

Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken

Autor(en): **Hofmann, Franz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bericht über die Tätigkeit der St. Gallischen
Naturwissenschaftlichen Gesellschaft**

Band (Jahr): **76 (1956-1958)**

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-832793>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

MATERIALHERKUNFT,
TRANSPORT UND SEDIMENTATION
IM SCHWEIZERISCHEN
MOLASSEBECKEN*

von
FRANZ HOFMANN

mit 3 Figuren im Text

* Akademische Antrittsvorlesung, gehalten am 9. Januar 1960, an
der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.

INHALTSVERZEICHNIS

Allgemeine Charakterisierung der schweizerischen Molasse	53
Der Begriff Molasse	53
Stratigraphische Stellung und Gliederung der Molassezeit	53
Fazies und Gesteine der Molasse	53
Die untere und obere Meeresmolasse	56
Die Ablagerungen der unteren und oberen Süßwassermolasse	57
Der Ablauf der Molassesedimentation	58
Die untere Meeresmolasse	58
Die untere Süßwassermolasse	59
Die obere Meeresmolasse	64
Die obere Süßwassermolasse	68

Verzeichnis der Figuren im Text

Fig. 1: Gliederung und Ausbildung der schweizerischen Molasse	54
Fig. 2: Entwicklung der Sedimentation im schweizerischen Molassebecken zur Zeit der unteren Süßwasser- und der oberen Meeresmolasse	62
Fig. 3: Entwicklung der Sedimentation im schweizerischen Molassebecken zur Zeit der oberen Süßwassermolasse	71

EINLEITUNG

Die nachstehend dargestellte Übersicht der Entwicklung der Sedimentation im schweizerischen Molassebecken ist in erster Linie das Resultat sedimentpetrographischer und feldgeologischer Untersuchungen des Verfassers, die in einer Reihe von Publikationen (siehe Literaturverzeichnis) ihren Niederschlag gefunden haben und nicht zuletzt auch durch technologische Untersuchungen an schweizerischen Sanden beeinflußt waren. Außerordentlich anregend waren die grundlegenden Arbeiten von H. FÜCHTBAUER aus der erdölgeologischen Exploration der bayrischen Molasse; sie vermittelten für eine Reihe von Vorgängen unentbehrliche Daten aus dem Gebiet östlich des Bodensees, ohne die eine Interpretation der Erscheinungen im schweizerischen Alpenvorland, besonders im Fall der beckenaxialen Flußsysteme oft schwierig gewesen wäre. Eine wichtige Basis bildeten aber auch frühere Untersuchungen sedimentologischer Richtung im schweizerischen Molassegebiet, insbesondere jene von A. VON MOOS (1935), K. KLEIBER (1937), H. H. RENZ (1937), E. GEIGER (1943), H. TANNER (1944), K. HABICHT (1945), J. SPECK (1953), R. TRÜMPY und A. BERSIER (1954). Andererseits ergaben sich zahlreiche neue Gesichtspunkte aus dem über 15 Jahre zurückreichenden regen Gedankenaustausch mit Herrn Dr. U. BÜCHI (Zürich). Einen Markstein in der Geschichte der Erforschung der Beziehungen zwischen Alpenfaltung und Vorlandsmolasse hat RUDOLF STAUB (1934) mit seiner «Alpinen Morphologie» gesetzt. Nicht vergessen sei aber auch die weit zurückreichende Vorarbeit der st. gallischen Molassepioniere, die mit den Namen A. LUDWIG und F. SAXER und mit der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft ganz allgemein verbunden ist, der der Verfasser auch für die Aufnahme der vorliegenden Arbeit in ihr Jahrbuch ganz speziell danken möchte.

ALLGEMEINE CHARAKTERISIERUNG DER SCHWEIZERISCHEN MOLASSE

Der Begriff Molasse

Die schweizerische Molasse ist die Ausfüllung des orogenen Vorlandtroges des Alpengebirges durch fluviatil aus verschiedenen Richtungen zugeführten, meist aber aus alpinen Deltas stammenden Abtragungsschutt. Die Molassesedimentation verlief synchron mit den letzten, postgeosynklinalen Phasen der Gebirgsbildung und ist fast ausschließlich klastischer Natur und in direktester Weise mit den Bewegungsvorgängen des alpinen Rücklandes verknüpft.

Stratigraphische Stellung und Gliederung der Molassezeit

Innerhalb der geologischen Zeitrechnung gehört die Molasseformation ins mittlere bis obere Tertiär (Oligozän bis Pliozän); die Details gehen aus Fig. 1 hervor. Für die Ablagerung der Molasse stand ein Zeitraum von etwa 20 bis 30 Millionen Jahren zur Verfügung.

Die vernünftigste und beste Stufeneinteilung der Molasse ist jene in untere und obere Meeres- und in untere und obere Süßwassermolasse nach Fig. 1, S. 54. Die konkreten stratigraphischen Stufen vom Rupélien bis zum Pontien sind nur ungefähr abzugrenzen, weil sichere, vor allem marine Leitfossilien normalerweise fehlen. Um so klassischer ist aber der zweimalige Wechsel zwischen Meeres- und Süßwassermolasse, dessen Ursache und Auswirkungen im Folgenden nachgegangen werden soll.

Fazies und Gesteine der Molasse

Ganz im Gegensatz zu den Alpen und zum vortertiären Jura finden wir im schweizerischen Molassegebiet keinerlei geosynklinale Kalke, Dolomite, Tone oder Schiefer als Ablagerungen der Schelfzone oder des offenen Ozeans. Der weitaus größte Teil der Molasse besteht aus fluviatil zugeführten, mehr oder weniger verfestigten mechanischen Trümmergesteinen, aus verfrachtetem und durch den Transport aufbereitetem alpinem Schutt von der Kiesfraktion bis

Fig. I

Gliederung und Ausbildung der schweizerischen Molasse

Hauptabteilungen	Formationszugehörigkeit im Tertiär		Ausbildung der wichtigsten Ablagerungen und besondere Erscheinungen	Hauptnagelfluhschuttfächer von Ost nach West
Obere Süßwassermolasse	Pliozän	Pontien Sarmatien Tortonien	Nagelfluhdeltas von Süden (alpin) und von Norden (jurassisch); Überschwemmungsab-lagerungen mit eingelagerten sandgefüllten Strombettrinnen ehemaliger Flußsysteme. Relativ selten Einlagerungen von See-, Teich- und Moorsedimenten. Vulkanische Eruptionen im Hegau, im Unterseegebiet und in der Ostschweiz.	Bodensee-Schuttfächer Hörnli-Schuttfächer Hegau-Schuttfächer Napf-Schuttfächer
Obere Meeresmolasse	Miozän	Helvétien Burdigalien	Vorwiegend sandige Flachmeerablagerungen. Einlagerungen von Muschelbänken (Seelaffen, Muschelsandstein) und von wattenmeerischen Schiefermergeln. Im Süden festländische alpine Nagelfluhdeltas der einmündenden Flüsse. Im Norden beginnende Entwicklung von Flußdeltas. Verkieselungserscheinungen.	Bodensee-Schuttfächer Hörnli-Schuttfächer Napf-Schuttfächer Guggisberg- und Gibloux-Schuttfächer
Untere Süßwassermolasse	Oligozän	Aquitanien Stampien Chattien	Nagelfluhdeltas von Süden. Überschwemmungsablagerungen mit eingelagerten sandgefüllten Strombettrinnen ehemaliger Flußsysteme. Relativ selten Einlagerungen von See-, Teich- und Moorsedimenten. Stellenweise Erdölprägnationen.	Gäbris- und Kronberg-Schuttfächer Schuttfächer der Hohen Rone Speer-Schuttfächer Rigi-Schuttfächer Honegg-Thunersee-Schuttfächer Mt-Pélerin-Schuttfächer
Untere Meeresmolasse	Oligozän	Rupélien	Flyschartige Meeresablagerungen: meist blaugraue, schiefrige Mergel, plattige, feinkörnige Sandsteine, seltener Muschelbänke. Das Rupélienmeer entspricht dem alpinen Flyschrestmeer vor dessen Überfahung durch die alpinen Decken.	Noch keine alpinen Nagelfluh-Schuttfächer

zu den Peliten. Auch in den Perioden, da das Meer das alpine Vorland überflutete, entstanden praktisch ausschließlich Sedimente aus fluviatil eingeschwemmtem Material. Fig. 1 gibt eine Übersicht über die Gesteine der Molasse.

Art und Menge der klastischen Materiallieferung eines Schutt-fächers hingen in entscheidender Weise vom Einzugsgebiet ab. Be-tont karbonatische alpine Zonen (Kalke und Dolomite) lieferten sehr viel Geröll von hoher Transportresistenz, aber verhältnismäßig kleine Anteile an Sanden, die dann meist karbonatarenitisch sind (Hörnlichüttung). Kristalline Gebiete hingegen produzierten sehr große Mengen an Sanden, aber relativ kleine Anteile an Geröllern; kristalline Schiefergebiete im besonderen konnten unter Umständen sehr viel (in diesem Fall glimmerreichen) Sand, aber oft kaum Ge-rölle liefern.

Sand entsteht aber bei weitem nicht nur aus dem Abrieb von Ge-röllern, sondern in sehr vielen Fällen durch Verwitterung und Ab-trag von bereits als Sandstein vorliegenden Schichten durch bloße Umlagerung, oft auch durch Schlämmung sandiger Mergel, wobei in beiden Fällen kaum eine Geröllzwischenstufe entsteht. Die ge-steinsmäßige Zusammensetzung eines Nagelfluhschutfächers kann also ein sehr einseitiges Bild vom Einzugsgebiet eines Flusses ver-mitteln; sie enthält nur die transportresistenten Gerölle.

Auf ein sehr interessantes und bedeutsames Phänomen hat F. SAXER (1952) aufmerksam gemacht: Eine Betrachtung der Korn-größenverteilung in der Molasse zeigt, daß zum Beispiel in einem Nagelfluhschutfächer sowohl Sande wie Geröllagen vorkommen, daß aber beide Gruppen korngrößenmäßig deutlich getrennt sind: die Sande liegen praktisch ausschließlich *unter* 1 mm Durchmesser, die Geröllhorizonte *über* 10 mm Durchmesser. Es fehlt die Zwischen-fraktion 1 bis 10 mm. Diese auch bei andern fluviatilen Systemen sehr deutliche Erscheinung erklärt SAXER durch einleuchtende geo-metrische Überlegungen und mengenmäßige Betrachtungen der durch den Geröllabrieb entstehenden Sandmengen. Zweifellos spielt auch die stete rasche Verschwemmung des in einem geröllführenden Flußsystem durch mechanische Schlagwirkung entstehenden Sandes eine Rolle. Den weniger schnell transportierten Geröllmassen kommt die Wirkungsweise einer kontinuierlichen Kugelmühle gleich, die in erster Linie die fehlende Fraktion 1 bis 10 mm bean-sprucht und zur Sandkorngröße eliminiert, die laufend weggewa-

schen wird. Eine Ausnahme können ausgesprochene, reinrassige Quarzitschotter bilden.

Der kurze Transportweg aus dem alpinen Erosionsgebiet ins Vorland und die rasche und schwebende fluviatile Verschwemmung begründen eine mineralogisch stets schlechte Aufbereitung der Molassesande. Je nach den erodierten alpinen Serien sind an der Kornzusammensetzung mehr oder weniger große Mengen an Gesteinsbruchstücken, an Kalk-, Dolomit- und Feldspatkörnern, Glimmer und Schwermineralien beteiligt, und der Quarzkornanteil kann sehr gering sein. Die meisten Molassesandsteine wären demnach nach moderner Nomenklatur (H. FÜCHTBAUER, 1959) Grauwacken oder Karbonat-Arenite oft sehr komplexer Zusammensetzung. Es sind klassische Beispiele des orogenen, unausgereiften Sandtypus. Dies gilt weitgehend auch für die marinen Molassephasen, deren Verhältnisse für eine wesentliche mineralogische Aufbereitung nicht ausreichen. Immerhin war die mechanische Scheuerwirkung bei marinem Strömungstransport stärker und die Kornrundung besser als beim schwebenden, raschen Flußtransport, der in der Tat auch nach vielen hundert Kilometern keine wesentliche Kornrundung zustande brachte.

Die untere Meeresmolasse ist noch weitgehend flyschartig ausgebildet und noch nicht typisch molassisch. Noch mündeten keine Alpenflüsse ins Flyschrestmeer, in dem die Ablagerungen des Rupélien entstanden. Demgegenüber ist die *obere Meeresmolasse* ganz ausgesprochen vom Charakter der eigentlichen Molassesedimentation geprägt. Ihre Gesteine sind weitaus vorherrschend sandig, oft lose, in der alpennahen Zone aber häufig zu Sandsteinen verfestigt. Diese sandigen Sedimente entstanden aus Material, das durch die einmündenden Flüsse zugeführt und nachher durch oft sehr bedeutende Meeresströmungen verfrachtet wurde. Mergel konnten sich unter diesen Umständen nur sehr selten absetzen, hingegen trifft man oft über weite Distanzen transportierte Gerölle. Wattenmeerische Verhältnisse konnten sich nur bei geringer mariner Strömung, vor allem in den Küsten- und Schwellengebieten des an sich wenig tiefen Meeres bilden; die Schiefermergel, sandig-kalkig-mergelige Ablagerungen im oberen Teil der oberen Meeresmolasse, entstanden unter solchen Verhältnissen. Sehr charakteristisch sind die stets ebenfalls erheblich strömungsverschwemmten Anhäufungen von Muschelschalen in Form von Muschelsandsteinen, Seelaffen und Grobkalken.

Die *Ablagerungen der unteren und der oberen Süßwassermolasse*, die anteilmäßig an der Ausfüllung des alpinen Vorlandtrogens den dominierenden Anteil haben, entsprechen sich in Fazies und Gesteinscharakter völlig. Der Name «Süßwassermolasse» darf aber nicht zur längst widerlegten Auffassung führen, es habe sich anstelle des Molassemeeres jeweils einfach ein riesiger Süßwassersee im Alpenvorland gebildet, das Meer sei «ausgesüßt». Wirkliche Süßwasserbildungen, wie sie in Seen und Tümpeln entstehen können, sind in den Süßwassermolassen außerordentlich selten. Im wesentlichen bestand das Alpenvorland zu jenen Zeiten aus einer mehr oder weniger steppenartigen Festlandebene, aufgebaut aus flachen, aus dem Gebirge aufgeschütteten Deltas, die sich oft gegenseitig überschneiden, von zahlreichen Flußläufen durchzogen waren und periodisch überschwemmt wurden. Starke Hebungs- und Überschiebungsphasen im alpinen Rückland bewirkten jeweils verstärkte Erosion im Rückland und zweifellos auch tektonisch bedingte Schutthanhäufungen. Diese im Gebirgsbau und dessen Bewegungsmechanismus bedingten Faktoren führten zusammen mit den wohl ebenso bedeutenden meteorologischen Einflüssen (niederschlagsreiche und trockenere Perioden) zu einer mehr oder weniger zyklischen Sedimentation des wegtransportierten alpinen Erosionsmaterials. Während langer Ruheperioden gruben sich die Flüsse durch das bereits aufgeschüttete Vorland und schufen komplizierte Stromsysteme. Stärkere Materialschübe hingegen schotterten große Mengen an Kiesmaterial in den Deltazonen auf, überfluteten weite Gebiete über die normalen Uferzonen der Flüsse hinaus und lagerten über weite Flächen große Sand- und Schlammengen ab. Die Bildung großer Mengen an pelitischen Überschwemmungssedimenten hing nicht nur von der Transportkraft der Flüsse ab, sondern weitgehend auch vom Einzugsgebiet selbst. Nur Flyschserien, mergelige, tonige und tonschieferige alpine Gebiete konnten die großen, mehr oder weniger karbonatischen, oft mächtigen Serien von Molassemergeln geliefert haben.

Sande wurden während verhältnismäßig ruhiger Phasen in respektablen Stromsystemen oft über Hunderte von Kilometern aus dem Einzugsgebiet in der Längsachse des Molassebeckens verfrachtet und bilden heute Ausfüllungen der ehemaligen Strombettrinnen, die von den jeweiligen Hauptsammelströmen des Alpenvorlandes zeugen.

In ausgesprochenen Ruheperioden blieben auf dem Vorland da und dort Tümpel und alte Flußrinnen übrig, in denen sich geringmächtige, wirkliche Süßwasserbildungen entwickeln konnten (Seekreiden, Süßwasserkalke, Seetone) und die auch echte Süßwasserfossilien führen. Aus stellenweise sich entwickelnden Torfmooren entstanden Molassekohlen. Die für die Bildung einer hinreichenden Menge an Torf oder auch an Seekreide benötigte Ruhezeit beweist sehr deutlich, wie lange überschwemmungsfreie Perioden dauern konnten. Auf dem weitaus dominierenden Festlandgebiet lebten nur Landorganismen, erhalten in Form von Landschneckengehäusen und seltenen Wirbeltierknochen, häufiger noch von Pflanzenabdrücken.

DER ABLAUF DER MOLASSESEDIMENTATION

Nachfolgend soll versucht werden, den zeitlichen Verlauf der Molassesedimentation auf Grund der neuesten sedimentpetrographischen Erkenntnisse darzustellen. Aus dem Charakter der Molasse als Ablagerungsschutt des werdenden Alpengebirges ergibt sich von selbst, daß sich in der Sukzession der Sedimente des Vorlandtroges das Geschehen im alpinen Rückland widerspiegeln muß (siehe besonders auch R. STAUB, 1934). Allein schon die Betrachtung der gewaltigen Mächtigkeiten der Molasse (in Alpennähe um die 5 km) zeigt, welche riesigen Mengen an Material in den Alpen zur Molassezeit schon abgetragen wurden, wobei davon noch lange nicht alles in Form von Molassebildungen sedimentiert wurde. Diese gewaltige alpine Erosion erklärt es, daß es oft schwierig hält, die Komponenten der Alpenvorlandmolasse in den Alpen konkret beheimaten zu wollen.

Die untere Meeresmolasse

Vor der Oligozänüberschiebung der alpinen Decken und dem damit verbundenen Beginn der eigentlichen Molassesedimentation zu Anfang der unteren Süßwassermolasse bildete das heutige schweizerische Mittelland die Grenzzone zwischen dem alpinen Flyschmeer und einem Festland im Norden davon. Es war der gleiche prämolassische Kontinent, auf dem zur Eozänzeit und vielleicht schon vorher die Siderolithbildungen (Bohnerze, Huppererden, Bolustone)

als lateritische, durch tropisch-humides Klima bedingte Rückstandssedimente entstanden waren. Zur Zeit des Rupélien wurde dieses Flyschmeer durch die vorrückende alpine Deckenfront immer mehr eingeengt, aber noch nicht überfahren. Die Festlandbarriere trennte dieses Flyschrestmeer von einem Binnenmeer in der oberrheinischen Tiefebene, dessen Ablagerungen bei Basel und bis ins Gebiet von Delsberg nachweisbar sind. Auf dem nördlichen Festland selbst aber herrschten zu jener Zeit wüstenhafte Verhältnisse bei trockenem Klima (Wüstenbildungen in der Gegend von Schaffhausen, F. HOFMANN, 1960).

Die marinen Ablagerungen der unteren Meeresmolasse selbst sind nur längs des Alpenrandes anzutreffen; denn sie keilen ja an der genannten Küstenlinie unter der Molassefüllung des schweizerischen Mittellandes aus. Es sind meist blaugraue, tonig-schiefrige Gesteine und feinkörnige, dünnplattige Sandsteine, die hie und da Meeresmuscheln enthalten und im Entlebuch eine reiche Fischfauna geliefert haben. Diese Ablagerungen («Horwer Platten», «Vaulruz-Sandsteine», «Cyrenenmergel») erinnern in Fazies und Lithologie außerordentlich stark an die wattenmeerischen Schiefermergel; wenn die Materialzufuhr auch nicht ganz gleichartig gewesen sein kann, so doch Meerescharakter und Sedimentationsverhältnisse, wenigstens zeitweilig.

Die untere Süßwassermolasse

An der Wende von der unteren Meeres- zur unteren Süßwassermolasse ließ die mächtige oligozäne Hauptschubphase den letzten Rest des Rupélienmeeres – wenigstens auf schweizerischem Gebiet – verschwinden. Eine mächtige Gebirgsfront aus ostalpinen Decken und ihren westlichen Äquivalenten (Klippen und Präalpen) bildete ein stark betontes Relief im alpinen Rückland, das auch sofort zur Bildung der ersten, typisch molassischen Entwässerungs- und Deltasysteme führte. Verwitterung, Abtrag und Transport setzten ein, die eigentliche Molassesedimentation begann.

Naturgemäß wurden zuerst die Sedimentkomplexe der vorgeschobenen alpinen Decken abgetragen. Entsprechend bestehen die Gerölle der Nagelfluhen der ältesten Molasseschuttfächer aus ost- und präalpinen mesozoischen Sedimenten und zugehörigen, transportresistenten Flyschgesteinen, aber meist nur geringen Kristallin-

anteilen von ebenfalls ostalpiner Prägung (J. SPECK, 1953, R. TRÜMPY und A. BERSIER, 1954).

Die mächtigsten Nagelfluhschutfächer zur Zeit des unteren Teils der unteren Süßwassermolasse (\pm Chattien) waren jene des *Speers* und des *Rigigebietes*, weiter westlich die etwas weniger bedeutenden Nagelfluhkomplexe des *Emmental-Thunersee-Gebietes* (Honegg) und des *Mont Pélerin*. Am Rigi und Speer erreichen die aufeinander sedimentierten Nagelfluhbänke Mächtigkeiten von über 3 km. Diese heute erkennbaren Nagelfluhblöcke der ältesten unteren Süßwassermolasse entsprechen den Stellen, wo zu jener Zeit große Flußdeltas ins Vorland austraten. Am Einzugsgebiet waren – wie bereits ange-tönt – zu einem großen Teil die sedimentären, präalpinen Deckenmassen, insbesondere die Simmendecke, beteiligt, die zu jener Zeit über der zentralalpiner Kulmination schon erheblich abgetragen wurden. Sie zeugen von starken Hebungstendenzen mit entsprechender Erosion über dem Gebiet der heutigen schweizerischen Massivschwelle, während weiter im Osten die Decken weit besser vor Erosionseinflüssen geschützt blieben und demzufolge auch nicht zur Bildung derart gewaltiger Schuttdeltas wie im schweizerischen Vorland führten. Natürlich hält es gerade bei diesen ältesten Schutfächersystemen schwer, die ursprünglichen Verhältnisse zu reproduzieren; denn sowohl innerhalb der Alpen wie in der subalpinen Molassezone selbst fanden nachher noch ganz bedeutende Zusammenschübe und Abtragungsprozesse statt. Wenn man diese Tatsachen nicht im Auge behält, kann ein Blick auf die heutige Landkarte zu falschen Schlüssen führen.

Die Untersuchungen von H. FÜCHTBAUER haben ergeben, daß von den schweizerischen, chattischen Schutfächern gelieferte Sande durch ein beckenaxial von West nach Ost verlaufendes Sammel-Stromrinnensystem bis weit nach Bayern verfrachtet wurden, woran in erster Linie westschweizerische Schüttungen beteiligt waren.

Die weitgehende Bedeckung der älteren Schichten der unteren Süßwassermolasse durch jüngere Molasse und die starke tektonische Zerquetschung und Überfahung der subalpinen Zone erlauben nur einen sehr lückenhaften Einblick in die Schüttungsverhältnisse zur Zeit des Chattien (Fig. 2 a, S. 62).

Im oberen Teil der unteren Süßwassermolasse, zur Zeit des Aquitaniens im weitern Sinne also, sind die Sedimentationsverhältnisse schon weit flächenhafter überblickbar. Das System der aus den

Alpen austretenden Entwässerungsdeltas hatte sich erheblich verändert. Bestehen blieb der große zentralschweizerische Nagelfluhfächer, der sich aus der Rigi- zur Hohronenschüttung entwickelte und bis zum Ende der oberen Süßwassermolasse eine dominierende Rolle spielte. Das Deltasystem des Speerfächers verlagerte sich etwas nach Osten ins Gebiet des Appenzellerlandes und läßt deutlich zwei Parallel-Geröllschüttungen erkennen, jene des *Kronbergs* und des *Gäbris*. Westlich des Vierwaldstättersees sind nur mehr wenige Anzeichen von Schuttfächern zu erkennen (*Bäuchlen*-Fächer zwischen Entlebuch und Emmental), und in einem großen Teil der subalpinen Molasse westlich der großen Emme kommt der obere, also \pm aquitane Teil der unteren Süßwassermolasse aus tektonischen Gründen überhaupt nicht mehr zum Vorschein. Tatsache ist aber, daß auch weiter im Westen bedeutende Flußsysteme aus den Alpen ausgetreten sein müssen (erkennbar an den gut aufgeschlossenen Schichten der unteren Süßwassermolasse des westschweizerischen und bernischen Mittellandes) und große Mengen an Sanden und Mergeln geliefert haben. Ein Hauptsystem muß u. a. jenes der schon im Chattien tätigen Ur-Aare gewesen sein. Nagelfluhen lassen sich nicht nachweisen; es ist aber sehr wahrscheinlich, daß bedeutende westschweizerische alpine Entwässerungsdeltas existierten, die – bedingt durch Topographie und Material des Einzugsgebietes – vorwiegend sandige und schlammige Sedimente lieferten.

Das Nagelfluhdelta der *Hohen Rone* zeigt uns bei der Betrachtung der Geröllkomponenten (siehe K. KLEIBER, 1937), daß nicht mehr sedimentäre ost- und präalpine Gerölle dominieren, sondern daß rund die Hälfte aller Komponenten aus kristallinen Gesteinen besteht, vor allem aus roten und grünen Graniten und verwandten Gesteinen, die den Charakter des unterostalpinen Kristallins zeigen. Offenbar hatte die Erosion in den Alpen die ost- und präalpinen Deckenkomplexe bis auf einen betont granitischen Kern durchsägt.

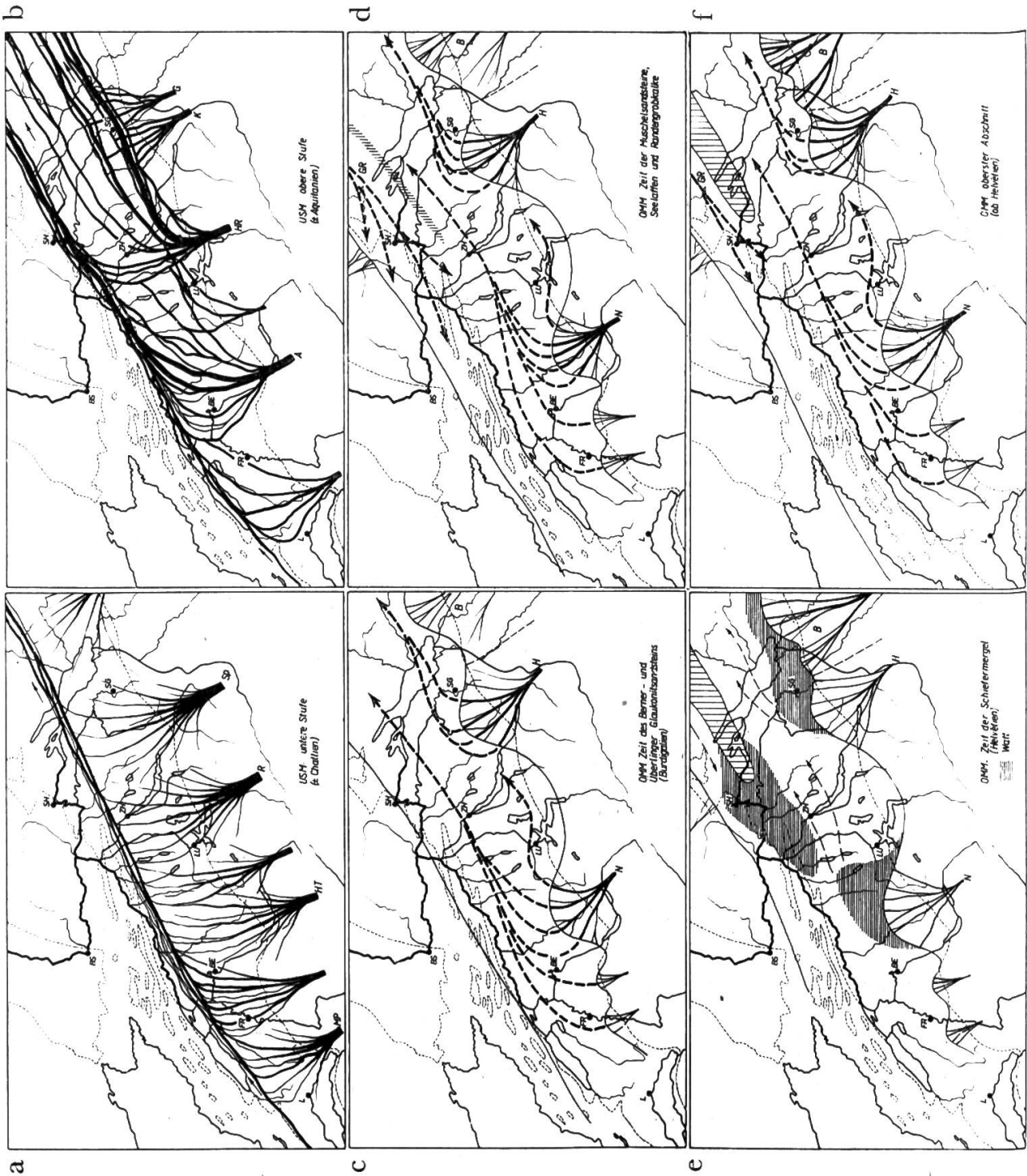
Die Nagelfluhschuttfächer des Appenzellerlandes (*Kronberg-Gäbris-Schüttung*) weichen in ihrer Beschaffenheit vollkommen von jenem der Hohen Rone ab. Ihre Gerölle bestehen weitaus vorherrschend aus Kalken und Dolomiten, und nur untergeordnet treten kristalline Komponenten auf. Die Gesteine lassen sich vorwiegend mit (auch in geographischer Hinsicht) ostalpinen Einzugsgebieten in Beziehung bringen, während penninisches Material noch eine untergeordnete Rolle spielt.

Fig. 2.

Entwicklung der Sedimentation im schweizerischen Molassebecken zur Zeit der unteren Süßwassermolasse (USM) und der oberen Meeresmolasse (OMM).

A Ur-Aareschüttung;
 B Bodenseeschüttung;
 G Gäbrisschüttung;
 GR Grobsandzufuhr aus Osten;
 H Hörmlischüttung;
 HR Hohronenschüttung;
 HT Honegg - Thunersee-schüttung;
 K Kronbergsschüttung;
 MP Mont-Pelerin-Schüttung;

N Napfschüttung;
 R Rigischüttung;
 SP Speerschüttung.
 Senkrecht schraffierte Gebiete: Schwellenzonen (Albsteinschwelle, d, e, f). Gestrichelte Pfeile: mariner Strömungstransport. Feingestrichelte Linien: heutige Begrenzung der jungen Tertiärbecken.



Während die Geröllmassen dieser verschiedenen Schuttfächer – heute in Form von Nagelfluhkomplexen erhalten – meist in Alpennähe liegenblieben, wurden die zugehörigen Sande, die durch Transport und Abrieb besonders bei kristallinen Einzugsgebieten stets in weit größerem Maße produziert wurden, durch die Flüsse über weite Distanzen getragen und gelangten über die immer vorhandenen Sammelentwässerungssysteme in beckenaxialer Richtung oft über Hunderte von Kilometern hinweg in weit entfernte Gebiete.

Für die Zeit des oberen Teils der unteren Süßwassermolasse (\pm Aquitanien) sind die Delta- und Entwässerungsverhältnisse des schweizerischen Molassebeckens in Fig. 2 b, S. 62, wiedergegeben, welche Darstellung sich aus Untersuchungen von H. FÜCHTBAUER und des Verfassers in zum Teil völlig unabhängiger Weise, aber in bester Übereinstimmung ergeben haben. Fig. 2 b zeigt sehr klar, daß zur genannten Zeit zwei Hauptentwässerungssysteme existierten, nämlich ein altes *Aaresystem* und das bedeutende *System der Hohen Rone*, die getrennt nach Osten strebten und weit draußen in Bayern bei der Erdölexploration mit Sicherheit erkannt werden konnten. Besonders die Sande des Hohronensystems sind von auffälliger Beschaffenheit: dem Einzugsgebiet entsprechend lieferte es gewaltige Mengen an granitischen Sanden, bestehend aus Quarz, rund 25 % Feldspat, Chloriten, Glimmern und Gesteinsbruchstücken. Der Karbonatgehalt ist gering, meist unter 15 %, und die Sande sind oft durch kieseligen Zement verkittet und ergaben dann die granitischen Sandsteine, die noch heute in der Linthebene und bei St. Margrethen als geschätzte Bausteine gewonnen werden. Das Herkunftsgebiet war offensichtlich prädestiniert, große Mengen granitischer Sande zu liefern, deren Material durch den raschen, schwebenden Transport noch in großer Entfernung gleichbleibend zusammengesetzt ist und mineralogisch kaum aufbereitet wurde.

Das Aare-Flußsystem lieferte einen erheblich abweichenden Sandtypus, bei dem kein granitisches Einzugsgebiet vorhanden war. Viel eher dürften als Gerölle kaum transportfähige kristalline Schiefer eine Rolle gespielt haben, nebst sedimentärem Material. Die Sande (als mächtige Stromrinnen zum Beispiel sehr schön überhalb des Rheinfalls bei Neuhausen/Schaffhausen aufgeschlossen) sind relativ quarzreich, karbonatarm und führen sehr viel Muskowit. Sie blieben von der Molassebasis bis hinauf zu den höchsten erhaltenen Schichten der unteren Süßwassermolasse gleichartig, zeigen aber in

vertikaler Richtung ein Einsetzen und dann eine stetige Zunahme von Epidot bei gleichzeitig abnehmendem Apatitgehalt, der anfänglich sehr hoch ist. Gegenüber den granitischen Sanden sind sie deutlich feinkörniger und schlechter geschlämmt.

Das Aare- und das Hohronen-Entwässerungssystem verliefen in mehr oder weniger breiten Strombettrinnen nach Osten, eingelagert in mergelige Schichten, in die der Fluß zuerst sein Bett erodierte und nachher mit Sand füllte. Weitreichende Überschwemmungen und Sandüberflutungen mögen sehr häufig vorgekommen sein.

Gegenüber diesen beiden Hauptsystemen waren die appenzelischen Schuttfächer (Kronberg und Gäbris) nur von lokaler Bedeutung. Sie lieferten erhebliche Mengen an karbonatischen Geröllen, aber entsprechend wenig Sande. Heute treten sie in Form stark verschuppter, respektabler Nagelfluhkomplexe in der subalpinen Molasse auf. Man erkennt an nicht wenigen Stellen des Appenzellerlandes Wechselwirkungen dieser seitlichen Schuttfächer mit dem großen und breiten Flußsystem des granitischen Sandsteins, das gelegentlich weit nach Süden überflutete und granitische Sande zwischen den Nagelfluh- und Sandsteinbänken der Kronberg- und Gäbrisschüttung zurückließ (siehe F. HOFMANN, 1957a, K. HABICHT, 1945a).

Die obere Meeresmolasse

Bedingt durch bedeutende Bewegungsvorgänge im Alpenkörper (frühinsubrische Phase nach R. STAUB, 1934) brach zu Ende der Zeit der unteren Süßwassermolasse von Südwesten her, aus der Gegend von Lyon, das Meer ins Alpenvorland ein und überflutete es bis weit nach Osten, wo es sich mit der Zeit mit dem Meer der ungarischen Tiefebene vereinigte. Bedeutende Senkungen im alpinen Vorlandtrog müssen diesen Vorgang ausgelöst haben. Es entstand ein langgezogener, schmaler Meeresarm, dessen Nordküste stets im Gebiet des heutigen Jura gebirges parallel der Alpenfront verlief. Von Süden her mündeten alpine Flüsse ein und bildeten große, ins Meer vorspringende Deltas.

Aus den Flußsystemen der unteren Süßwassermolasse hatten sich bis zum Ende dieser Zeitepoche zwei mächtige, neue Schuttfächer entwickelt, die von nun an bis ans Ende der Molassezeit das Bild beherrschten, während der granitische Schuttfächer der Hohen

Rone zu Beginn der Meerestransgression vollkommen verschwand. Es sind dies der *Hörnlichuttfächer* zwischen Zürich- und Bodensee und der *Napfschuttfächer* zwischen Thuner- und Vierwaldstättersee. Zwischen diesen beiden großen Deltas läßt sich weder zur Zeit der oberen Meeres- noch der oberen Süßwassermolasse ein aus den Alpen austretendes Entwässerungssystem nachweisen. Zu jener Zeit hatte sich das zentralalpine Kulminationsgebiet, vor allem das autochthone Aarmassiv, schon sehr deutlich herausgehoben und bewirkte eine Verlagerung der Hauptentwässerungssysteme in die Depressionen östlich und westlich davon (siehe auch R. STAUB, 1934). Dies ist die Hauptursache für die Entwicklung der miopliozänen Uraare und des miopliozänen Urrheins und letzten Endes für die heutigen Verhältnisse.

Westlich des Napfsystems konnten sich jedoch im Depressionsgebiet zwischen Aar- und Aiguilles-Rouges-Montblanc-Massiv mehrere kleinere Talsysteme entwickeln, die Schuttfächer geringer Ausdehnung zwischen Thuner- und Genfersee bildeten (*Guggisberg-* und *Gibloux-Deltas*); wegen weitgehender bis völliger Erosion des Miozäns in der Westschweiz wissen wir aber nicht allzuviel über die Sedimentationsverhältnisse jener einstmals vorhandenen Molassekomplexe.

In noch viel bedeutenderem Maße konnten sich östlich des Hörnliedeltas, aus dem Gebiet des heutigen Vorarlbergs heraus, große Entwässerungssysteme bilden, vor allem das Delta der *Bodenseeschüttung*, zu der die Sommersberg- und Pfändernagelfluhen gehören.

Diesen alpinen Schuttfächern gegenüber standen kleine Flußdeltas, die von Norden her, aus dem Gebiet des sich heraushebenden Schwarzwaldmassivs, ins Molassemeer mündeten, ihre Hauptentwicklung aber erst zur Zeit der oberen Süßwassermolasse erreichten.

Alle diese Gewässer lieferten Geröll, Sand und Schlamm ins Molassemeer; Uraare und Urrhein aber spielten die Hauptrolle.

Das Einzugsgebiet der Uraare (Napffächer) muß ähnlich beschaffen gewesen sein wie zur Zeit der unteren Süßwassermolasse: sehr große Mengen an gelieferten Sanden lassen immer noch auf ein Einzugsgebiet mit kristallinen Schiefen und vielleicht auch sandigen Sedimenten schließen, die Nagelfluhen des eigentlichen Schuttfächers führen sehr viele Quarzitgerölle. Der Hörnliedächer hingegen mit einem ostalpin-penninischen, vorwiegend karbona-

tisch-sedimentären Einzugsgebiet lieferte wohl sehr viele Kalk- und Dolomitgerölle in den eigentlichen alpennahen Geröllschuttfächer, aber im Vergleich zum Napffächer weit weniger Sand. Da aber in erster Linie Sande durch die marinen Strömungen verfrachtet wurden, ist der Einfluß des Napfschuttfächers auf die Sedimentation innerhalb des Meeresbeckens bedeutend größer als jener der Hörnli-schüttung. Immerhin wurden aber auch Gerölle über weite Distanzen verfrachtet, und man findet Quarzit aus dem Napffächer noch im nördlichen Kanton Zürich.

Auf den Flußdeltas selbst herrschten fluvioterrestrische Faziesverhältnisse wie bei den Süßwassermolassen. Die Randzonen bieten mannigfache Einblicke in die Küstenregion, ihre Ausbildungsweise und ihre Bewegungen, besonders schön aufgeschlossen etwa im Übergangsgebiet von der marinen Trog- zur fluvioterrestrischen Deltafazies im Längsprofil der oberen Meeresmolasse im Gebiet St.Gallen–Herisau (U. BÜCHI und F. HOFMANN, 1945 a, U. BÜCHI, 1950, 1956).

Die marinen Serien selbst sind, besonders in der Ostschweiz im Gebiet des Hörnli-deltas, ausgesprochen zweigeteilt. Die untere Abteilung wird zum Burdigalien, die obere zum Helvétien gestellt, welche Aufteilung Anlaß zu vielen Bedenken gibt und durch die neuesten im Gang befindlichen Untersuchungen eher problematisch geworden ist.

Ein besonderes Charakteristikum der oberen Meeresmolasse der Schweiz ist eine stets vorhandene *marine Strömung* von West nach Ost, die wohl nicht zufälligerweise auch der Transgressionsrichtung entspricht. Diese Strömung war zur Zeit des «Burdigalien» besonders stark und transportierte große Mengen von Sanden der westschweizerischen Schüttungen (Napfsystem und weiter westliche Deltas) bis über die Gegend des heutigen Bodensees hinaus (siehe Fig. 2 c, S. 62); so entsprechen die Heidenlöcher-Glaukonitsandsteine von Überlingen am Bodensee den Berner Sandsteinen. Sie verfrachtete aber auch große Mengen an Muschelschill nach Osten und lagerte sie in Form der heutigen Muschelsandsteine und -kalke besonders im Gebiet des Kantons Aargau wieder ab (Lenzburg, Othmarsingen, Mägenwil, Würenlos). Die gleichen Strömungsercheinungen beeinflussten auch die Sedimentation aus dem Hörnli-delta: Seine Sande wurden ebenfalls nach Osten verdriftet und lieferten die marinen Schichten im Vorfeld der Pfänderschüttung; die

noch weit weniger sandig war und fast nur auf dem dortigen Delta selbst zur Geltung kam (siehe Fig. 2 und 3, S. 62, 71; H. H. RENZ, 1937a, und F. HOFMANN, 1957a). Wegen des viel höheren Karbonatgehaltes sind die marinen Sandablagerungen aus dem Hörnlifächer bei gleichzeitig feinerem Korn stärker diagenetisch verfestigt als die karbonatarmen analogen Sande der Napfschüttung, und sie sind uns in Form der schönen blaugrauen Plattensandsteine erhalten geblieben, die den Einfluß der marinen Strömungsverfrachtung sehr schön zeigen (Steinbrüche bei Bäch und am Rorschacherberg). Eingelagert in ihre mächtigen Serien sind Seelaffebildungen, den mittelländischen Muschelsandsteinen analoge Muschelschillbänke, die schon aus rein lithologischen und feldgeologischen Befunden den marinen Transport erkennen lassen, der sie im Strömungsschatten auf der Ostseite des Hörnlideltas liegen ließ (Seelaffen von Blattenstaad, Roßbüchel, Goldachtobel). Die marinen Sandablagerungen selbst sind aber hier und im Mittelland allgemein äußerst fossilarm.

Im Gange befindliche gemeinsame Untersuchungen mit Herrn Dr. U. BÜCHI zeigen, daß sich schon zur Zeit des unteren Abschnitts der oberen Meeresmolasse, in den Muschelsandsteinen des nördlichen Kantons Aargau, aber auch in den Randengrobkalken an der Nordküste des Molassemeeres und im nördlichen Bodenseegebiet Grobsandschüttungen nachweisen lassen (Fig. 2d, S. 62), die von weither aus dem Osten stammen müssen. Sie entsprechen weitgehend den Graupensanden der höchsten marinen Molasse (Kohlfirstgebiet) und zeigen den Beginn einer bedeutenden (zu jener Zeit fluviomarinen, groben) Sandzufuhr in beckenaxialer Richtung von Osten nach Westen an, die während der oberen Süßwassermolasse in Form der Glimmersandrinne ihre größte Zeit hatte.

Die Verkieselungserscheinungen in der unteren Abteilung der St.Galler Meeresmolasse deuten auf tektonische Einflüsse hin, die mit der Meeresregression vor Beginn des zweiten Zyklus der oberen marinen Molasse zusammenhängen, dem «Helvétien».

Zur Zeit dieses zweiten Zyklus war die Strömungstendenz von West nach Ost immer noch vorhanden, aber zeitweilig bedeutend schwächer. Anfänglich relativ stark (Plattensandsteine im «unteren Helvétien» von St.Gallen und äquivalente Napf-Strömungssande und Quarzitnagelfluhen im Mittelland), wurde sie für eine längere Zeitperiode sehr schwach und ermöglichte die Entstehung von ausgesprochenen Wattgebieten im Vorfeld der Schuttfächer und über

anderen Flachmeerzonen. Es ist die Zeit der verbreiteten *Schiefermergelstufe* (Fig. 2 e, S. 62, Angaben bei U. BÜCHI und F. HOFMANN, 1945, U. BÜCHI, 1950, 1956, F. HOFMANN, 1957 a). Sie ist wiederum besonders klassisch in der oberen marinen Molasse von St.Gallen entwickelt. Die geringe oder fehlende Strömung ermöglichte die Ansiedelung einer ausgesprochenen Wattfauna. Das sedimentierte Material ist fossilreich, schlecht sortiert, und dünne Sand- und Schlückschichtchen wechsellagern. Sandige Prielen als Zeugen von Rinnsalen der einmündenden Gewässer lassen sich lithologisch und sedimentpetrographisch sehr schön erkennen (F. HOFMANN, 1957 a). Dieser Periode dürften auch die Dreissensia-Mergel im Kanton Schaffhausen entsprechen, die allerdings bereits im Einflußgebiet der von Osten hier einmündenden fluviomarinen Zufuhr Rinne standen.

Diese Rinne wurde nach der Wattenmeerzeit wieder sehr aktiv und lieferte am Ausgang der marinen Molassezeit die weit aus dem Osten, aus einem noch nicht sicher bekannten Herkunftsgebiet stammenden *Graupensande*, die in den Gruben von Benken, Wildensbuch, Schlatt und bei Riedern (auf badischem Gebiet N Rafz) besonders schön zugänglich sind (Fig. 2 f, S. 62). Diese Grobsandrinne wurde durch eine terrestrische Schwelle mit kalkigen Exsudations-Krustensedimenten, die Albsteinschwelle, vom südlichen Meeresarm getrennt und arbeitete diese Schwelle zum Teil sehr tief hinunter auf. Noch darüber auftretende Feinsande (Samtsande) verraten eindeutig eine Verbindung mit dem sogenannten Oncophora-Meer im östlichsten bayrischen Molassebecken. Dann aber verschwand auch diese «Süßbrackwassermolasse» völlig aus unserem Gebiet.

Über die genaue Umgrenzung und Paläogeographie des Molassemeeres, insbesondere im oberen Zyklus und in den heute flachliegenden mittelländischen und nördlichen Beckenteilen, sind wir nur sehr unvollständig orientiert. Mannigfache Erosionsvorgänge während der marinen Zeit verwischen die Zusammenhänge.

Die obere Süßwassermolasse

Tektonische Vorgänge im Alpenkörper und eine offenbar deutliche Hebung im Alpenvorland brachten das Molassemeer zum Verschwinden und machten Ablagerungsverhältnissen Platz, wie sie zur Zeit der unteren Süßwassermolasse geherrscht hatten.

Auf schweizerischem Gebiet entfalteteten sich der *Napf*- und der *Hörnlichuttfächer* außerordentlich stark, und auch die *Bodenseeschüttung* (siehe Fig. 3, S. 71) und F. HOFMANN, 1957a) erreichte großes Ausmaß und lagerte die oberen Süßwassermolasseschichten östlich der Linie St.Gallen–Konstanz ab.

Der Napfschuttfächer lieferte wiederum große Sandanteile aus einem Einzugsgebiet mit offenbar immer noch bedeutenden Komplexen an kristallinen Schiefen und Quarziten. Seine Ausstrahlungen konnte der Verfasser in Form von fluviatilen Glimmersanden (etwa 20 % Kalk, 5 % Dolomit, reich an Quarz, mit einer Schwerefraktion reich an frischem, oft idiomorphem Epidot und relativ viel Apatit) bis ins Gebiet von Zürich nachweisen. Eine detailliertere sedimentpetrographische Bearbeitung steht noch aus.

Die Hörnlichüttung entwickelte sich aus den Verhältnissen zur Zeit der oberen Meeresmolasse weiter und lieferte zunehmend penninisches und in den höheren Zonen sogar helvetisches, vorwiegend dolomitisches und kalkiges Geröllmaterial und entsprechende fluviatile Sande (Knauersande, im Mittel 40 % Dolomit- und 20 % Kalkkörner nebst vielen silikatischen Gesteinsbruchstücken, wenig entwickelte Schwerefraktion aus schlecht erhaltenem Epidot, etwas Granat und sehr vielen ophiolithischen Körnern). Die Mergel der Hörnlichüttung sind meist sehr stark dolomitisch, siltig und relativ tonarm. Mergelsandsteine der Überschwemmungsfazies sind häufig.

Einen ganz andern Charakter hat die Bodenseeschüttung. Sie hatte ihr Einzugsgebiet in einer fast reinrassigen ostalpinen Flyschzone (im geographischen Sinne). Ob es sich um ultrahelvetische oder ostalpine Flyschmassen handle, die im Vorarlberg zu suchen wären, werden künftige Untersuchungen abzuklären haben. Als Gerölle erhaltungsfähig waren gelbe Flyschkalke, oft glaukonitisch und kieselig, gelegentlich Nummulitenkalke, glimmrige Flyschsandsteine und gelbe Flyschsandkalke. Der größere Teil des Materials wurde aber in Form von Schlamm verschwemmt und als gelbe, tonreiche Mergel mit eingelagerten, quarzreichen, oft weißen, stets rein kalkigen Sandsteinen abgelagert. Alle diese feineren Verschwemmungssedimente sind außerordentlich reich an Flyschforaminiferen (Globigerinen, Nummuliten, Discocyclinen; siehe F. HOFMANN, 1957a). Zum Sedimentationsbereich der Bodenseeschüttung gehört nebst der oberen Süßwassermolasse der östlichen Schweiz die Som-

mersbergzone (F. HOFMANN, 1957a) und jenseits des Rheins das Pfändergebiet.

Aus der Westschweiz sind wegen völliger Erosion der jüngeren Molasse keinerlei Anhaltspunkte über einstmals sicher vorhandene jüngere Schuttfächer nachzuweisen. Hingegen verstärkten sich die Schuttfächer aus der jurassischen Zone, also von Norden her, insbesondere aus der sedimentären Schwarzwaldbedeckung, und der bedeutendste Schuttfächer war jener, der die schon damals tektonisch angelegte Hegausenke mit Juranagelfluh und vor allem davon abstammenden Mergeln (verschwemmte tonige Sedimente des Mesozoikums) erfüllte.

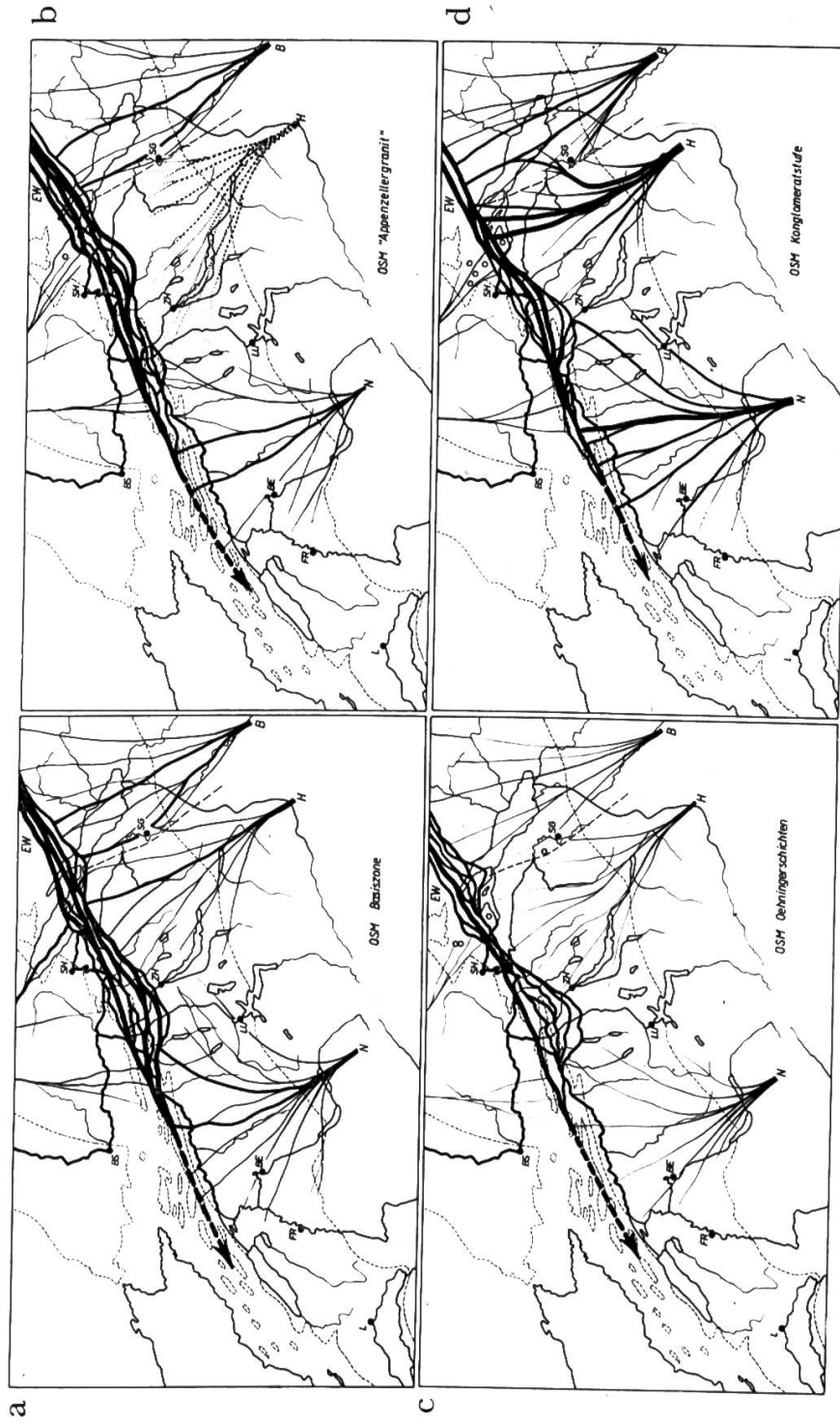
Zwischen den großen alpinen und den kleinen jurassischen Schuttdeltas lag eine Sammelrinne bedeutenden Ausmaßes, das *Glimmersand-Stromsystem*. Es ist den beckenaxialen Stromsystemen der unteren Süßwassermolassen vergleichbar, floß jedoch von Ost nach West und ist nichts anderes als die Fortsetzung der ost-west-orientierten Sedimentationen, die schon zur Zeit der oberen Meeresmolasse mit den Grobsandschüttungen eingesetzt hatte. Die Glimmersande sind quarzreich und typisch fluviatil in Form von oft breiten Stromrinnen sedimentiert. Sie sind, gut gewaschen, karbonatarm (im Mittel um 10 %, wovon nur $\frac{1}{5}$ Kalk, $\frac{4}{5}$ Dolomit) und deshalb unverfestigt, muskowitzreich, führen sehr viel Granat und müssen zur Hauptsache aus einem nicht näher bekannten, in den östlichen Ostalpen gelegenen Herkunftsgebiet aus kristallinen Schiefeln stammen. Dieses Flußsystem wurde von K. LEMCKE, W. v. ENGELHARDT und H. FÜCHTBAUER (1953) in Bayern erkannt, und seine schweizerische Fortsetzung wurde 1955 vom Verfasser erstmals beschrieben und in der Folge weiterbearbeitet (1956/60). Es führt im Osten Quarzitgerölle (Gangquarze), sogenannte Quarzrestschotter, die nur einmal für kurze Zeit bis in unsere Gegend gelangten.

Die Glimmersande wurden über eine Distanz von über 600 km transportiert, ihre Körner blieben aber als typisch fluviatile Verschwemmungsprodukte völlig eckig. Im zentralen Teil des Stromsystems, dessen Achse von der Gegend Überlingen–Meersburg her über den Untersee, den Irchel und nördlich der Lägern vorbei nach Südwesten verlief, wurden ausschließlich Glimmersande abgelagert, und der materialmäßige Einfluß der seitlichen Schuttfächer war minim.

Am besten zeigen die Figuren 2 a bis 2 d, S. 62, die Entwicklung

Fig. 3.

Entwicklung der Sedimentation im schweizerischen Molassebecken zur Zeit der oberen Süßwassermolasse (OSM).
 B Bodenseeschüttung;
 EW Ostwestschüttung (Glimmersand-Stromsystem);
 H Hörnischüttung (punktiert = « Appenzellergranit »);
 N Napfschüttung.
 Feingestrichelte Linien: heutige Begrenzung der jungen Tertiärbecken.
 Kleine Kreise: tätige vulkanische Eruptionsstellen.



der Sedimentationsverhältnisse während der oberen Süßwassermolasse. Das Bild der Schüttungen blieb sehr konstant, und das Glimmersand-Stromsystem existierte bis zum Ende der Molassezeit.

Zur Zeit der Basiszone der oberen Süßwassermolasse lassen sich bedeutende Glimmersandtransgressionen ins relativ ruhige Gebiet zwischen Napf- und Hörnli-fächer nachweisen (Vorfeld des Aar-massivs ohne nachweisbares Entwässerungssystem, das hier ausgetreten wäre, demzufolge sehr ruhige Verhältnisse). Zwischen Napf und Hörnli verfächern sich die fluvioterrestrischen Sedimente der beiden Schüttungen, ohne sich allerdings zu mischen – ein typisches Ergebnis der fluvioterrestrischen Sedimentation. Hörnli- und Bodenseeschüttung liegen viel näher beieinander, und die Trennungslinie ist entsprechend schärfer.

Ein besonderes Phänomen des Hörnli-fächers war der «*Appenzellergranit*», jene einmalige, murgangartige Vorlandüberflutung mit kalkig-dolomitischem Brei, der zu teilweise brekziösem, teilweise sekundär verschwemmtem feinkonglomeratischem Gestein verfestigt wurde und in neuester Zeit von N. PAVONI (1956) in Form von dolomitisch-kalkigen Siltsteinen bis über Zürich hinaus verfolgt werden konnte (siehe auch U. BÜCHI und G. WELTI, 1950).

Nach der vom «Appenzellergranit» eingeleiteten mittleren Zone der oberen Süßwassermolasse folgte eine mindestens in der Ostschweiz nachweisbare, betonte Ruheperiode, die Zeit der «*Öhninger Zone*», die sehr weitreichend mergelig entwickelt ist und in der auch die eigentlichen Öhninger Schichten des berühmten Fundstättengebietes am Schienerberg liegen (F. HOFMANN, 1951, 1956, 1959; U. BÜCHI, 1958). Nach dieser Ruhe vor dem Sturm aber löste eine starke tektonische Aktivität im alpinen Rückland die starken Geröllschüttungen aus dem Hörnli-fächer aus, die bis über den Untersee hinausreichten und die in der Ostschweiz klassisch entwickelte Konglomeratstufe sedimentierten, welchen Vorgängen die stärkste explosive Vulkantätigkeit im Hegau (Deckentuffe) und im Unterseegebiet (F. HOFMANN, 1959) entsprach und der auch die Eruptionen in der Ostschweiz (vulkanischer Blockhorizont und Bentonite) vorangingen. Interessanterweise läßt sich diese unruhige Zeit auch in der Glimmersand-Stromrinne nachweisen: sie lieferte zu Beginn der Konglomeratstufe ganz kurzfristig Grobsand mit Gangquarzgeröllchen, während sonst die mittlere Korngröße der Glimmersande 0,2 mm nicht wesentlich übersteigt. Die Nagelfluh-

decke der Konglomeratstufe ist im Gebiet des Kantons Thurgau, besonders am Wellenberg, Ottenberg und Seerücken, am schönsten entwickelt und hat hier und am Schienerberg ausgesprochenen Leitwert (F. HOFMANN, 1955, 1956, 1959). Im Nollengebiet zwischen Wil SG und Bischofszell enthält sie eine ophiolithgeröllreiche Nagelfluh als besonders guten Leithorizont, mit hohem Anteil an Grünschiefergeröllen der Plattadecke im Oberhalbstein. Ähnliche Horizonte treten auch im Kanton Zürich auf.

Nach der Konglomeratstufe wurden die Verhältnisse wieder ruhiger. Das Glimmersand-Stromsystem, das durch die starken Schüttungen aus dem Hörnlifächer zur Zeit der Konglomeratstufe stark nach Norden gedrängt worden war, konnte sich wieder breiter nach Süden ausdehnen und drang zwischen Napf- und Hörnlifächer stellenweise weit nach Süden vor.

Die Basalterruptionen im Hegau beendeten im älteren Pliozän die Molassezeit. Noch unmittelbar unter ihren Tuffen liegen am Hohenstoffel Glimmersande des Ost-West-Stromsystems, die zusammen mit den Molasseschichten am Tannenberg NW St.Gallen und am Hörnli selbst die höchsten und jüngsten schweizerischen Molasseablagerungen repräsentieren.

Über die genauen Vorgänge, die zwischen dem Ende der Molassezeit und dem Ende der Eiszeiten unsere heutige Landschaft geformt haben, wissen wir heute viel weniger Bescheid, als es nach den älteren Auffassungen eine Zeitlang den Anschein hatte. Die Entwässerungsverhältnisse im Alpenvorland haben sich nicht kontinuierlich aus der Situation zu Ende der oberen Süßwassermolasse entwickelt. Aare- und Donausystem sind heute die grundsätzlich wieder von West nach Ost entwässernden Sammelstromgebiete. Der Rhein zwängt sich etwas eigenmächtig dazwischen, und die große ost-west-alpine Wasserscheide trennt das Aare-Rhein-Nordsee-System vom Donau-Schwarzmeer-System. Diese Trennung ist ursächlich mit der alpinen Tektonik verbunden, nicht zuletzt mit dem Bodenseegraaben, der den Rhein der schweizerischen nachmolassischen Entwässerungsader zugeführt hat, der Aare. Auch der Hochrhein-«Durchbruch» zwischen Schwarzwald und Kettenjura nach Westen, zur oberrheinischen Tiefebene hin, ist in seiner Uranlage ohne Zweifel ein tektonisches Phänomen.

WICHTIGSTE LITERATUR

- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1955): Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der süddeutschen Molasse (München).
- BLUMRICH, J. (1930): Die miozäne Molasse des Pfänderstockes. Schr. Ver. Gesch. Bodensees Umg. 58.
- v. BRAUN, E. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Hochrheingebiet zwischen Zurzach und Eglisau. *Eclogae geol. Helv.* 46/2.
- BÜCHI, U., und HOFMANN, F. (1945a): Die obere marine Molasse zwischen Sitter-Urnäsch und dem Rheintal. *Eclogae geol. Helv.* 38/1.
- (1945b): Über das Vorkommen kohlig-kieseligter Schichten und verkieselter Baumstämme in der oberen marinen Molasse von St.Gallen. *Eclogae geol. Helv.* 38/1.
- BÜCHI, U. P. (1950): Zur Geologie und Paläogeographie der südlichen mittelländischen Molasse zwischen Toggenburg und Rheintal (Kreuzlingen).
- BÜCHI, U., und WELTI, G. (1950): Zur Entstehung der Degersheimer Kalknagelfluh im Tortonien der Ostschweiz. *Eclogae geol. Helv.* 43/1.
- BÜCHI, U. P. (1956): Zur Geologie der oberen Meeresmolasse von St.Gallen. *Eclogae geol. Helv.* 48/2.
- (1957a): Zur Gliederung des Burdigalien im Kanton Aargau. *Bull. Ver. Schweizer. Petrol. Geol. u. Ing.* 23/65.
- (1957b): Zur Gliederung der oberen Süßwassermolasse zwischen Bodensee und Reuß. *Bull. Ver. Schweizer. Petrol. Geol. u. Ing.* 24/66.
- (1958): Zur Geologie der oberen Süßwassermolasse zwischen Töb- und Glattal. *Eclogae geol. Helv.* 51/1.
- FRÜH, J. (1890): Beiträge zur Kenntnis der Nagelfluh der Schweiz. *Denkschr. Schweiz. Natf. Ges.* 30.
- FÜCHTBAUER, H. (1954): Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandsmolasse. *Heidelberger Beitr. Min. u. Petr.* 4.
- (1955): Die Sedimentation der westlichen Alpenvorlandsmolasse. *Ztschr. deutsche Geol. Ges.*, Jg. 1953, 105/3.
- (1959): Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. *Erdöl u. Kohle*, 12/8.
- GEIGER, E. (1943): Erläuterungen zu Bl. 16 (Pfy–Märstetten–Frauenfeld–Bußnang) des geol. Atlas der Schweiz.
- HABICHT, K. (1945a): Geologische Untersuchungen im südlichen sanktgallisch-appenzellischen Molassegebiet. *Beitr. geol. K. Schweiz*, NF 83.
- (1945b): Neuere Beobachtungen in der subalpinen Molasse zwischen Zugersee und dem sanktgallischen Rheintal. *Eclogae geol. Helv.* 38/1.
- HAUS, H. A. (1950): Zur paläographischen Entwicklung des Molassetrogs im Bodenseegebiet während des mittleren Miozäns. *Mitt. bad. geol. Landesanst. f. 1950.*
- HOFMANN, F. (1951): Zur Stratigraphie und Tektonik des sanktgallisch-thurgauischen Miozäns (obere Süßwassermolasse) und zur Bodenseegeologie. *Jb. St.G. Natw. Ges.* 74.
- (1955a): Neue geologische Untersuchungen in der Molasse der Nordostschweiz. *Eclogae geol. Helv.* 48/1.
- 1955b): Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im schweizerischen Molassebecken. *Bull. Ver. Schweizer. Petrol. Geol. u. Ing.* 22/62.

- (1956a): Die vulkanischen Erscheinungen auf schweizerischem Gebiet in der Gegend von Ramsen (Kt. Schaffhausen). *Eclogae geol. Helv.* 49/1.
 - (1956b): Die obere Süßwassermolasse in der Ostschweiz und im Hegau. *Bull. Ver. Schweiz. Petrol. Geol. u. Ing.* 23/64.
 - (1957a): Untersuchungen in der subalpinen und mittelländischen Molasse der Ostschweiz. *Eclogae geol. Helv.* 50/2.
 - (1957b): Pliozäne Schotter und Sande auf dem Tannenbergr bei St.Gallen. *Eclogae geol. Helv.* 50/2.
 - (1959a): Vulkanische Tuffhorizonte der Schienerbergeruptionen auf dem thurgauischen Seerücken. *Eclogae geol. Helv.* 52/2.
 - (1959b): Die vulkanischen Aschenablagerungen in der Molasse des thurgauischen Seerückens und ihre Beziehungen zu den Eruptionen am Schienerberg und im Hegau. *Schr. Ver. Gesch. Bodensees Umg.* 77.
 - (1960): Beitrag zur Glimmersandsedimentation in der Oberen Süßwassermolasse der Nord- und Nordostschweiz. *Habil. Schrift ETH; Eclogae geol. Helv.* 53/1.
- KIDERLEN, H. (1931): Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des süddeutschen Tertiärs. *Neues Jb. f. Min. usw., Beilageb.* bb/B.
- KLEIBER, K. (1937): Geologische Untersuchungen im Gebiet der Hohen Rone. *Eclogae geol. Helv.* 30/2.
- LEMCKE, K., v. ENGELHARDT, W., und FÜCHTBAUER, H. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. *Beih. Geol. Jb.* 11 (Hannover).
- LEUPOLD, W., TANNER, H., und SPECK, J. (1942): Neue Geröllstudien in der Molasse. *Eclogae geol. Helv.* 35/2.
- LUDWIG, A. (1910): Flußgeröll, Molasseproblem und Alpenfaltung. *Jb. Schweiz. Alpenclub*, 45.
- v. MOOS, A. (1935): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen. *Schweiz. Min.-Petr. Mitt.* 15.
- PAVONI, N. (1956): Zürcher Molasse und obere Süßwassermolasse der Ostschweiz, ein stratigraphischer Vergleich. *Bull. Ver. Schweizer. Petrol. Geol. u. Ing.* 22/63.
- (1957): Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel. *Vjschr. Natf. Ges. Zürich* 102/5.
- DE QUERVAIN, F. (1949): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. *Verl. Kümmerly & Frey, Bern.*
- RENZ, H. H. (1937a): Die Geologie der östlichen sanktgallisch-appenzellischen Molasse. *Jb. St.G. Natw. Ges.* 69.
- (1937b): Die subalpine Molasse zwischen Aare und Rhein. *Eclogae geol. Helv.* 30/1.
- RUTSCH, R. F. (1928): Geologie des Belpberges. *Mitt. Natf. Ges. Bern* 1927.
- (1933): Beiträge zur Geologie der Umgebung von Bern. *Beitr. Geol. K. Schweiz, NF* 66.
 - (1947): Molasse und Quartär im Gebiet des Siegfriedblattes Rüeggisberg. *Beitr. Geol. K. Schweiz, NF* 87.
 - (1945): Neue Auffassungen über die Entstehung der Molassesedimente. *Eclogae geol. Helv.* 38/2.
 - (1958): Das Typusprofil des Helvétien. *Eclogae geol. Helv.* 51/1.
- SAXER, F. (1948): Alter und Dauer der Molassezeit. *Ber. Tätigk. St.Gall. Natw. Ges.* 72.
- (1952): Zur Korngrößenverteilung in der Molasse. *Verh. Schweiz. Natf. Ges.*

- SCHUPPLI, H. M. (1952): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, IV. Mit einem Beitrag von F. HOFMANN. Beitr. Geol. K. Schweiz, Geotechn. Serie, 26/4.
- SPECK, J. (1953): Geröllstudien in der subalpinen Molasse am Zugersee. (Zug.)
- STAUB, R. (1934): Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie. Denkschr. Schweiz. Natf. Ges. 69/1.
- TANNER, H. (1944): Beitrag zur Geologie der Molasse zwischen Ricken und Hörnli. Mitt. Thurg. Natf. Ges. 33.
- TRÜMPY, R., und BERSIER, A. (1954): Les éléments des conglomérats oligocènes du Mont Pélerin. Eclogae geol. Helv. 47/1.