Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im schweizerischen Molassebecken

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **22 (1955-1956)**

Heft 62

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-188020

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. Ing., Vol. 22, Nr. 62, S. 5—18, 2 Textfig., 31. Aug. 1955

Beziehungen zwischen Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im schweizerischen Molassebecken

von Franz HOFMANN, Schaffhausen

Die in den letzten Jahren vom Verfasser durchgeführten geologischen Untersuchungen in der Nordostschweiz und im anschließenden badischen Grenzgebiet haben zu neuen Resultaten und Auffassungen geführt, die teilweise bereits in den Eclogae geol. Helv. (1955) in Druck gehen. Die nachfolgenden Darlegungen betreffen die Entwicklung von Sedimentation und Fazies im schweizerischen Molassebecken, insbesondere seit dem Beginn des Miozäns, und die Zusammenhänge mit Tektonik und Vulkanismus.

I. Die Entwicklung von Sedimentation und Fazies seit dem burdigalen Meereseinbruch

A. Burdigalien

Die Fazies des Burdigalien war im schweizerischen Molassebecken ausgesprochen marin. Es hat an der obern marinen Molasse (OMM) von St. Gallen den Hauptanteil. Zwischen den damals schon stark ausgeprägten Schuttdeltas von Hörnli und Napf (mit fluvioterrestrischer Fazies) entwickelten sich ausgeprägte Meeresbuchten mit vorwiegend sandiger Fazies (Bern, Luzern, St. Gallen-Bodensee).

Der Glaukonitgehalt dieser Sande ist meist ziemlich bedeutend, besonders gegen N hin. Er deutet auf äußerst ruhige, langsame, flachmeerische Sedimentationsverhältnisse mit einer Meerestiefe von ca. 200 m und vermutlich reduzierendem Milieu (Grim, 1953; Hadding, 1932). Selektive Kalianreicherung, vermutlich unter Mitwirkung von Organismen, dürften zu seiner Entstehung beigetragen haben.

Der Glaukonitgehalt in den Überlinger Sandsteinen (NW-Bodensee) ist mit 7,5 % sehr beträchtlich (eigene Bestimmungen am frischen Sandstein der Heidenlöcher, Überlingen). Es ist hier nicht der Ort, näher auf das Glaukonitproblem einzutreten. Sicher ist, daß der Glaukonit in den marinen Sanden des Burdigalien erheblich stärker vertreten ist, als in den höhern marinen Zyklen der OMM. Die Bildung der mächtigen, massigen Glaukonitsande des nördlichen Bodenseegebietes beweist, daß das burdigale Meer dort lange Zeit unter konstanter Wasserbedeckung von rund 200 m existierte, während gegen den Alpenrand hin (St. Gallermolasse) eher wattenmeerische Verhältnisse vorlagen, wenn auch ein eigentliches Wattenmeer wegen des vermutlichen Mangels der Gezeiten kaum anzunehmen ist. Ein Gezeiteneinfluß könnte aber zur Zeit der maximalen miozänen Meerestransgression (Grobkalke) bis zu einem gewissen Grad eine Rolle gespielt haben.

Das illitartige *Tonmineral Glaukonit* ist — in seiner charakteristischen Körnchenform — äußerst umlagerungsempfindlich. Es besteht der große Verdacht, daß sehr

oft in Sanden der obern oder untern Süßwassermolasse Ophiolith-Körner oder Chlorit als Glaukonit bestimmt worden sind, daß es sich also gar nicht um eingeschwemmten Glaukonit handelte.

Die Glaukonite der OMM sind nachweisbar klassisch autochthone Bildungen. Sie haben tonmineralogische Eigenschaften, die vollkommen von jenen der Glaukonite der Eozän- und Gaultgrünsande der helvetischen Decken abweichen. Diese letzteren Glaukonite sind gealtert und haben ihre typischen tonmineralogischen Eigenschaften teilweise eingebüßt. Es handelt sich dabei um Erscheinungen, wie sie beim Übergang von Tonen zu Tonschiefern auftreten, also um eine schwache Metamorphose. Eine Herkunft der Glaukonite der OMM aus alpinen Grünsanden kann deshalb in keiner Art und Weise in Frage kommen.

Der Verfasser beabsichtigt, in absehbarer Zeit über die Methoden zur Bestimmung des Glaukonitanteils von Sanden und über Eigenschaften, Entstehung und Auftreten dieses interessanten Tonminerals in Sanden des jungen und ältern Tertiärs und der Kreide eingehend zu berichten. Der Glaukonitgehalt mariner Sedimente ist zur Deutung der Fazies von größter Bedeutung.

Im Gegensatz zur sandigen Burdigal-Fazies des Bodenseegebietes findet man im Gebiet des Kantons Aargau verbreitet Muschelagglomerate, die auch in analogen Gebieten der Westschweiz vorkommen. Sie beweisen, daß das Meer dort weniger tief war als im Gebiet der fossilleeren Glaukonitsande.

Während des Burdigals fand keine nachweisbare Schüttung aus N statt. Detritisches Material kam nur aus S und tritt — wegen der ruhigen Sedimentation im N — nur im S vermehrt in Erscheinung («Wattenmeer» der Deltaränder). Größere tektonische Aktivität äußerte sich nur zu Beginn und zu Ende der marinen Periode der St. Gallermolasse, jeweils durch das Auftreten von Verkieselungserscheinungen und durch starke Geröllvorstöße gekennzeichnet.

B. Helvétien

Ganz anders waren Sedimentation und Fazies im Helvétien, das vom Burdigalien durch eine deutliche Zäsur getrennt ist, während der das Meer wahrscheinlich total verschwand und Erosionsvorgänge eine Rolle spielten. Aufschlußreich ist das marine Helvétien von St. Gallen mit einem untern, ± glaukonitfreien Schiefermergelkomplex und einem obern Plattensandsteinkomplex (etwas tiefere Meeresbedeckung und ruhigere Verhältnisse). Diese Schichten lassen sich mit jenen der Nordschweiz gut vergleichen. Die glaukonitarmen Schichten des Helvétien deuten auf weit unruhigere Sedimentationsverhältnisse in seichten Meeren, wobei vielleicht zusätzlich ein gewisser Gezeiteneinfluß vorhanden war. Unter solchen Umständen war es ohne weiteres möglich, daß bedeutende alpine Konglomeratschüttungen bis an den Nordrand des Molassebeckens gelangen konnten. Dies war bei den beschriebenen burdigalen Faziesverhältnissen nicht der Fall.

Im nordöstlichen Bodenseegebiet waren die Verhältnisse zu gleicher Zeit sehr verschieden. Im marinen Helvétien mündete S Schaffhausen eine von E längs des nördlichen Beckenrandes verlaufende Flußrinne, die sogenannte Graupensandrinne, in das Molassemeer. Diese Grobsandrinne war vom fossilreichen «Wattenmeer» der St. Gallerbucht durch die terrestrische Albsteinschwelle getrennt; ihre Fazies war brackisch.

Die Graupensande in dieser Rinne wurden durch ebenfalls noch mit der marinen Fazies zusammen existierende, scharf überlagernde Feinsande abgelöst.

Die Strömung in dieser brackisch-fluviatilen Rinne war gegen W gerichtet. Es ist vollkommen ausgeschlossen, daß die marinen Grobkalke (Muschelagglomerate) auf dem Randen und dem übrigen Tafeljura aus diesen Verhältnissen hervorgehen konnten. Die Grobkalke sind eindeutig älter als diese Rinnensedimente zur Zeit des marinen Helvétien.

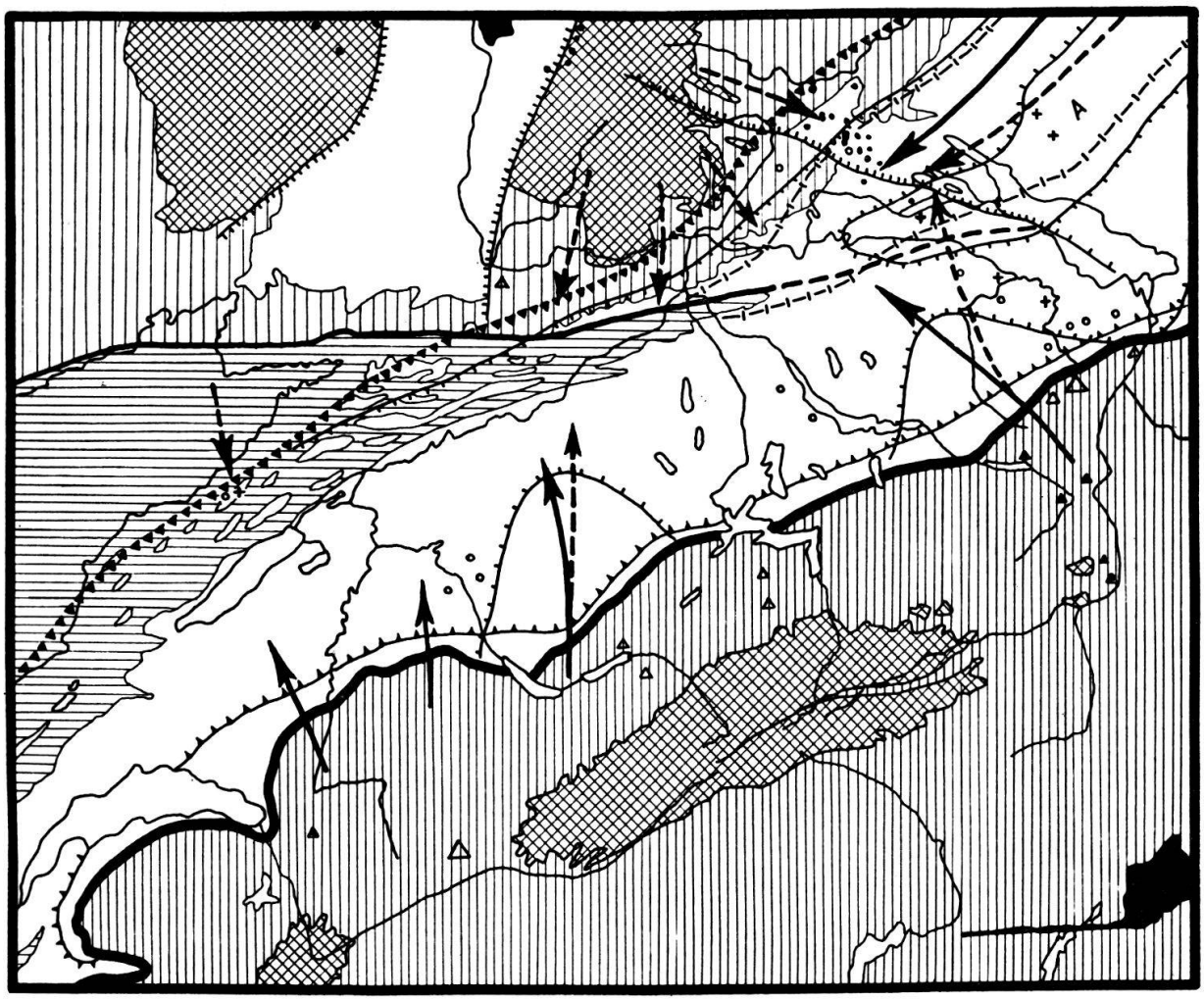


Fig. 1

Miozäne Sedimentationsverhältnisse im schweizerischen Molassebecken und vulkanische Erscheinungen vor und während der Molassesedimentation. Die eingezeichnete Helvétien-Küste bezieht sich auf die Zeit der Zufuhr der Graupen- und Feinsande. Die dargestellten Silexit- und Fluoritgänge dienen lediglich der Orientierung im Bezug auf mögliche Zusammenhänge mit molassischen Verkieselungserscheinungen.

In den basalen Teilen des marinen Helvétien des weitern Bodenseegebietes findet man weit nach Norden eine bunte alpine Geröllschüttung, die in den Baltringerschichten des NW-Bodensees (Haus, 1952), am Irchel und übrigen Hochrheingebiet und auch in der OMM von St. Gallen (Freudenbergnagelfluh) in charakteristischer Form auftritt. Haus (1952) parallelisiert die Baltringerschichten mit den Grobkalken.

Über den Grobkalken von Wiechs (N Schaffhausen) liegen nun aber ebenfalls bunte alpine Gerölle, die wohl am ehesten mit der genannten bunten, alpinen Geröllschüttung zusammenhängen dürften. Über diesen alpinen Geröllschichten (die mit scharfer Grenze auf den Grobkalken liegen), folgen die Konglomerate der Juranagelfluh, im basalen Teil mit Geröllen, die von Pholaden angebohrt sind. Diese basalen Teile der Juranagelfluh sind also noch eindeutig marin (Austernnagelfluh?). Die stratigraphische Stellung der Grobkalke und damit der maximalen marinen Transgression des Miozäns (Klifflinie) bedarf deshab einer Überprüfung, insbesondere, weil die eindeutig jüngere Graupensandrinne mit ihren unverkennbar charakteristischen, einmaligen Quarzitgeröllhorizonten (siehe sedimentpetrographischer Teil) nach v. Braun (1953) dem *untern* Helvétien entsprechen soll und sich tatsächlich in der kritischen Zone des Hochrheingebietes unterhalb Schaffhausen deutlich bemerkbar macht. Diese Probleme sind *keinesfalls abgeklärt* und seien deshalb zur Diskussion empfohlen.

C. Obere Süßwassermolasse (OSM)

Die Verhältnisse zur Zeit der OSM sind vom Verfasser bereits an anderer Stelle (1955) beschrieben worden.

Mit dem Verschwinden des Helvétien trat im schweizerischen Molassetrog eine fast allgemeine Verlandung mit terrestrisch-fluviatiler Sedimentation ein. Im N entwickelte sich aber zur Zeit der OSM eine Rinnenzone mit limnisch-fluviatilen Verhältnissen, die Zone der *Glimmersandsteine*, die gegen S durch die Linie Baden (Lägern)—Winterthur—Frauenfeld—Kreuzlingen, gegen N durch die Juranagelfluhzone begrenzt ist. In diese seeartige Rinne mündeten aus S die Flüsse des Hörnlideltas, charakterisiert durch die kalkreichen *Knauersandsteine* der Kantone Thurgau und Zürich, die vollkommen von den limnischen, kalkarmen Glimmersandsteinen abweichen (siehe sedimentpetrographischer Teil).

Aus N mündeten die Flüsse der *Juranagelfluh*-Deltas in diese Rinne. Die Juranagelfluh ist vor allem im Hegaugraben, d. h. E der Randenverwerfung, auffallend mächtig entwickelt, ein Zeichen dafür, daß diese Bruchlinie schon älter angelegt war.

Die Glimmersandrinne entwickelte sich zu Beginn der OSM zuerst langsam (Haldenhof-Mergelstufe), dann plötzlich sehr stark mit maximaler S-Ausdehnung bis an die Thur (Frauenfeld). Dieser eigentliche Beginn der Glimmersand-Sedimentation fällt wahrscheinlich zusammen mit der Bildung des sogenannten «Appenzeller Granits» (Kalknagelfluh- und Brekzienschüttung im südlichen Hörnlifächer, mit alpinem Material, s. Büchi & Welti, 1950). Die anfängliche Ausdehnung der Glimmersande bis auf die S-Seite des Seerückens reduzierte sich aber rasch. Das südliche Ufer wich kontinuierlich zurück. In den höhern Schichten findet man Glimmersandsteine deshalb fast nur noch auf der Nordseite des Seerückens. Weiter im N (im zentralen Teil der Rinne) fehlen jegliche Knauersandsteinbänke. Die Glimmersand-Sedimentation ging dort fast kontinuierlich vor sich, lediglich unterbrochen durch Aufarbei-

tungshorizonte (Schienerberg, Rodenberg/Diessenhofen). Der Seerücken aber bietet einen aufschlußreichen Einblick in die Verhältnisse des südlichen Ufergebietes.

Die Glimmersande lassen sich nördlich der genannten Südbegrenzung bis ins Gebiet der Lägern und nördlich davon verfolgen. Sie haben am Aufbau des Irchels, der Gegend von Bülach und Embrach wesentlichen Anteil und werden dort als Gießereisande abgebaut.

Alpine Gerölle erreichten nur in der Gegend von Mammern an einer einzigen Stelle in äußerst bescheidener Zahl die Glimmersandrinne.

Der Übergang zwischen Glimmersandrinne und Juranagelfluh ist nirgends zugänglich. Er ist weitgehend der Erosion zum Opfer gefallen.

Zirka 40 m unterhalb der — mit dem Vulkanismus zusammenhängenden — starken alpinen Geröllschüttung der Konglomeratstufe hört am Seerücken die Glimmersand-Sedimentation auf. Am Schienerberg scheint diese Rinne ganz rudimentär während und nach dem Vulkanismus noch zu persistieren. Das plötzliche Zurückweichen der Glimmersande an der Basis der Öhningermergel ergibt zusammen mit der Basis der Konglomeratstufe und dem vom Verfasser nun auch am Seerücken nachgewiesenen Tuffitniveau (basaltischer Magnetit-Tuffit) erstklassige tektonische Leithorizonte und überraschende Korrelationsmöglichkeiten (Hofmann, 1955).

Vor dem Beginn der vulkanischen Eruption im Hegau hört die Juranagelfluhschüttung auf. Das Schwergewicht der Materialzufuhr verlagert sich in den Hörnlifächer.

D. Pliozän-Quartär

Auffallend ist die Tatsache, daß der weitaus größte Teil der schweizerischen Deckenschotter ebenfalls in der Rinnenzone liegt, die auf Grund der vorangehenden Darstellungen seit dem Helvétien existierte. Der Verfasser hat die Deckenschotter (1955) wenigstens teilweise (ältere Schotter) als mögliche pliozäne Schüttungsprodukte der alpinen Schlußfaltung aufgefaßt. In den meisten Fällen fehlen tatsächlich glaziale Anzeichen.

II. Sedimentpetrographische Untersuchungen

Es ist naheliegend, die Sande der beschriebenen und seit dem Helvétien nachweisbaren Rinnenzone:

Graupensande (unteres marines Rinnen-Helvétien)
Feinsande (oberes marines Rinnen-Helvétien)
Glimmersande (Obere Süßwassermolasse)

sedimentpetrographisch zu untersuchen und sie mit der Sandfazies des alpinen Hörnlifächers (Nagelfluhschüttungen), also den

Knauersandsteinen (OSM)

zu vergleichen, und gleichzeitig auch vorkommende Geröllhorizonte in die Untersuchung miteinzubeziehen.

A. Ergebnisse der sedimentpetrographischen Untersuchungen

1. Allgemeine petrographische Charakterisierung

In Tabelle I sind die wichtigsten Daten zusammengefaßt. Es sei besonders auch auf die Darstellung der Untersuchungsmethoden und weitere, detaillierte Angaben an anderer Stelle (Hofmann, 1955) verwiesen. Die Untersuchungsmethoden wurden sehr stark von der Gießereisand-Forschung her beeinflußt, auf welchem Gebiet der Verfasser seit einigen Jahren tätig ist.

Die Durchführung der Sieb- und Schlämmanalysen erfolgte mit Prüfgeräten der Georg Fischer Aktiengesellschaft, Schaffhausen, auf Grund der neuesten Erkenntnisse der Sanduntersuchung.

Es zeigt sich, daß die Sande der nördlichen Rinnenzone ohne Ausnahme kalkarm bis kalkfrei sind, während die Knauersande im Mittel 50 % Kalkgehalt aufweisen, der vorwiegend in Form von Körnern auftritt. Dabei handelt es sich um wenig verfestigte Typen. Stark verkittete Typen, die sich für granulometrische Untersuchungen nicht mehr eignen, können über 70 % Kalkgehalt aufweisen.

TABELLE I

Sieb-Fraktionen	Graupensand Wildensbuch ZH	Feinsand Lohn SH	Knauersand Seerücken	Glimmersand Seerücken
mm	%	%	%	%
über 1.5	3.1			
1.0 – 1.5	12.2			
0.6 – 1.0	35.1		0.1	
0.4 – 0.6	27.6	0.1	0.4	0.5
0.3 – 0.4	6.0	0.1	3.1	3.4
0.2 – 0.3	4.6	1.0	29.9	34.6
0.15 – 0.2	2.0	12.7	22.0	25.2
0.1 – 0.15	1.9	29.7	19.2	19.9
0.075 – 0.1	1.0	9.4	6.5	6.2
0.06 – 0.075	0.8	5.1	3.2	2.2
0.02 – 0.06	1.8	8.9	6.1	3.4
Schlämmstoffe	3.9	33.0	9.3	4.7
mittl. Korngröße mm	0.62	0.12	0.18	0.18
Sorting Coefficient	1.91	1.76	1.83	1.73
Karbonat %	2.5	0.0	45.0	7.7

Die Rinnensande sind hochgradige, wenn auch nicht vollkommene *Quarzsande* mit sehr wenig andern Körnern. Diese Eigenschaft erklärt ihre Verwendungsmöglichkeit als Gießereisande (Graupensande von Benken/Wildensbuch, oberflächlich entkalkte Glimmersande von Embrach). Die Produktion im nördlichen Kanton Zürich erreicht erheblichen Umfang.

Bei den Knauersanden tritt der Quarzgehalt zugunsten anderer Mineralien stark zurück.

Sie enthalten nebst hohem Kalkanteil wesentliche Mengen an Trümmern von Radiolariten, Hornsteinen i. A., Trümmern von kristallinen Schiefern und Ophiolithen.

Ebenfalls wesentlich ist der hohe Glimmeranteil der Rinnensande, die Graupensande ausgenommen. Die Sandsteine innerhalb der Juranagelfluhschüttung enthalten nur wenig Quarzkörner, dagegen vorwiegend Kalktrümmer aus Gesteinen des Tafeljura.

2. Schwerемineralführung

Tabelle II zeigt die Resultate der durchgeführten Schwerемineraluntersuchungen (Bromoformtrennungen).

Der hohe Anteil an ophiolithischen Trümmern bei den Knauersandsteinen kann am besten mit dem Aufbereitungsmikroskop im Auflicht erfaßt werden. Nur ein Teil der Ophiolith-Trümmer geht in die Schwerемineralfraktion. Der effektive Gehalt ist wesentlich höher. Jedenfalls darf der Ophiolith-Kornanteil keinesfalls vernachlässigt werden. Sein Vorhandensein erlaubt fundamentale Schlüsse.

TABELLE II

	Knauer-sand Seerücken	Glimmer-sand Seerücken	Sandstein der Juranagelfluh Altorf SH	Graupen-sand Wildensbuch	Feinsand Lohn SH
	%	%	%	%	%
Granat	8	67	—	44	8
Epidot	28	13	—	32	8
Staurolith	2	4	—	10	28
Ophiolith	42	1	—	—	—
Disthen	+	+	—	1	10
Turmalin	+	+	2	+	10
Hornblende	+	4	—	2	+
Rutil	+	+	24	3	13
Zirkon	1	+	57	+	9
Andalusit	—	1	—	+	+
Erz (Ilmenit)	16	6	17	6	5
Pigeonit	—	+	—	+	4

Bei den Knauersanden und den Glimmersanden handelt es sich um den Durchschnitt von je 6 verschiedenen Vorkommen

In die Schwerемineralfraktion der Sande der Juranagelfluh gehen vorwiegend Körner aus Bohnerz, die aus der terrestrischen Siderolithformation (Kreide-Eozän) auf dem Tafeljura stammen. Sie können durch Kochen in Salzsäure eliminiert werden. Der Anteil der verbleibenden Zirkon-Rutil-Erz-Fraktion an der Gesamtmenge der Körner ist sehr gering (ca. $^1/_{10}$ %). Dies beruht auf dem offenbar vorwiegend kalkigen Einzugsgebiet der Juranagelfluh. Der Schwerемineralbestand stimmt außerordentlich gut überein mit jenem der Quarzsande und Huppererden der jurassischen Siderolithformation (v. Moos, 1936).

3. Geröllunterschungen

Die Gerölle der Nagelfluhen des Hörnlifächers führen ostalpines, penninisches und in den höhern Vorkommen auch helvetisches Material. Es handelt sich durchwegs überwiegend um Kalk- und Dolomitgerölle, während der Kristallinanteil gering bleibt (Geiger, 1943).

Die Juranagelfluh setzt sich aus Geröllen der Sedimentbedeckung des Schwarzwaldes vorwiegend jurassischer Herkunft zusammen (Schaad, 1908).

Demgegenüber treten in den Feinsanden und vor allem innerhalb der Graupensande Geröllbänke auf, die von frühern Autoren (Schalch, 1914) als alpin angesehen wurden, aber vollkommen von den Geröllen der Juranagelfluh und des Hörnlifächers abweichen.

Tabelle III zeigt eine Geröllzählung einer Konglomeratbank innerhalb der Graupensande von Wildensbuch (Kanton Zürich).

TABELLE III

	%		%
Granit	4	Quarzite	64
Diorit	2	Lydite, massige Kieselgesteine	9
Syenit	2	Hornsteine, grünlich, grau	2
Gneis	2	Radiolarit, rot	+
Glimmerschiefer	+	Kalke, Dolomite, Kieselkalke	8
Kalksilikatfels	1	Flyschkalk	3
Marmor	2	Buntsandstein	1

Auffallend ist der überwiegende Quarzitanteil, der in keiner Weise mit irgendwelchen Nagelfluhen des Hörnlifächers übereinstimmt, noch erst recht nicht mit der Juranagelfluh.

Die Gerölle in den Feinsanden des Reyath (Lohn, Kt. Schaffhausen) sind fast ausschließlich Quarzite, die mit jenen von Wildensbuch identisch sind. Gleiche Geröllhorizonte treten in den Graupensanden von Benken (N Wildensbuch) und in den Feinsanden an der gleichen Lokalität und am NE-Kohlfirst (Schlatt, oberhalb Schaffhausen) auf. Sie machen sich auch in der OMM weiter westlich (Irchelgebiet) bemerkbar (unt. Helvétien nach v. Braun, 1953).

B. Interpretation der sedimentpetrographischen Untersuchungen

Die Sande der seit dem Helvétien existierenden nördlichen Rinnenzone weichen in ihrer Beschaffenheit grundsätzlich ab von jenen des Hörnlifächers (alpin) und der Schuttfächer der Schwarzwaldabdachung (Juranagelfluh).

Die Knauersande der Obern Süßwassermolasse entsprechen mit ihrem hohen Karbonatgehalt, den Radiolarit-, Ophiolith- und ähnlichen Trümmern ganz den Nagelfluhschüttungen des Urrheins (Hörnlidelta), aus denen sie hervorgingen. Sie beweisen ein ostalpin-penninisches Einzugsgebiet.

Demgegenüber beweisen die Glimmersande, die zur gleichen Zeit in der Glimmersandrinne abgelagert wurden, daß ihr Material weder aus dem Hörnlifächer noch aus den Juranagelfluhschüttungen stammten, sondern daß es aus Osten angeliefert wurde. Diese Rinne steht in unzweifelhaftem Zusammenhang mit der von Lemcke, v. Engelhardt und Füchtbauer (1953) in der bayrischen Molasse nachgewiesenen Rinnenzone.

Die Schweremineralführung mit dem überwiegenden Granatgehalt weicht vollkommen ab von jener der Knauersande (und der übrigen Sande des Hörnlifächers auch im Burdigalien und Tortonien). Die Zirkon-Rutil-Kombination der Juranagelfluhschüttungen vollends ist wiederum grundsätzlich verschieden. Die Schweremineralführung der Glimmersande paßt aber ohne weiteres zu den Angaben der genannten Autoren aus Bayern.

Weder die Juranagelfluh noch die Knauersandschüttung scheinen zur Zeit der Ablagerung der Glimmersande eine so große Aktivität entfaltet zu haben, daß sie die offenbar viel stärkere Quarzsandzufuhr der nördlichen Rinnenzone wesentlich beeinflußen konnten. Erst gegen W (Irchel-Lägern) scheint der Anteil an Material aus den Knauersandflüssen sich etwas stärker bemerkbar zu machen. Es wäre ein dankbares Thema, diese Detaileinflüsse abzuklären.

Über die weitere Entwicklung der Rinnenzone westlich der Lägern fehlen jegliche Anhaltspunkte. Eine Entwässerung nördlich des Kettenjura ist jedoch wahrscheinlich.

Als Vorläufer dieser Glimmersandrinne mit betont limnisch-lakustrem Charakter treten im marinen Helvétien die Feinsandrinne und die Graupensandrinne (Grob-

sande) auf. Sie mündeten in der Gegend SW Schaffhausen in das Helvétienmeer und verliefen grundsätzlich genau gleich wie die Glimmersandrinne.

Auch die Sande dieser Helvétienrinnen sind hochprozentige Quarzsande mit geringem Kalkgehalt. Die Grobsande sind überdurchschnittlich grob und stehen in scharfem Gegensatz zu den sehr feinen Sanden, die mit scharfer Grenze darüberliegen.

Sehr merkwürdig ist die Tatsache, daß die Schweremineralführung sehr verschieden ist. Die Graupensande erinnern stark an die Glimmersande; die Feinsande mit hohem Staurolith-Rutil-Turmalin-Gehalt jedoch zeigen wiederum einen sehr individuellen, jedenfalls aber auch nicht alpinen Charakter (siehe auch Renz, 1937, der zahlreiche Schweremineraluntersuchungen in der marinen Molasse von St. Gallen durchführte). Sie passen jedoch sehr wohl zu den Schweremineralkombinationen, die Lemcke, v. Engelhardt und Füchtbauer (1953) aus der bayrischen Rinnenzone im Helvétien beschreiben. Dort wird allerdings nirgends eine Feinsandzone über den Graupensanden erwähnt.

Das Einzugsgebiet scheint zur Zeit des Übergangs von den Grobsanden zu den Feinsanden plötzlich stark gewechselt zu haben, ebenso wieder beim Übergang zur obern Süßwassermolasse.

Von besonderem Interesse sind die Geröllhorizonte innerhalb der Graupensande und innerhalb der überlagernden Feinsande. Sie weichen völlig von jeder alpinen Geröllkombination ab und können weder aus den Alpen noch aus dem Schwarzwald stammen. Sie treten innerhalb der Rinnenzone des Helvétien unbeeinflußt von der sprunghaften Faziesänderung (Grobsand — Feinsand) durchgehend auf. Jedenfalls muß das Material ebenfalls durch die nördliche Rinnenzone hertransportiert worden sein. Möglicherweise kommt eine Herkunft aus dem böhmischen Massiv in Frage. Über den langen Transportweg reicherten sich die resistenten Quarzite an. Daß Quarzite von Kopfgröße auftreten, setzt allerdings starke Schüttungen voraus, die auch für den Transport der Grobsande Vorbedingung waren.

Zur Zeit der Glimmersande wurden keine Gerölle aus E geliefert. Im Burdigalien existierte die Rinnenzone mit der E-W-Schüttung noch nicht. Die Wende Burdigalien/Helvétien fällt jedoch mit bedeutenden tektonischen Vorgängen zusammen:

Kippbewegung des Molassebeckens in der Längsachse gegen W
Schüttung aus E und Entstehung der nördlichen Rinnenzone
Beginn der Heraushebung des Schwarzwaldmassivs
Beginn der Juranagelfluhschüttung.

Gleichzeitig entstand die Albsteinschwelle, die die Rinnenzone von den südlichen Meeresbuchten abtrennte. Die Aktivierung der vom Verfasser bereits an andrer Stelle (1955) postulierten E-Fortsetzung der jurassischen Aufschiebung (Kettenjura/Tafeljura) kann die Ursache für diese Erscheinungen sein. Sie zeigt den Beginn der Jurafaltung an und läßt sich bis ins Pliozän nachweisen.

Die Materialzufuhr aus den Alpen reichte im obern Helvétien wegen der Albsteinschwelle nicht bis in die Rinnenzone. Die Flüsse des Hörnlideltas mündeten damals in die St. Gallerbucht. Erst mit der Liquidation des Meeres mit fortschreitender Hebung im Rückland der jurassischen Aufschiebung gelangten diese Flüsse zur Zeit der obern Süßwassermolasse bis an die Schwellenzone und mündeten in die Glimmersandrinne. Die Ablagerung des meisten Materials erfolgte aber vor der Schwellenzone im terrestrischen Faziesbereich.

Mit dem Vulkanismus verschwand die Glimmersandrinne fast völlig. Starke alpine Hebungen förderten viel alpines Material bis in den Hegau hinaus. Diese Zeit des Vulkanismus und der Konglomeratstufe entspricht einer zweiten jurassischen Faltungsphase mit gleichzeitiger starker Heraushebung der alten hercynischen Massive.

Die Analogie der vom Verfasser angenommenen Schwellenzone in Verbindung mit der jurassischen Aufschiebungslinie und der dadurch bedingten nördlichen Rinnenzone mit der von Roll (1952) beschriebenen vindelizischen Randschwelle sind sehr auffällig, wenn es auch schwer fällt, sichere Zusammenhänge zu beweisen.

III. Tektonik und Vulkanismus

Als wesentlich neues tektonisches Element im ostschweizerischen Molassebecken vermutet der Verfasser die bereits erwähnte Fortsetzung der Kettenjura-Aufschiebung nach E, mit möglichen Zusammenhängen mit der seit dem Helvétien nachweisbaren Schwellen-Rinnen-Zone im nördlichen Trog. Auf derselben Linie liegen die steilen Nordabbrüche von Wellenberg und Ottenberg (Frauenfeld-Weinfelden, Kt. Thurgau), die mit der Hauptverwerfungslinie des Thurgrabens zusammenfallen. Es muß sich dabei um eine Hauptzerrungslinie mit vermutlich bedeutenden Ost-West-Schubkomponenten handeln. Vor dieser Linie, die von der Lägernaufschiebung nach E verläuft, liegen die Irchelstrukturen und die gleich orientierte Synklinalverbiegung im Seerücken (Thurgau). Es handelt sich dabei um Vorlandstrukturen, die eigentlich zur Fortsetzung des Tafeljuras gegen E gehören. Die Irchelstruktur ist nicht die Lägernfortsetzung im Sinne Greteners (1954), sondern gehört wie jene des Seerückens und wie die gleichsinnig orientierten Streichrichtungen am Kohlfirst, Rodenberg (Diessenhofen), W-Seerücken und Schienerberg zu den Anpressungserscheinungen des Vorlandes (Rinnenzone/Tafeljura) an die Schwarzwaldmasse.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Aufschiebungslinie eine Scherfläche darstellt, die bis ins Grundgebirge hinunterreicht. Sie findet ihre östliche Fortsetzung in der Bodenseetektonik. Die Gebiete nördlich der Linie liegen bereits außerhalb des jurassischen (und damit auch des eigentlich alpinen Systems). Sicher ist, daß die nördliche Randschwelle im Helvétien aktiviert wurde und daß Zusammenhänge mit der jurassischen Aufschiebung nicht von der Hand zu weisen sind.

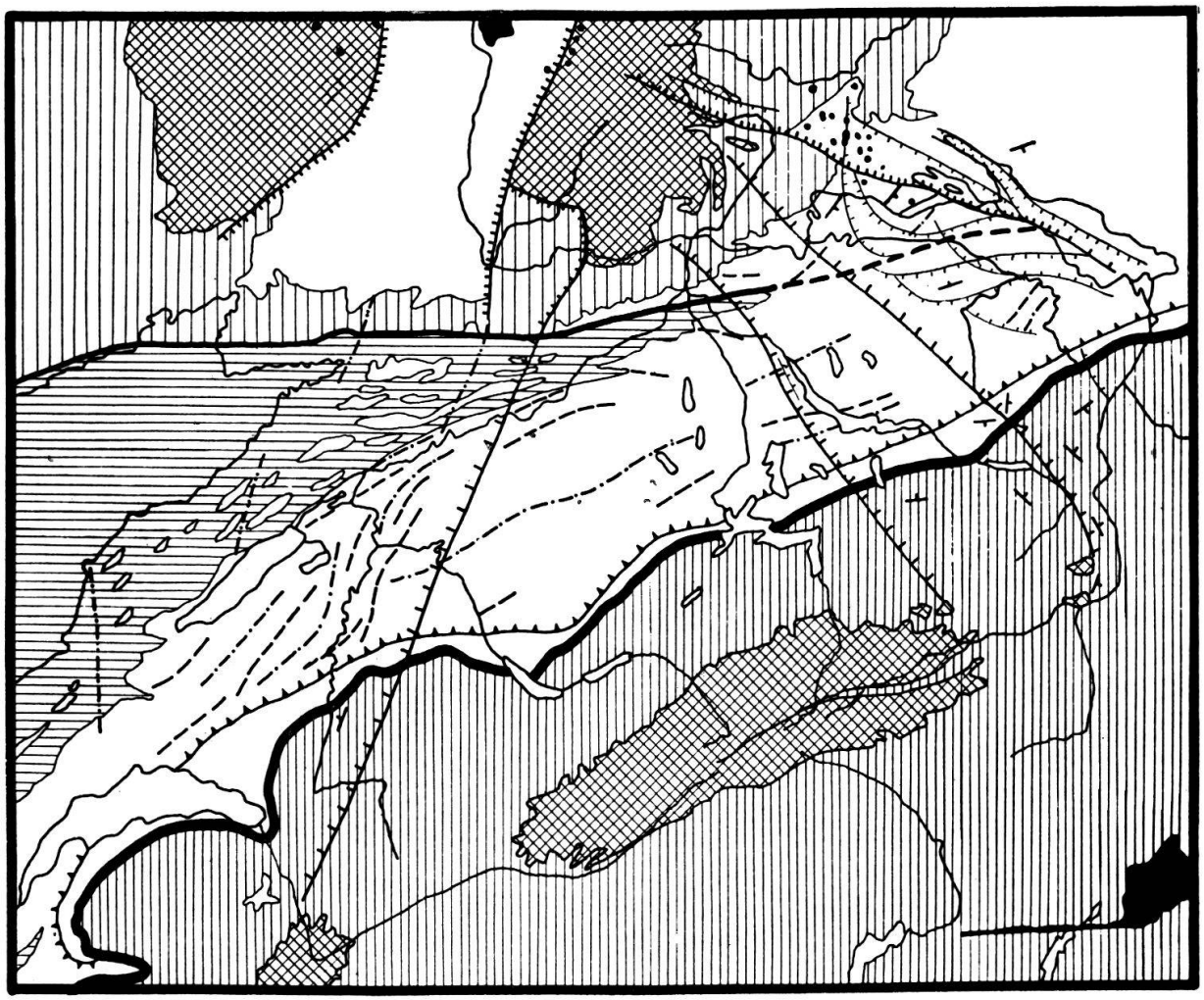
Die Bruchtektonik des Bodenseegebietes faßt der Verfasser als Resultat von Grundgebirgs-Schwellen und Hochzonen zwischen dem Aarmassiv im S und dem Schwarzwaldmassiv im N auf. Wie die jurassische Aufschiebungslinie, läßt sich dieses vermutete generelle Kristallin-Hoch in der Geschichte der Molasse zurückverfolgen. Es äußert sich schon im Oligozän mit der Entwicklung der Schuttfächer von Napf und Hörnli beidseits der Aufwölbung, in Mächtigkeitsreduktionen der Molasse, insbesondere der OMM südlich des Hörnli, im Auftreten von verbreiteten litoralen Muschelbänken im Burdigal im Aargau, gegenüber der tiefermeerischen Glaukonitfazies im Bodenseegebiet. Oligozäne tektonische Einflüsse äußern sich auch im Hegaugraben. Die Randenverwerfung muß damals schon angelegt worden sein, wie sich aus dem Auftreten von unterer Süßwassermolasse im Graben zwischen Thayngen und Bibern (Kt. Schaffhausen) und aus dem Fehlen derselben unmittelbar W davon auf dem Reyath ergibt. Auch die Bodensee-Rheintalsenke der OMM zeigt solche ältere tektonische Einflüsse an.

Diese Schwellenzone, die vom Verfasser zwischen Schwarzwald- und Aarmassiv-Ostende angenommen wird, zeigt eine Anpressungs-Seite im Bodenseegebiet. Die Ost-West-Stoßrichtungen führten zusammen mit den nördlichen Schubkomponenten zu zweiaxialen Druck- und Scherwirkungen (Hofmann, 1955). Die Existenz

dieser vom Verfasser vermuteten Hörnli-Schwelle äußert sich auch in folgenden Erscheinungen:

Am Calanda und Alvier verlaufen die Streichrichtungen der helvetischen Decken in auffallender Weise von SE nach NW in Richtung dieser Schwelle (zwischen Vättiser-Fenster und Schwarzwald). Die Bruchtektonik am Ostende des Säntisgebirges deutet in gleicher Richtung, und auch die Ost-West-Flexur der subalpinen Molasse im obern Toggenburg (H a b i c h t, 1945) hängt damit zusammen.

Auf der eigentlichen Hochzone der Hörnlischwelle ist die Bruchtektonik vermut-



kristalline Massive (Grundgebirge)
Tafeljura
Kettenjura
Alpen
Molasse
tertiäre Eruptivmassen u. Vulkane
Alpenrand
Hauptaufschiebung der subalpinen Molasse
vormiozäne Bruchlinien
nachmiozäne "
Antiklinalen
Synklinalen
Jura-Querstörungen
Kettenjura-Aufschiebung
" " , vermutl. E-Fortsetzung
vermutl. Grundgebirgsschwelle

Fig. 2

Tektonische Erscheinungen und vermutete tektonische Zusammenhänge im schweizerischen Molassebecken. — Die dargestellten Grundgebirgsschwellen sind nicht als Verwerfungslinien aufzufassen, sondern als vermutete altangelegte Schwellen, die von der Molassesedimentation überdeckt wurden.

lich schwächer entwickelt. Die in der mittelländischen Molasse (Zürichsee) nachweisbaren leichten Falten verlaufen bezeichnenderweise parallel dem Alpenstreichen. Es handelt sich um ein eher passives Gebiet.

Im Gebiet der Überschneidung der jurassischen Aufschiebung und der Hörnlischwellenzone zeigen sich interessante Erscheinungen, insbesondere das Abtauchen der Lägern-Antiklinale nach E. Da im E. die Mächtigkeit der Molasse vermutlich größer ist als auf der Hochzone, wirkte sich die Scherfläche der Juraaufschiebung weniger stark bis zur Oberfläche aus, als durch die relativ dünne Sedimentbedeckung auf der Hochzone selbst.

Von besonderer Bedeutung ist die Häufung vulkanisch bedingter Erscheinungen längs der vermuteten Schwellenzone, die als Grundgebirgsschwelle, nicht etwa als Verwerfung aufzufassen ist:

Hegauvulkanismus (obermiozän bis pliozän) mit den vom Verfasser nachgewiesenen Ausstrahlungen in der Ostschweiz (St. Gallen-Bernhardzell, Bischofszell, Seerücken),

Verkieselungserscheinungen in der OMM von St. Gallen, schwächer auch im Oligozän (Kt. Appenzell) und in der obern Süßwassermolasse (Kt. St. Gallen, Hegau),

Telemagmatische Erscheinungen (Silexite und Fluorite am Säntis, Erzlagerstätten im St. Galler-Oberland und Graubünden).

Diese Zerrungslinie gehört zur alpinen Trennungszone zwischen Ost- und Westalpen mit vulkanischen Erscheinungen von der Poebene bis in den Schwarzwald.

Auffallenderweise zeigen sich auch auf der passiveren Rückseite der kristallinen Massivzone, auf der Linie, die aus der südlichen Fortsetzung des östlichen oberrheinischen Grabenrandes in Richtung auf die Westseite des Montblanc-Aiguilles Rouges-Massives verläuft, gewisse Analogien, die auf das Vorhandensein einer tektonischen Querzone durch das Molassebecken deuten. Jedenfalls verlaufen aus der Gegend von Freiburg in Richtung auf Solothurn die dortigen leichten Antiklinalstrukturen in merkwürdiger Weise parallel der genannten Linie. Es dürfte sich um passive Verfaltungen handeln, die das Resultat der genannten, im W aber stark abgedämpften Ost-Westschübe sind (siehe Karte bei Schuppli, 1952). Das Vorhandensein einer alt angelegten Schwelle im Grundgebirge ist nicht von der Hand zu weisen (siehe auch Vonderschmitt & Tschopp, 1953). Sie kann durch die Molasse-Sedimentation vollkommen verdeckt sein und muß das generelle Axengefälle nach E in der Bernermolasse keineswegs beeinflußen.

Auf dieser westschweizerischen tektonischen Querrichtung im Molassebecken treten vulkanisch bedingte Erscheinungen nur noch sehr untergeordnet auf, aber sie fehlen nicht. Es ergeben sich sogar interessante Analogien zur Ostschweiz:

Wie in der Ostschweiz, finden sich auch in der OMM der Bernergegend *verkieselte Hölzer,* die mit jenen der St. Gallergegend durchaus identisch sind. Es handelt sich um Exemplare aus der OMM des Belpberges, teilweise um solche, die aufgearbeitet im Diluvium gefunden wurden. Diese noch nie bearbeiteten fossilen Hölzer wurden nach Bekanntwerden der Verkieselungen in der St. Gallermolasse (Büchi & Hofmann, 1945) von Herrn Dr. E. Gerber aus der Sammlung des Naturhistorischen Museums in Bern ausgegraben und vor 10 Jahren durch den Autoren zusammen mit Herrn Dr. U. Büchi und Herrn Prof. Frei-Wyssling bearbeitet. Der Verfasser dankt Herrn Dr. Gerber für die freundliche Erlaubnis, diese Funde an dieser Stelle erwähnen zu dürfen.

Es handelt sich um dieselben Holzarten, wie sie in der OMM der Ostschweiz auftreten, insbesondere um Lauraceen. Der Erhaltungszustand ist sogar meist wesentlich besser, und es sind sogar Reste des Zellinhaltes noch vorhanden. Diese Feststellungen

stützen einmal mehr die damals geäußerte Ansicht, daß die Verkieselung im lebenden Zustand stattgefunden haben muß. Die glazial aufgearbeiteten Exemplare können selbstverständlich nur aus der Molasse stammen.

Merkwürdigerweise stammen die Berner Funde offenbar vorwiegend aus dem Helvétien (Belpberg), die St. Galler Funde aber aus dem Burdigal (nur ein Fund aus dem Helvétien).

Auch in der obern Süßwassermolasse von Le Locle finden sich Kieselsedimente («verkieselte Süßwasserkalke»), die größte Ähnlichkeit mit gleichartigen Bildungen am Hohenstoffel (Weiterdingen, Hegau) aufweisen. Sie wurden von Favre (1911) beschrieben.

Zu diesen Erscheinungen kommen die *Montmorillonite* von Le Locle (Favre, 1911), ebenfalls in der Obern Süßwassermolasse. Sollte die sedimentpetrographisch-tonmineralogische Untersuchung die bentonitische Natur dieser Tone bestätigen, so wäre damit ein äußerst wertvolles vulkanisches Anzeichen aus der jurassischen Molasse gesichert.

Die Sedimentationsverhältnisse und die vulkanischen und tektonischen Zusammenhänge sind in den Fig. 1 u. 2 dargestellt.

Wichtigste Literatur

Baumberger, E. (1934): Die Molasse des schweizerischen Mittellandes und des Juragebirges. Geol. Führer Schweiz, p. 57–75.

Braun, E. v. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Hochrheingebiet zwischen Zurzach und Eglisau. Eclogae geol. Helv., 46/2.

Büchi, U. & Hofmann, F. (1945): Über das Vorkommen kohlig-kieseliger Schichten und verkieselter Baumstämme in der obern marinen Molasse von St. Gallen. Eclogae geol. Helv., 38/1.

— (1945): Die obere marine Molasse zwischen Sitter-Urnäsch und dem Rheintal. Eclogae geol. Helv. 38/1.

Büchi, U. P. (1950): Zur Geologie und Paläogeographie der südlichen mittelländischen Molasse zwischen Toggenburg und Rheintal. Diss. Univ. Zürich. Kreuzlingen.

Büchi, U. P. & Welti, G. (1950): Zur Entstehung der Degersheimer Kalknagelfluh im Tortonien der Ostschweiz. Eclogae geol. Helv., 43/1.

Erb, L. (1931): Geologische Spezialkarte von Baden. Erläuterungen zu Blatt Hilzingen. Bad. geol. Landesanst., Freiburg i. Br.

— (1934): Geologische Spezialkarte von Baden. Erläuterungen zu Blatt Ueberlingen und Blatt Reichenau. Bad. geol. Landesanst., Freiburg i. Br.

— (1953): Die geologischen und besonders strukturellen Verhältnisse des Raumes um den nordwestlichen Bodensee in geodätischer Blickrichtung. Deutsche geodät. Komm., Arb. der Bodenseekonferenz, Geol. Gutachten. München, Deutsches geodät. Forschungsinst.

Favre, J. (1911): Description géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds. Diss. Univ. Genf, Lausanne.

Geiger, E. (1943): Erläuterungen zu Blatt 16 (Pfyn-Märstetten-Frauenfeld-Bussnang) des geol. Atlas der Schweiz.

Gretener, E. (1954): Schweremessungen nordwestlich von Zürich und ihre geologische Interpretation. Eclogae geol. Helv., 47/1.

Grim, R. E. (1953): Clay Mineralogy. McGraw-Hill Book Co., New York.

Habicht, K. (1945): Geologische Untersuchungen im südlichen st. gallisch-appenzellischen Molassegebiet. Beitr. geol. Karte d. Schweiz, NF, 83.

Hadding, A. (1932): The Pre-Quaternary Rocks of Sweden, IV, Glauconite and Glauconite Rocks. Medd. Lunds Geol.-Min. Inst., 51.

Haus, H. A. (1952): Das Molassebecken im südwestdeutschen Raum. Bull. Ver. schweiz. Petr.-Geol. u. Ing., 19/57.

Heermann, O. (1954): Erdölgeologische Grundlagen der Aufschlußarbeiten im ostbayrischen Molassebecken. Bull. Ver. schweiz. Petr.-Geol. u. Ing., 21/60.

Hofmann, F., Geiger, Th. & Schwarzacher, W. (1949): Ueber ein Vorkommen von Montmorillonit in der ostschweizerischen Molasse. Schweiz. Min.-Petr. Mitt., 29/1.

Hofmann, F. (1951): Zur Stratigraphie und Tektonik des st. gallisch-thurgauischen Miozäns (Obere Süßwassermolasse) und zur Bodenseegeologie. Ber. Tätigkeit st. gall. naturw. Ges., 74.

— (1952): Zur Stratigraphie und Tektonik des ostschweizerischen Mittellandes. In Schuppli, H. M.: Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, IV, 9/10, Beitr. geol. Karte der Schweiz, geot. Serie, 26/4.

— (1953): Die strukturellen Verhältnisse der Molasse im ostschweizerischen Bodenseegebiet (mit spezieller Berücksichtigung der möglichen Auswirkungen in geodätischer Hinsicht). Deutsche geodät. Komm., Arb. d. Bodenseekonferenz, Geol. Gutachten, München, Deutsches geodät. Forschungsinst.

— (1955): Neue geologische Untersuchungen in der Molasse der Nordostschweiz. Eclogae geol. Helv., 48/1.

Kiderlen, H. (1931): Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des süddeutschen Tertiärs. Neues Jahrb. f. Min. etc., Beilageband 66/B.

Kopp, J. (1952): Die Erdölbohrung Altishofen. Bull. Ver. Schweiz. Petr.-Geol. u. Ing., 19/57.

Lemcke, K., v. Engelhardt, W. & Füchtbauer, H. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. Beihefte geol. Jahrb., 11. Hannover.

Moos, A. v. (1936): Zur Petrographie der Quarzsande und mageren Huppererden der Bohnerzformation im schweizerischen Juragebirge. Schweiz. Min.-Petr. Mitt., XVI.

Renz, H. H. (1937): Zur Geologie der östlichen st. gallisch-appenzellischen Molasse. Jahrb. st. gall. naturw. Ges., 69.

Roll, A. (1952): Der unmittelbare Nachweis des vindelizischen Rückens unter der süddeutschen Molasse. Geol. Rdsch., 40/2.

Rutsch, R. (1933): Beiträge zur Geologie der Umgebung von Bern. Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F., 66.

Schaad, E. (1908): Die Juranagelfluh. Beitr. geol. Karte Schweiz, XXII, NF.

Schalch, F. (1914): Das Tertiärgebirge auf dem Reyath, Kanton Schaffhausen. Mitt. bad. geol. Landesanst., 7.

Schuppli, H. M. (1950): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, III/8: Oelgeologische Untersuchungen im schweizerischen Mittelland zwischen Solothurn und Moudon. Beitr. Geol. Karte Schweiz, Geotechn. Serie, 26/III.

— (1952): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, IV/9/10: Oelgeologische Probleme des Mittellandes östlich der Linie Solothurn-Thun. Beitr. Geol. Karte Schweiz, Geotechn. Serie, 26/IV.

Seemann, R. (1929): Stratigraphische und allgemein geologische Probleme im Obermiozän Südwest-Deutschlands. Neues Jahrb. für Min. etc., Beilageband 63/B.

Vonderschmitt, L. & Tschopp, H. J. (1953): Die Jura-Molassegrenze in der Bohrung Altishofen. Bull. Ver. Schweiz. Petr.-Geol. u. Ing., 20/58.

Manuskript eingegangen am 1. Juli 1955