vorkommen von Hornblende unterscheiden. Diese Schüttung kam ihrer Verbreitung nach aus der Gegend des heutigen Inntals und, wie Herr Dr. OSCHMANN (Mobil Oil, Celle) richtig vermutete (mündlich), auch des Prientals (Fig. 14a–b). Sie scheint im wesentlichen auf das Chatt beschränkt gewesen zu sein.

Im Gebiet von München erreichte der USM-Fluss das Meer. Seine marinen Deltasedimente (Fig. 14b, d und e) wurden im Chatt und Aquitan vieler Bohrungen (z. B. Landsham 1) mineralogisch nachgewiesen. Die Sandsteine entsprechen denjenigen der Unteren Süsswassermolasse, enthalten jedoch im Gegensatz zu dieser rotbraunen Biotit. In der USM wurden die Biotite gebleicht, vermutlich weil sie das häufige Trockenfallen im fluviatilen Bereich nicht vertrugen (FÜCHTBAUER, 1963). Daraus ergibt sich, dass ein beträchtlicher Teil des Sandes das Meer ohne subaerische Ruhepausen erreichte. Andererseits finden sich nach freundlicher Mitteilung von Herrn Dr. LANG in diesem Deltagebiet östlich München ähnlich buntgefleckte Mergelsteine, wie sie für die USM typisch sind. Da die bunten Farben vermutlich erst beim Trockenfallen im Überflutungsbereich entstehen, dürfte ein wesentlicher Teil der Mergelsteine des marinen Deltas aus aufgearbeiteten Überflutungssedimenten des fluviatilen Bereiches stammen.

Östlich der Innschüttung, vor allem in den Ampfinger Bohrungen, sind im Chatt Feinsandsteine eingeschaltet, welche denjenigen des USM-Deltas ähneln, ihrer Verbreitung nach aber wohl nicht von dort hergeleitet werden können (Fig. 14a). Wahrscheinlicher ist eine Zufuhr von Süden.

Im obersten Teil der Chattsande finden sich in vielen Bohrungen Sandlagen, die sich durch gröbere Körnung (ca. 0,17 mm), geringeren Gehalt an Karbonat, Feldspat und undulösen Quarzen (um 33%) sowie hohen Zirkongehalt und Beimengungen von Sillimanit, Monazit oder Andalusit von ihrer Umgebung unterscheiden. Sie ähneln den «Glassanden» der Gefalteten Molasse des Isar- und Ammergebietes (Abschn. 2.1.6. und 2.1.7.).

Die *Glassande* der Gefalteten Molasse wurden sedimentpetrographisch zuerst von ANDRÉE (1936) bearbeitet. Ihm fiel auf, dass der Schwermineralinhalt dieser Schichten von demjenigen der umgebenden Molassesedimente abweicht. Dabei konnte ein westliches, durch sehr hohen Zirkongehalt charakterisiertes Vorkommen (2.1.7.) von einem östlichen, durch Andalusit gekennzeichneten (2.1.6.) unterschieden werden. Da Andalusit in der alpinen Molasse fehlt, nahm ANDRÉE eine zumindest teilweise nördliche Herkunft dieser Sande an.

Inzwischen ergaben sich weitere Argumente für die Richtigkeit dieser Auffassung: Nach ZÖBELEIN (1940) ist Andalusit typisch für die sarmatischen Feldspatsande moldanubischer Herkunft in Ostbayern. Auch die Andalusit führende Graupensandrinne des Helvet wird ihren Ursprung im nordöstlichsten Teil Ostbayerns, vermutlich im Moldanubikum, gehabt haben (LEMCKE u. Mitarb., 1953).

Mögen auch manche Eigenheiten der Glassande, wie das Fehlen von Karbonat, der geringe Feldspatgehalt und der Reichtum an Schwermineralen, zum Teil mit der von ZIMMERLE (1963) auf Grund sedimentologischer Beobachtungen postulierten, intensiven Aufbereitung im Brandungssaum zu erklären sein, so erfordern doch drei Charakteristika die Annahme einer ausseralpinen Zufuhr: Das Vorkommen von Andalusit, die abweichenden Turmalinvarietäten (FÜCHTBAUER, 1958, Fig. 1) und der ungewöhnlich geringe Anteil undulös auslöschender Quarze (2.1.6./7.). Vor allem der letztere, aber auch der fehlende Karbonatgehalt zeigen, dass eine Vermischung mit alpinem Material kaum stattgefunden hat. Wie diese Glassand-Schüttung aus dem Bayerischen Wald das von den Alpen her belieferte, ostbayerische Meeresbecken unvermischt durchquerte, dafür gibt es im geologischen Schrifttum noch keine Hinweise.

Auch in den Ablagerungen jenes Meeresbeckens findet man, wie erwähnt, Einlagerungen von Glassanden, welche allerdings mit alpinem Material vermischt sind[5]). Zu dieser Zeit dürfte der «Glassandfluss» am Nordostufer des ostbayerischen Meeres gemündet haben.

Bei der weiteren Diskussion der Glassandverbreitung in der Ostmolasse empfiehlt es sich, den Ausdruck «Glassande» auf solche Sandsteine zu beschränken, die sich durch geringen (in Bohrungen) bzw. fehlenden (in Tagesaufschlüssen) Karbonatgehalt und durch die Zusammensetzung der Leicht- und Schwermineralfraktion von den umgebenden Sandsteinen auf die oben dargestellte Art unterscheiden. Wie weit es sich bei den von KRAUS & PAULUS (1962) als Glassande beschriebenen Kalksandsteinen nach diesen Einschränkungen wirklich um Glassande handelt, kann aus der genannten Arbeit nicht mit Sicherheit entnommen werden.

---

[5]) Solche Glassandlagen fanden sich im oberen Teil der Chattsande von Albaching 1, Ampfing 24 und C 27, Hohenlinden 1, Isen 1, Moosach 2 und 3 und Taufkirchen 1 (ANDRÉE 1937; hier in zwei 50 m auseinanderliegenden Schichten).

2.2.5. *Kurzer Abriss der jüngeren Molasse*

2.2.5.1. Obere Meeresmolasse («OMM»)

In der OMM blieb das schon von der USM bekannte Prinzip weiter wirksam, nach dem die sandige Sedimentation im Molassebecken von wenigen grossen Schüttungen aus kristallinen Liefergebieten bestritten wurde, während die Schüttungen aus sedimentären Liefergebieten nur örtliche Geröllschuttfächer aufbauten und eventuell Feindetritus ins Becken abgaben. Allerdings verwischten sich mit der Zeit die Unterschiede etwas:

In den sedimentären Schuttfächern mehrten sich Kristallingerölle, z. B. im «Landburdigal» am Hauchenberg (Hochgratfächer; (Pr. 132) nach SCHIEMENZ (1960) und – bereits seit dem Aquitan – im Kronbergfächer und dem ihn ablösenden Hörnlifacher. Dieser erreicht gleichzeitig mit seiner grössten Ausstrahlung in der OMM seinen höchsten Kristallingehalt (BÜCHI 1950, Fig. 1) und illustriert auf diese Weise das obengenannte Prinzip besonders gut. Zugleich erreicht der Feldspatgehalt in der Sandfraktion seine Höchstwerte.

Andererseits weist die kristalline Napfschüttung der OMM prozentual weniger Kristallingerölle (FRÖHLICHER 1933) und dementsprechend einen niedrigeren Feldspat- und höheren Karbonatgehalt auf (Pr. 328–334) als ihre Vorgängerin im Aquitan. Gleichzeitig aber zeigt sie, ebenso die Kronberg- und Hörnlischüttung, eine relative Zunahme von Grüngesteinsgeröllen.

Wie im einzelnen den von FÜCHTBAUER (1954, 1955) und HOFMANN (1957, 1960) gegebenen Schüttungskärtchen zu entnehmen ist, wurde im OMM-Becken sandiger Detritus sowohl von Westen als auch von Osten über weite Entfernungen transportiert. Diese Schüttungen – Napf- und Hörnlischüttung im Westen, eine aus Österreich kommende Schüttung im Osten – sind durch die Schwerminerale Epidot und Granat charakterisiert und unterscheiden sich durch das Auftreten von Hornblende in der Ostschüttung. Die von HOFMANN (1957) auf Grund des Glaukonitgehaltes für diese Sedimente angenommene Ablagerungstiefe von ca. 200 m erscheint angesichts der relativ groben Körnung (um 0,2 mm) zu gross, wenn man nicht ein kompliziertes System von Bodenströmungen annehmen will.

Nahe dem Südufer lässt sich sehr schön die Verzahnung dieser epidothaltigen Beckensedimente mit den epidotfreien, lokalen Südschüttungen (Bodensee- und Hochgratschüttung) studieren. So fand RENZ (1937b) im Bregenzer Wald und östlich von St. Gallen in den marinen Lagen stets einen starken Epidotgehalt, während die brackisch-limnofluviatilen Zwischenlagen epidotfrei waren. Auch im Schüttentobel bei Isny sind die lokalen Geröllschüttungen epidotfrei, die eingelagerten bräunlichen Sandsteine aber epidotreich (LEMCKE & GRAUL, 1955). Nach HOFMANN (1957) zeigen die Plattensandsteine der lokalen Südschüttungen in der aufgerichteten Molasse der Ostschweiz eine schlechtere Verrundung als die epidotführenden, meist grobkörnigeren Glaukonitsandsteine der weit transportierten Beckensedimente. Es wäre zu prüfen, ob dies nicht z. T. auf die Korngrössenunterschiede zurückzuführen ist, da gröbere Sandkörner im allgemeinen besser verrundet sind als feinere aus der gleichen Schüttung.

2.2.5.2. Obere Süsswassermolasse («OSM»)

Im Bodenseegebiet und östlich davon entstand noch in der OMM (HOFMANN, 1957) eine Schwelle mit Südwest-Nordost-Erstreckung, auf welcher sich in der Folgezeit (Süssbrackwassermolasse, LEMCKE u. Mitarb., 1953) der terrestrische Krustenkalk des «Albsteins» bildete. Sie gliederte im Norden die schmale «Graupensandrinne» ab, in welcher sich eine nach Westen gerichtete, fluviatile Schüttung herausbildete. In der gleichen Richtung entwickelte sich im Torton das mächtige, bis ins Pont hinein wirksame Flußsystem der OSM, welches das gesamte Molassebecken überzog und im Osten überwiegend aus Geröllen (BLISSENBACH, 1957), im Bodenseegebiet bereits nur noch aus «Glimmersanden» (HOFMANN, 1955) bestand. Dabei blieben nach LEMCKE u. Mitarb. (1953), FÜCHTBAUER (1954 und 1955) und HOFMANN (1957 und 1960) die Schüttungen der OMM in nur wenig veränderter Zusammensetzung weiter wirksam, jedoch reichten die Südschüttungen, die durch Granat, Zirkon, Apatit und Staurolith charakterisierte Bodenseeschüttung (HOFMANN 1957) und die durch Granat, Staurolith und Apatit charakterisierte Hochgratschüttung (LEMCKE u. Mitarb., 1953), wesentlich weiter nach Norden.

Zu dieser Zeit gab es nicht nur im Hegau, sondern auch an verschiedenen Stellen des Molassebeckens vulkanische Tufferuptionen (z. B. BÜCHI & HOFMANN, 1945, LEMCKE u. Mitarb., 1953, S. 73).

3. Petrographische Ergebnisse

3.1. Korngrösse, Karbonatgehalt, Porosität und Diagenese

3.1.1. *Ampfinger Sandstein*

Der unteroligozäne Ampfinger Sandstein ist ein mittel- bis grobkörniger, feldspatführender Sandstein mit calcitischen Fossiltrümmern. Wie bereits im Kapitel 2.2.1.2. erwähnt wurde, ist er von der unmittelbar nordöstlich gelegenen Landshut-Neuöttinger Schwelle (s. z. B. Fig. 14) herzuleiten. Der Transportweg war dabei

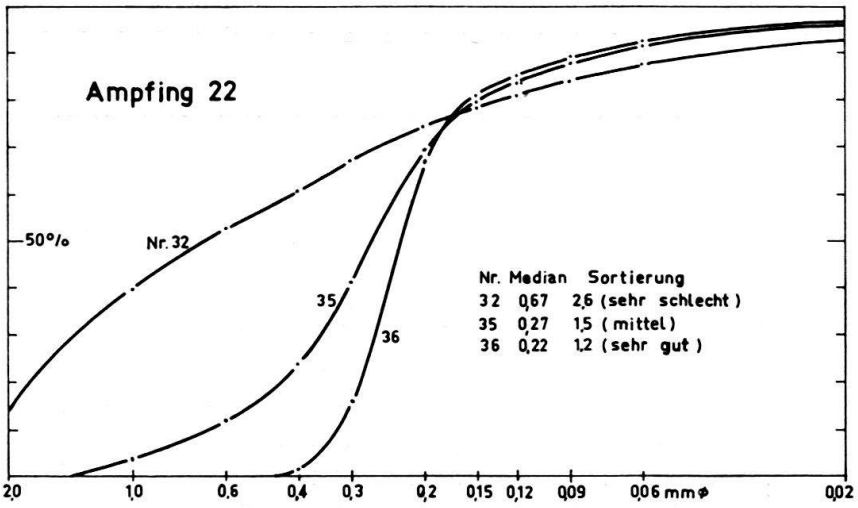

Fig. 15. *Ampfinger Sandstein;* drei Summenlinien. Die feineren Proben lassen sich aus der gröberen durch Transportauslese ableiten.