Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 58 (1965)

Heft: 1

Artikel: Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz

Autor: Büchi, Ulrich P. / Wiener, Gabriel / Hofmann, Franz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-163259

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 10.08.2025

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

Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz

Von **Ulrich P. Büchi** (Forch/Zürich), **Gabriel Wiener** (Bern)
und **Franz Hofmann** (Neuhausen am Rheinfall)

Mit 5 Textfiguren und 1 Tafel (I)

«In ihrem ganzen Verhalten liefert uns die Verteilung alpiner Klastika in den verschiedenen Molassestufen ein Negativ der tektonischen Verhältnisse im Hinterland. – So ergänzt die Untersuchung alpiner Vorlandablagerungen das Bild vom Werden der Alpen.» *J. Cadisch* 1928

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erdöltiefbohrungen der Jahre 1960 bis 1964 in den Konzessionsgebieten der SEAG und der LEAG haben wertvolle neue Erkenntnisse über die Sedimentationsverhältnisse im Molassebecken des schweizerischen Mittellandes geliefert.

Die Bohrprofile liessen sich litho-faziell untergliedern, und, unter Zuhilfenahme von Schlumbergerdiagrammen, untereinander sowie mit den geologischen Verhältnissen am Beckenrand vergleichen.

Auf Grund der lithologischen, faziellen und sedimentpetrographischen Daten war es möglich, die wichtigsten paläogeographischen Verhältnisse während der Molasse-Sedimentation wiederzugeben. So konnten auch die Beziehungen der aus dem aufsteigenden Alpenkörper in den nördlichen Vorlandtrog konsequent sedimentierenden Flußsysteme zu den im Trog selbst axial gerichteten Strömungstransporten aufgezeigt werden. Zur Illustration der Daten und Vorgänge dienen 5 Textfiguren (Karten und Diagramme) und 1 Tafel.

ABSTRACT

From 1960 to 1964 five deep tests for oil were drilled in the eastern Molasse basin of Switzerland.

The Tertiary stratigraphic column could be broken down into correlatable lithofacies units which were compared with some older borehole-logs and with the outcropping formations mainly at the margins of the basin.

Based on the new data on lithology, facies and sedimentary petrography the main paleographical conditions during the Molasse sedimentation could be presented. Relationship between the rising alps, the consequent deposition into the northern trough and the axial transport within the basin could be illustrated [1 plate and 5 textfigures (maps and diagrams)].

1. Einleitung

In den Jahren 1960–1964 wurden in den Konzessionsgebieten der SEAG und LEAG die nachstehenden Tiefbohrungen niedergebracht, die der erdölgeologischen Untersuchung der Molasse und des mesozoischen Untergrundes dienten.

Bohrung Küsnacht 1 (1960): Bearbeiter: U. P. BÜCHI, C. COLOMBI, W. R. FEHR, K. LEMCKE, K. KOEWING, F. HOFMANN, H. FÜCHTBAUER, R. TRÜMPY.

Bohrungen Kreuzlingen 1 (1962), Pfaffnau 1 (1963/64), Lindau 1 (1964), Berlingen 1 (1964): Bearbeiter: Lithologie, Profilgliederung und Spezialprobleme: U. P. BÜCHI, G. WIENER, K. LEMCKE, F. HOFMANN, H. FÜCHTBAUER, H. WECHSLER.

Obwohl es sich um ein noch weitmaschiges Beobachtungsnetz handelt, war es bereits möglich, wertvolle neue Erkenntnisse hinsichtlich Lithologie, Fazies, Sedimentpetrographie und Paläogeographie zu gewinnen, welche in der vorliegenden Publikation nur für die Molasse in gedrängter Fassung zur Darstellung gelangen, während die prätertiären Sedimente und der kristalline Untergrund in einer späteren Arbeit behandelt werden sollen.

Zur Ergänzung der Isohypsen- und Isopachen-Karten (Fig. 3–5) dienten Messungen und Untersuchungen an Oberflächenaufschlüssen und in Sondierbohrungen, ferner die Resultate der Tiefbohrungen Altishofen (KOPP J., 1955) und Eglisau 2 (CADISCH J., 1959) und die durch die seismischen Aufnahmen gelieferten Daten.

Mächtigkeits- und Höhenangaben einzelner Bezugspunkte beziehen sich auf noch unveröffentlichte Kartierungsarbeiten von U. P. BÜCHI, F. HOFMANN und G. WIENER.

Die lithologisch-fazielle und sedimentpetrographische Bearbeitung der zur Verfügung stehenden Bohrkerne und Cuttings hat wiederum eindrücklich auf die engen Beziehungen zwischen alpinem Abtragungsraum und molassischem Vorlandtrog hingewiesen und unsere diesbezüglichen Erkenntnisse wertvoll erweitert. Dieses Wechselspiel zwischen werdendem alpinem Raum und Molassesenke, mit seiner Vielfalt von geologischen Erscheinungen, hat seit Generationen immer wieder schweizerische und ausländische Geologen fasziniert. In diesem Zusammenhang möchten wir speziell auch auf die Publikation unseres Jubilars, Herrn Professor J. CADISCH: «Das Werden der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation», (1928) hinweisen.

Der SEAG, Aktiengesellschaft für schweizerisches Erdöl, St. Gallen, der LEAG, Aktiengesellschaft für luzernisches Erdöl, Luzern, und der Gewerkschaft Elwerath, Erdölwerke Hannover, sprechen wir für ihr Einverständnis, die Untersuchungsergebnisse der Erdöltiefbohrungen veröffentlichen zu dürfen, unseren verbindlichen Dank aus.

Herrn Dr. K. Lemcke, München, gebührt unser besonderer Dank für viele Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

2. Lithologische Gliederung (Tafel I)

Die lithologische Unterteilung der Molasse erfolgte nach Cuttings, Kernen, sedimentpetrographischen Untersuchungen, sowie auf Grund von Schlumbergerdiagrammen. Vor allem für die Obere Meeresmolasse und Obere Süsswassermolasse

ergab sich eine weitgehende lithologische Übereinstimmung zwischen den Bohrprofilen und den Oberflächenaufschlüssen der Ostschweiz (Tafel I).

2.1 DIE UNTERLAGE DER MOLASSE: MALM, BOHNERZFORMATION UND KRUSTENKALKE

Erwartungsgemäss bildet im Untersuchungsgebiet der verkarstete, z. T. von der Bohnerzformation bedeckte Malm den Molasseuntergrund. In einem Teil der Bohrungen wurde der oberste Malm gekernt. Aus der Bohrung Kreuzlingen 1 liegt Kernmaterial vor, das ausserordentlich fossilreich ist; bisher konnten *Schwämme*, *Korallen*, *Brachiopoden*, *Echinodermen* (u. a. Seeigelstacheln), bestimmt werden. Auf Grund dieser Faunengemeinschaft und der lithologischen Ausbildung des Kalkes liegt ein typischer Riffkalk vor. Das Kernmaterial aus den anderen Bohrungen ist fossilarm und die Fossilreste sind häufig stark rekristallisiert. Das Fossilmaterial wird z. Z. durch B. Ziegler, Paläontologisches Institut der Universität Zürich, bearbeitet; es ist zu hoffen, dass die noch ausstehenden Resultate eine stratigraphische Einstufung der obersten Malmschichten erlauben werden.

In der Bohrung Küsnacht 1 wurden unter der Bohnerzformation vermutlich die Effingerschichten (Malm alpha) angetroffen, während in den anderen Bohrungen höhere Malmstufen das Liegende der Molasse bilden. Gemäss den Schlumbergerdiagrammen, in welchen die mergeligen Badenerschichten meist gut zu erkennen sind, muss es sich um höheres Kimmeridgien bis Portlandien (Malm delta bis zeta) handeln. Trotz der noch bestehenden Unsicherheiten in der altersmässigen Datierung der obersten Malmschichten ist erwiesen, dass im Gebiet der Bohrung Küsnacht (Malm alpha), ähnlich wie an der Lägern (Wettingerschichten, Malm delta), der eozäne Abtrag am tiefsten in den Malm hinunterreicht, im Falle der Bohrung Küsnacht 1 sogar unter die Badenerschichten. Im Gebiet des Bodensees (Bohrungen Kreuzlingen 1 und Berlingen 1) und im Kanton Luzern (Bohrungen Altishofen und Pfaffnau 1) sind über den Badenerschichten mindestens noch 100 bis 200 m höherer Malm von der Erosion verschont geblieben. Im Gebiet Lägern/Küsnacht muss somit während des Eozän, evtl. schon während der Kreidezeit, eine Zone stärkerer Hebungen bestanden haben. Gewisse Beobachtungen sprechen für einen mehr oder weniger N–S gerichteten Verlauf dieser Hochzone; möglicherweise bildet die von W. Elberskirch und K. Lemcke (1955) angenommene, tektonische Lägern/Bregenz-Linie ihren nördlichen Abschluss, wofür die über den Badenerschichten erhaltene grössere Malmmächtigkeit von 140 m in der Bohrung Eglisau 2 (J. Cadisch, 1959) sprechen würde.

In allen bisherigen Bohraufschlüssen liessen sich meist deutliche Anzeichen der eozänen Verwitterungsepoche nachweisen. Die mächtigen siderolithischen, Boluston und reichlich Bohnerz führenden Bildungen in der Bohrung Küsnacht 1, welche auf eine Verkarstungstasche von minimal 20 m Tiefe traf, wurden bereits früher beschrieben (U. P. Büchi und Mitarbeiter, 1961; W. Epprecht, 1963).

In der Bohrung Lindau 1 trat in den Spülproben ab 1674 m bis 1693 m mittelrotbrauner und ockergelber Boluston zusammen mit Malmkalk auf; auch wurden Huppersand-Quarzkörner der Mittel- bis Grobsandfraktion beobachtet. Ob das

Siderolithikum hier eine durchgehende Lage über den Malmkalken bildet oder ob die Ton-Cuttings und der Huppersand aus Klüften stammen, kann nicht entschieden werden.

In den Malmkalken der Bohrungen Berlingen 1 und Kreuzlingen 1 wurden grüne, beige und rötlichbraune cm-dicke Tonlagen als Spaltenfüllungen festgestellt. Anhand der Cuttings scheint auch an der Grenze Malm/Molasse eine Bolustonlage vorhanden zu sein, über deren Mächtigkeit wir jedoch nichts aussagen können.

In der Bohrung Pfaffnau 1 fehlt am Kontakt Molasse/Malm die Bohnerzformation völlig. In tiefgreifenden Klüften des Malmkalkes jedoch traten Verwitterungskrusten und grünliche, oft limonitische, mm-dicke Tonüberzüge auf, die offenbar zum Siderolithikum zu rechnen sind.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass in der Bohrung Pfaffnau-Süd 1 – die Ergebnisse werden später publiziert – Boluston im Kern erfasst wurde. Der 3 m mächtige rote und ockergelbe Ton mit Einlagerungen von Huppersand wird von einem beigen, 2,6 m dicken Krustenkalk von ähnlicher Ausbildung wie die von F. Hofmann (1960) beschriebenen Vorkommen im Kanton Schaffhausen überlagert.

2.2 UNTERE SÜSSWASSERMOLASSE (USM)

Innerhalb der monotonen Wechselfolge von bunten Mergeln und Sandsteinen fluvioterrestrischer Entstehung sind echte limnische Einschaltungen (Ablagerungen in stehenden Gewässern) ausserordentlich selten. Makrofossilien wurden nur ganz vereinzelt beobachtet (Tafel I).

Eine Unterteilung der USM in Chattien (mittleres und oberes Stampien) und Aquitanien im Sinne der im subalpinen Bereich der Ostschweiz üblichen Zweiteilung war auf Grund des lithologischen und sedimentpetrographischen Befundes nicht durchführbar. In allen Bohrprofilen lässt sich jedoch im tieferen Teil der USM in den Mergeln ein Zurücktreten der roten Farbtöne zugunsten grauer und grünlicher Färbungen beobachten. In der Bohrung Pfaffnau 1 fällt dieser Farbumschlag ungefähr mit dem Auftreten von Ölsanden zusammen, die anscheinend in einem ähnlichen stratigraphischen Niveau liegen wie jene von Aarwangen/Murgenthal. Von A. Erni und P. Kelterborn (1948) werden letztere ins Chattien gestellt. Der genannte Farbumschlag könnte ungefähr mit der Grenze Chattien/Aquitanien übereinstimmen. Damit scheint das Chattien der Bohrung Pfaffnau 1 wesentlich geringmächtiger zu sein als im Gebiet Aarwangen–Wynau; vor allem fehlen die typischen basalen Kalkbänke der Wynauer Molasse. Auf die Möglichkeit einer Sedimentationslücke, welche südlich der Aare nicht nur vom Malm bis ins Unterstampien (Rupélien) reicht, sondern auch Teile der Aarwangener Molasse (mittleres Stampien) betrifft, haben bereits L. Vonderschmitt und H. J. Tschopp (1953) beim Vergleich des Profils Altishofen mit den Aufschlüssen bei Wynau–Aarwangen, aufmerksam gemacht. Andererseits bestehen jedoch auf Grund neuerer Kartierungen Anhaltspunkte, dass die bisherigen Mächtigkeitsangaben aus dem Gebiet Aarwangen–Wynau zu hoch sind und wesentlich reduziert werden müssen.

Der oberste, stark mergelige Teil der USM kann mit der oberaquitanen Mergelzone am Südrand der mittelländischen Molasse im Bereich der Hörnlischüttung korreliert werden. Ähnliche Vermergelungstendenzen im obersten Aquitanien sind auch weiter westlich, im Gebiet des Sihltales bekannt geworden, ferner am Jurasüdfuss (Lägern, Ziegeleigruben Eglisau und Rafz), so dass sie regionalen Charakter zu besitzen scheinen; dabei ist zu berücksichtigen, dass die burdigale Transgression die höchsten Teile der Schichtfolge lokal erodiert haben kann.

Eine detaillierte sichere Verknüpfung einzelner Schichtpakete oder gar einzelner Schichten der USM anhand der Schlumbergerdiagramme ist wegen des noch weitmaschigen Bohrnetzes nicht möglich. Infolgedessen sind auch Vermutungen über Störungen, die in den einzelnen Bohrungen vielleicht durchfahren wurden, einstweilen noch recht spekulativ.

2.3 OBERE MEERESMOLASSE (OMM)

Die Gesteine der OMM wurden zum grössten Teil in marinem Milieu abgelagert; es handelt sich überwiegend, wenn nicht ausschliesslich, um flachmeerische Sedimente. Einschaltungen von fluvioterrestrischen und brackischen Serien liessen sich in verschiedenen Bohrungen beobachten.

Ähnlich wie in den klassischen Aufschlüssen von St. Gallen kann die OMM in zwei Hauptabteilungen untergliedert werden, die auf Grund der bisherigen Fossilfunde als Burdigalien und Helvétien bezeichnet werden (R. Rutsch, 1929, U. P. Büchi, 1956).

An dieser Gliederung wurden bei der Bearbeitung der Bohrung Küsnacht 1 (U. P. Büchi und Mitarbeiter, 1961) gewisse Vorbehalte geäussert und die OMM neu in drei Abteilungen unterteilt, indem das höhere «Burdigalien» (Muschelsandstein bis Basis erste Nagelfluhbank) als mittlere Abteilung ausgeschieden wurde. Die erwähnte Nagelfluh, die der Freudenberg-Nagelfluh im Gebiet von St. Gallen entspricht, galt bisher in der Ostschweiz als Basis des Helvétien, während die darunter liegende Zone vor allem auch aus faziellen Gründen ins Burdigalien gestellt wurde. Gemäss Schlumbergerlog-Vergleichen mit der süddeutschen Molasse aber bestehen Anhaltspunkte, dass die mittlere Abteilung der OMM, entsprechend der in Süddeutschland üblichen, paläontologisch jedoch nur teilweise gesicherten Gliederung, möglicherweise den tieferen Teilen des Helvétien entspricht.

Die für die Bohrung Küsnacht getroffene Gliederung, die sich gut mit den Aufschlüssen am südlichen Beckenrand sowie mit den Verhältnissen am Nordrand des Beckens an der Lägern vergleichen lässt, kann auch in den anderen Bohrungen wieder erkannt werden (Tafel I).

2.3.1 Untere Abteilung der Oberen Meeresmolasse (Burdigalien – s. str.)

Die Transgressionssedimente des miozänen Meereseinbruches liegen mit scharfer Grenze auf den fluvioterrestrischen Sedimenten der USM. Die meist stark glaukonitischen Basissandsteine können Gerölle führen und sind oft als Muschelsandstein entwickelt. Sie werden von einer monotonen Sandsteinfolge überlagert, die nur vereinzelt Fossilreste, wie aufgearbeitete Muschelschalen und Pflanzen-

häcksel, führt. Die vorwiegend gelbgraugefleckten Mergeleinlagerungen in der Bohrung Küsnacht 1 sind in fluvioterrestrischem, evtl. z. T. brackischem Milieu sedimentiert worden. Die Transgressionssedimente und die monotone Sandsteinfolge sind mit dem burdigalen Basiskonglomerat und den untersten Plattensandsteinen von St. Gallen zu korrelieren (U. P. BÜCHI, 1956).

2.3.2 Mittlere Abteilung der Oberen Meeresmolasse (Höheres Burdigalien im Sinne der Gliederung von St. Gallen)

Die mittlere Abteilung der OMM beginnt mit einem fossilreichen Sandsteinkomplex, der in den meisten Bohrungen als typischer Muschelsandstein ausgebildet ist. Er ist altersmässig mit dem Hauptmuschelsandsteinhorizont am Beckennordrand (U. P. BÜCHI und F. HOFMANN, 1960) und mit der oberen Seelaffe des St. Galler-Gebietes (U. P. BÜCHI, 1956) zu parallelisieren. Das von J. KOPP (1955) in der Bohrung Altishofen beschriebene Muschelsandsteinvorkommen ist älter und möglicherweise mit der unteren Seelaffe von St. Gallen zu korrelieren.

Über dem Muschelsandstein liegen glaukonitische Sandsteine z. T. mit Einschaltungen von meist gelbgrau-gefleckten fluvioterrestrischen, evtl. brackischen Mergeln und Mergelsandsteinen. Diese Serie entspricht den mittleren Plattensandsteinen von St. Gallen. Eine Zone mit gelbgraugefleckten Mergeln im höchsten Teil der mittleren Abteilung der OMM der Bohrungen Küsnacht 1, Berlingen 1 und Kreuzlingen 1 könnte man dem fluvioterrestrischen, z. T. brackischen, burdigalen Zwischenkomplex von St. Gallen gleichsetzen (U. P. BÜCHI, 1956).

2.3.3 Obere Abteilung der Oberen Meeresmolasse (Helvétien im Sinne der Gliederung von St. Gallen)

Übereinstimmend mit den Verhältnissen an den Beckenrändern (Jurasüdfuss: Kantone Luzern, Aargau, Zürich und am Südrand der mittelländischen Molasse: oberer Zürichsee und St. Gallen) lassen sich in den Bohrungen zwei klare Sedimentationszyklen erkennen, welche beide mit einer Nagelfluhbank transgressiv beginnen. In beiden Zyklen werden die Nagelfluhen von meist schlecht verkitteten, z. T. schwach glaukonitischen Sandsteinen überlagert, die oft mehr oder weniger stark geröllführend sind; vereinzelt führen sie Austernschalen.

Die beiden Nagelfluhbänke sind mit den zwei Quarzitnagelfluhen der Napfschüttung südlich der Lägern zu korrelieren, bzw. entsprechen sie vermutlich der Freudenbergnagelfluh (Basis erster Zyklus) und der Dreilindennagelfluh (Basis zweiter Zyklus) der Hörnlischüttung bei St. Gallen. Die häufig geröllführenden brackisch bis marinen Sandsteine des zweiten Zyklus werden in der Regel längs einer markanten Grenze von den eindeutig fluvioterrestrischen Sedimenten der OSM überlagert. Nur in der Bohrung Berlingen 1 traten in der obersten OMM geröllführende Sandsteine von grünlichen Mergeln überlagert auf, welche mit der Süssbrackwassermolasse östlich des Bodensees vergleichbar sind und kontinuierlich in die OSM überleiten. Die höchsten Schichtglieder des Helvétien (Süssbrackwassermolasse, Graupensande, Kirchbergerschichten) entsprechen altersmässig den

Schiefermergeln von Goldbrunnen/Hagenbuch und der Oberen Grenznagelfluh (U. P. Büchi, 1956), welche bei St. Gallen einen dritten Sedimentationszyklus einleitet.

2.4 OBERE SÜSSWASSERMOLASSE (OSM)

Die Sedimente der Oberen Süsswassermolasse wurden überwiegend in fluvioterrestrischem Milieu abgelagert; Einschaltungen von typischen limnischen Sedimenten sowie fossilführende Horizonte sind häufiger als in der USM (Tafel I).

Die in der Ostschweiz getroffene Gliederung in Basiszone, mittlere Zone, Oehningerzone, Konglomeratstufe und höhere OSM liess sich auch in den Bohrprofilen weitgehend erkennen (Tafel I).

Die Abgrenzung der Basiszone gegenüber der mittleren Zone der OSM bereitete gewisse Schwierigkeiten, indem nur in der Bohrung Küsnacht 1 der zur Abgrenzung dienende Leithorizont, der «Appenzellergranit» (Degersheimer Kalknagelfluh) in Meilener Kalk-Ausbildung auftritt. Auf Grund der sedimentpetrographischen Daten konnte – selbstverständlich mit allem Vorbehalt – eine entsprechende Grenzziehung zwischen Basiszone und mittlerer Zone auch in den anderen Bohrungen durchgeführt werden.

In den Bohrungen Küsnacht 1 und Lindau 1 liess sich das vulkanische, bentonitische Leitniveau der Ostschweizer OSM nachweisen, womit die Ausscheidung der Oehningerzone und die Korrelation mit der vulkanischen Ascheneinstreuung in der Bohrung Kreuzlingen 1, bzw. mit der Mergelzone unter der tiefsten Nagelfluhbank der Bohrung Berlingen 1, möglich war. Durch die sedimentpetrographischen Untersuchungen konnte diese Korrelation der Oehningerzone von Bohrung zu Bohrung noch erhärtet werden.

3. Sedimentpetrographie (Fig. 1 und 2)

3.1 UNTERE SÜSSWASSERMOLASSE (Fig. 1)

An der Unteren Süsswassermolasse des Untersuchungsgebietes beteiligen sich vier verschiedene Schüttungen, die vor allem auch von H. Füchtbauer (1958, 1964) eingehend beschrieben worden sind.

Ob in der Bohrung Pfaffnau 1 noch Sedimente der Thunerseeschüttung vertreten sind, kann nicht entschieden werden. So fehlen auch sichere Äquivalente der von einer chattischen Thunerseeschüttung abstammenden «molasse alsacienne» (A. von Moos, 1935, H. Füchtbauer, 1958, 1964). In keiner der Tiefbohrungen konnten zudem Sedimente der älteren lateralen Schüttungen vom Typus Rigi und Speer nachgewiesen werden.

3.1.1 Hörnli–Kronberg–Gäbris-Schüttung (Ur-Rhein und Ur-Ill)

Vorwiegend gelbgraugefleckte Mergel, Mergelsandsteine und Sandsteine; bunte, vorwiegend rötliche Farbtöne zurücktretend.

Hoher Karbonatgehalt der Sandsteine von 40–60% bei leichter Kalkvormacht.

Granatgehalt relativ gering, Epidot stark dominierend.

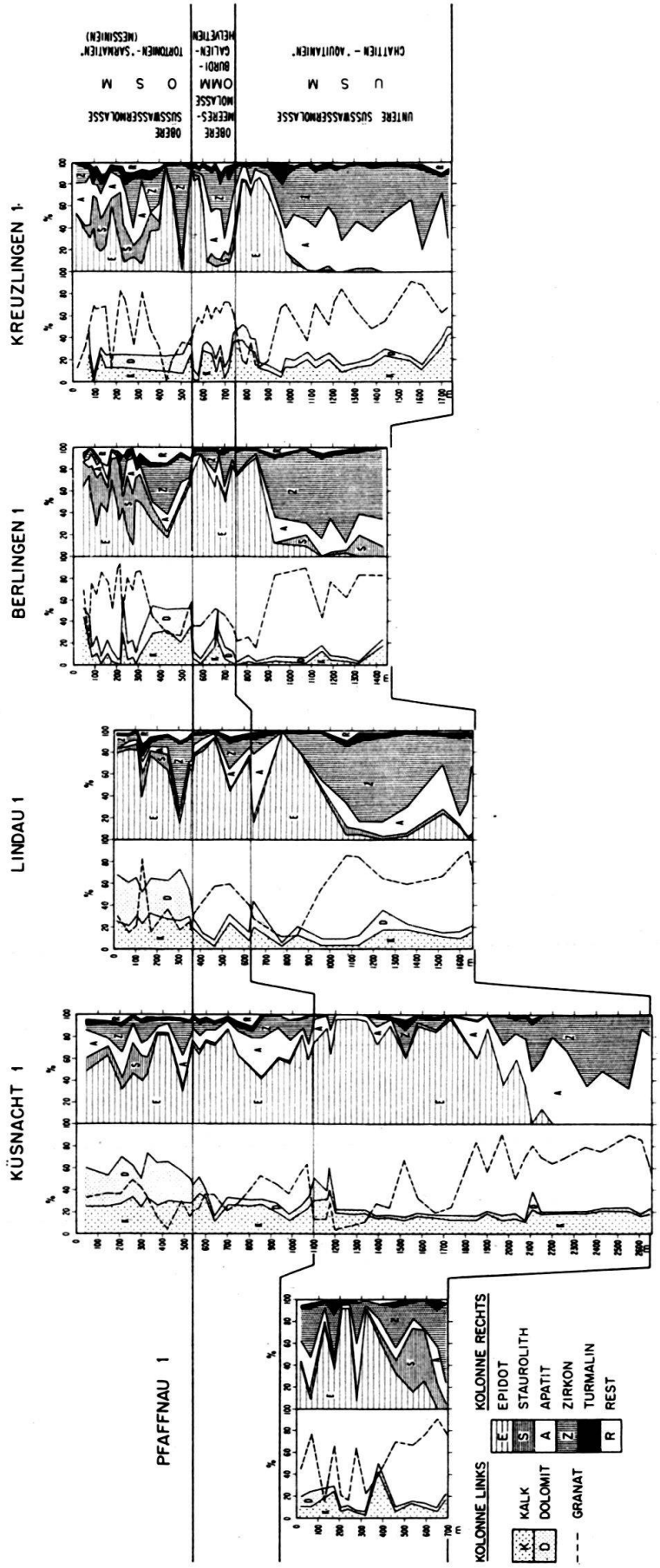


Fig. 1. Sedimentpetrographie der Bohrprofile.

3.1.2 Napfschüttung (Ur-Emme, Ur-Aare)

Wechsellagerung von granitischen Sandsteinbänken mit bunten, meist rotviolett- und rotbraungelbgrau-gefleckten oder -gebänderten Mergeln, oft mehr oder weniger sandig.

Hoher Feldspatgehalt der Sandsteine, tiefer Karbonatanteil von 10–20%, wenig Dolomit.

Granatgehalt gering, Epidot-Anteil sehr hoch, andere Schweremineralien stark zurücktretend.

3.1.3 Hohronenschüttung (? Ur-Reuss)

Wechsellagerung von granitischen Sandsteinbänken mit bunten Mergeln, graue und braungelbe Farbtöne dominierend.

Hoher Feldspatgehalt des granitischen Sandsteins, etwas höherer Karbonatgehalt als in der Napfschüttung, um 20%, Dolomit stark zurücktretend.

Epidotfrei, hoher Granatgehalt, Apatit und Zirkon reichlich vorhanden.

3.1.4 Genferseeschüttung (Beckenaxiale W-E-Schüttung)

Wechsellagerung von bunten, oft rotgefärbten Mergeln mit quarzreichen hellen Sandsteinen.

Karbonatgehalt der Sandsteine 10–20%, meist etwas mehr Kalk als Dolomit.

Epidot selten oder fehlend; Apatit, Zirkon und Turmalin relativ häufig.

3.2 OBERE MEERESMOLASSE

In sämtlichen Bohrungen wird die Obere Meeresmolasse überwiegend von typischen blaugrauen, meist feinkörnigen, oft mehr oder weniger glaukonitischen Sandsteinen und Mergelsandsteinen repräsentiert, wie sie für den mittelländischen Teil des ostschweizerischen Molassebeckens typisch sind (St. Galler- und Luzerner-Schichten). Als Materiallieferant spielt die Napfschüttung die Hauptrolle. In der Bohrung Kreuzlingen konnte eine napffremde Schuttzufuhr festgestellt werden, die am besten mit Sedimenten der Bodenseeschüttung übereinstimmt. Eine Materialzufuhr aus dem Osten (U. P. Büchi und F. Hofmann, 1960) scheint wegen des farblosen Granates und dem völligen Fehlen von Andalusit unwahrscheinlich. Auch Elemente der Hörnlischüttung konnten keine nachgewiesen werden.

3.2.1 Napfschüttung (Ur-Emme, Ur-Aare)

Karbonatgehalt 20–25% bei starker Kalkvormacht.

Granat beteiligt sich am Schweremineralgehalt mit 30–40%, Epidot relativ häufig, ferner Apatit und Zirkon. Charakteristisch, wenn auch selten, blaue Hornblende, Chlorit und Chloritoid.

3.2.2 Bodenseeschüttung (Pfänderschüttung, Schüttung aus Flyschrandkette Ur-Ill)

Höherer Karbonat- und Granatanteil als in der Napfschüttung, wenig Epidot, höherer Apatit- und Zirkongehalt, relativ viel Staurolith.

3.3 OBERE SÜSSWASSERMOLASSE

In den untersuchten Bohrungen können drei Schüttungssysteme auseinandergehalten werden, die z. T. stark miteinander interferieren (F. HOFMANN, 1957, 1959 und 1960).

3.3.1 Hörnlischüttung (Ur-Rhein)

Wechsellagerung von Mergeln, Mergelsandsteinen und Sandsteinen, letztere untergeordnet. Vorwiegen von gelben und grauen sowie grüngrauen Farbtönen, rote Färbungen zurücktretend.

Karbonatgehalt der Sandsteine 50–60%, Kalk-Dolomit-Verhältnis im allgemeinen 1:1, z. T. zugunsten des Dolomites verschoben.

Gesteinsbruchstücke häufig. Feinkörniger rötlicher Granat mässig vorhanden, Epidot relativ reichlich, im allgemeinen jedoch weniger frisch als Epidote der Napfschüttung.

Die Gesteinsbruchstücke weisen auf den komplexen, unausgereiften Charakter der Sande hin.

3.3.3 Bodenseeschüttung (Ur-Ill)

Vorwiegend gelbliche Mergel. Schuttmaterial überwiegend aus der Vorarlberger Flyschzone (Pfänder/Sommersberg-Schüttung).

Karbonatgehalt um 40% bei sehr tiefem Dolomitanteil.

Feinkörniger und farbloser Granat häufig vorhanden, Staurolith häufig, Zirkon relativ häufig, Epidot fehlt, wenig Gesteinsbruchstücke und Feldspat, viel Quarz.

3.3.3 Glimmersandschüttung (Beckenaxiale E-W-Schüttung)

Überwiegen von wenig verfestigtem, blaugrauem Glimmersandstein.

Sandsteine quarzreich, karbonatarm, maximal bei 10–12% mit überwiegendem Dolomitanteil.

Granat als vorherrschendes Schweremineral, Epidot durchgehend vorhanden, ebenso Zoisit unterhalb der A-Grenze (K. LEMCKE, W. VON ENGELHARDT, H. FÜCHTBAUER, 1953); Staurolith deutlich vertreten.

3.4 DIE EINZELNEN BOHRUNGEN

(Fig. 2)

3.4.1 Bohrung Kreuzlingen 1

OSM

Die Bohrung Kreuzlingen 1 liegt für die Obere Süsswassermolasse im Grenzgebiet zwischen Hörnli- und Bodenseeschüttung, sowie am Rand des beckenaxialen EW-gerichteten Glimmersand-Stromsystems.

Bis etwa 150 m unter Oberfläche dominieren Sedimente der Hörnlischüttung. Darunter bis Teufe 430 m überwiegen Ablagerungen der Bodenseeschüttung, während ab 430 m bis zur Oberen Meeresmolasse wieder vorwiegend die Sedimente

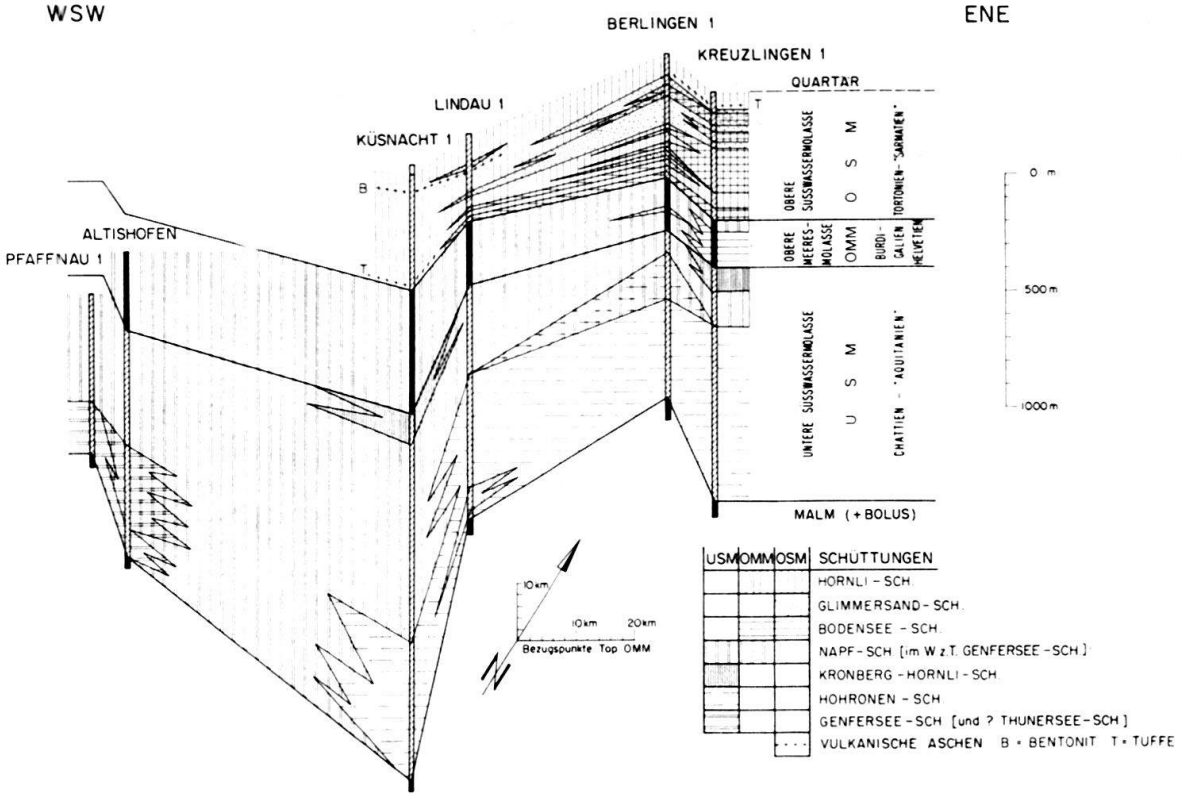


Fig. 2. Gliederung der Bohrprofile nach Materialherkunft.

der Hörnlischüttung auftreten. Glimmersandsteine der E-W-Schüttung konnten erst oberhalb ca. 240 m nachgewiesen werden. Besonders ausgeprägt ist eine starke Glimmersandzufuhr im Tiefenbereich 80–150 m mit einer Hauptzone von 120 bis 150 m.

Sämtliche in der Bohrung angetroffenen Glimmersande liegen mit Sicherheit unterhalb der Basis der Konglomeratstufe (F. Hofmann, 1960).

In der Spülprobe 60 m wurden einzelne grosse Apatite festgestellt, die auf eine schwache vulkanische Ascheneinstreuung hinweisen.

OMM

Innerhalb der durchgehend marin entwickelten Oberen Meeresmolasse entsprechen nur die obersten 50 m der epidotreichen Napfschüttung. Der Hauptanteil der Oberen Meeresmolasse, d. h. der Komplex zwischen 600 bis 725 m zeigt alle Charakteristika der Bodenseeschüttung. Eine schwache Zumischung von Sanden aus der Napfschüttung kann auf Grund des Auftretens von blauer Hornblende (z. B. in Spülprobe 640 m) nachgewiesen werden.

USM

Die Untere Süsswassermolasse zeigt eine Dreiteilung in Hörnlischüttung von 750–850 m (oberaquitane Mergelzone), Napfschüttung von 850–1000 m und Hohronenschüttung von 1000 m bis Molassebasis. Die Hohronenschüttung beteiligt sich in diesem Gebiet somit noch ausserordentlich stark am Aufbau der Unteren Süsswassermolasse.

3.4.2 Bohrung Berlingen 1

OSM

Innerhalb der OSM treten Glimmersande der beckenaxialen E–W-Schüttung vor allem oberhalb 300 m auf und sind hier dominierend.

Der tiefere Teil der OSM besteht aus Mergeln und seltenen Sandsteineinschaltungen der Hörnlischüttung mit Interferenzen der Bodensee- und Glimmersandschüttungen. Vulkanische Aschen wurden nicht beobachtet.

OMM

Die Obere Meeresmolasse wird ausschliesslich durch Gesteinsmaterial der Napfschüttung repräsentiert; sichere Äquivalente der Kirchberger- oder Grimmelfinger-Schichten sowie des Albsteins wurden nicht gefunden.

Zwischen 650 und 675 m konnte der fluvioterrestrische, mergelige, oberburdigale Zwischenkomplex nachgewiesen werden. Der höhere Karbonatgehalt deutet auf einen gewissen Einfluss der Hörnlischüttung hin, obwohl die Napfschüttung noch dominiert.

USM

Im Gegensatz zur Bohrung Kreuzlingen 1 fehlen im obersten Komplex der Unteren Süsswassermolasse Sedimente der Hörnlischüttung. Die Napfschüttung reicht von der Basis der Oberen Meeresmolasse bis 850 m Tiefe und wird bis 1075 m sukzessive durch die Hohronenschüttung ersetzt.

3.4.3 Bohrung Lindau 1

OSM

Die Obere Süsswassermolasse der Bohrung Lindau 1 gehört überwiegend zur Hörnlischüttung mit Glimmersandinterferenzen.

Ab 305 m Tiefe konnte der Einfluss der Bodenseeschüttung nachgewiesen werden. Solche weit nach Westen reichende Ausstrahlungen der Bodenseeschüttung sind auch vom Seerücken und aus dem Gebiet südlich von Schaffhausen bekannt. Sie sind in Anbetracht des allgemein E–W-gerichteten Sedimenttransportes zur Zeit der OSM zu erwarten.

Bei 165 m Tiefe wurde der Bentonithorizont des sauren, ostschweizerischen Beckenvulkanismus durchteuft (vgl. hierzu U. Büchi, 1956, F. Hofmann, 1951 und 1956, N. Pavoni, 1957). Es handelt sich um einen Montmorillonitton vom Typus der anderen schweizerischen Bentonite mit folgenden vulkanischen Schwermineralien: Zirkon, Rutil, stark pleochroitisch, Apatit, Biotit, Erz. Der Mineralbefund ist völlig identisch mit jenem der Bentonitfundstelle Bischofszell (F. Hofmann, 1951).

OMM

Die marin ausgebildeten Sedimente der Oberen Meeresmolasse gehören ausschliesslich der Napfschüttung an.

USM

Innerhalb der Unteren Süsswassermolasse fehlen Einflüsse der Hörnlischüttung. Der oberste Drittel ist der Napfschüttung und die unteren beiden Drittel bis zur Molassebasis sind der Hohronenschüttung zuzuordnen, wobei vor allem im tieferen Teil starke Interferenzen mit der Napfschüttung auftreten.

3.4.4 Bohrung Küsnacht 1

OSM

Die Obere Süsswassermolasse ist ausschliesslich der Hörnlischüttung zuzuordnen.

OMM

Die vorwiegend marin ausgebildeten Sedimente der Oberen Meeresmolasse gehören zur Napfschüttung. Die fluvioterrestrischen Mergel innerhalb der OMM dürften teilweise der Hörnlischüttung entsprechen.

USM

Die Untere Süsswassermolasse wird in ihrem oberen Teil von 1065–1200 m durch Sedimente der Kronberg-Hörnlischüttung charakterisiert. Darunter folgt bis ca. 2100 m Napfschüttung und von hier bis zur Molassebasis Hohronenschüttung.

3.4.5 Bohrung Pfaffnau 1

USM

Das sedimentpetrographische Bild der Unteren Süsswassermolasse ist sehr unruhig, indem starke Interferenzen zwischen Napf- und Genferseeschüttung bestehen (siehe auch H. FÜCHTBAUER, 1964). Der Napfschüttung sind die Proben mit extrem hohem Epidotwert zuzuordnen, die anderen Proben dürften die Genferseeschüttung repräsentieren. Sande vom Typus der «molasse alsacienne», die vor allem Andalusit, blaue Hornblende und mehr Karbonat führen müssten, fehlen ganz.

4. Paläogeographie

4.1 DER EOZÄNE UND MESOZOISCHE UNTERGRUND DER MOLASSE

Zu Beginn der Molasseschüttungen bildete das schweizerische Mittelland ein verkarstetes Kalkplateau (? Peneplain). Die Karstentwässerung erfolgte in das Schelfgebiet des alttertiären alpinen Restmeeres.

Während des Eozän fielen mächtige Teile der Malm- und Kreidesedimente der Erosion zum Opfer. Die Frage, ob in der Zentral- und Ostschweiz auch Kreideschichten erodiert wurden oder ob diese bereits primär fehlen, ist noch unbeantwortet. Die Verhältnisse im autochthonen und parautochthonen Bereich des Helvetikums lassen vermuten, dass Kreideschichten zum mindesten im Südteil des zentral- und ostschweizerischen Molassebeckens abgelagert wurden und später der Erosion zum Opfer gefallen sind.

Im Gebiet Lägern–Küsnacht müssen während des Eozän, evtl. schon in der Kreide, stärkere Hebungen stattgefunden haben, da hier die Erosion wesentlich tiefer in den Malm hinunterreicht als in den östlich und westlich anschliessenden Beckenteilen. Für eine eindeutige Abklärung des strukturellen Baustils der Hebungszone verfügen wir noch über zu wenig Beobachtungsmaterial. Es kann sich um eine symmetrisch gebaute flache Grossaufwölbung mit vermutlich N–S verlaufender Achse handeln. Möglicherweise liegt aber eine von WSW gegen ENE kontinuierlich ansteigende Kalkebene vor, die E des Zürichsees und der Limmat abrupt absinkt. Diese Flexur kann mehr oder weniger N–S verlaufen oder aber mit der Lägern-Bregenzlinie zusammenfallen. Für letztere Möglichkeit würde die weniger tief greifende Eozänerosion in der Bohrung Eglisau 2 sprechen.

Diese Hebungszone muss auch noch während der Molassesedimentation zeitweise als Schwelle wirksam gewesen sein, wobei eine gewisse Verschiebung der Achse nach E festzustellen ist (Hörnlischwelle, F. HOFMANN, 1955).

Abgesehen von den eigentlichen Bohnerztaschen konnte bisher keine wesentliche Reliefierung des Kalkplateaus, wie z. B. tiefe Täler, Plateauberge usw. nachgewiesen werden, was jedoch a priori die Möglichkeit solcher Phänomene nicht ausschliesst. So konnte F. HOFMANN (1960) im Rheinfallgebiet eine vermutlich untiefe, prämolassische Rinne nachweisen; zwischen Siderolithikum und den chattischen Sedimenten treten Gesteine einer semiariden Klimaepoche mit Anzeichen einer torrentiellen Sedimentation, im Sinne einer Schuttanhäufung in einem Waddi, auf.

Posteozäne Krustenkalke wurden im Kt. Schaffhausen (F. HOFMANN, 1960) und am Chestenberg, Kt. Aargau (F. HOFMANN und R. GYGI, 1961) beschrieben. Die Krustenkalke mit Verwitterungserscheinungen weisen auf semiarides Klima hin. Ähnliche Krustenkalke liessen sich auch in der Bohrung Pfaffnau-Süd 1 nachweisen. Es bestehen ferner Anhaltspunkte, dass auch im Solothurner und Aargauer Jura posteozäne Krustenkalke abgelagert wurden.

Die Entstehung von Krustenkalken besitzt somit regionalen Charakter; möglicherweise handelt es sich um terrestrische Ablagerungen, die altersmässig den ältesten marinen Molassesedimenten (Rupélien, Lattorfien?) des südlichen Beckenteils gleichzusetzen sind (F. HOFMANN, 1960).

4.2 UNTERE SÜSSWASSERMOLASSE (USM)

(Fig. 3)

In den bisherigen Bohrungen wurden lediglich die Sedimente der USM angetroffen, die Nordküste des Rupélien-Meeres verläuft weiter im Süden, vermutlich in Nähe des tektonischen Kontaktes der subalpinen mit der mittelländischen Molasse.

Auch der chattische Anteil der USM reduziert sich gegen Norden stark, so dass in den bisherigen Bohrungen höchstens noch die tiefsten paar hundert Meter dem Chattien zuzuordnen sind.

Während der Ablagerung der gesamten USM bestand im mittelländischen Molassebecken ein starker W-E-gerichteter, fluviatiler Strömungstransport. In der

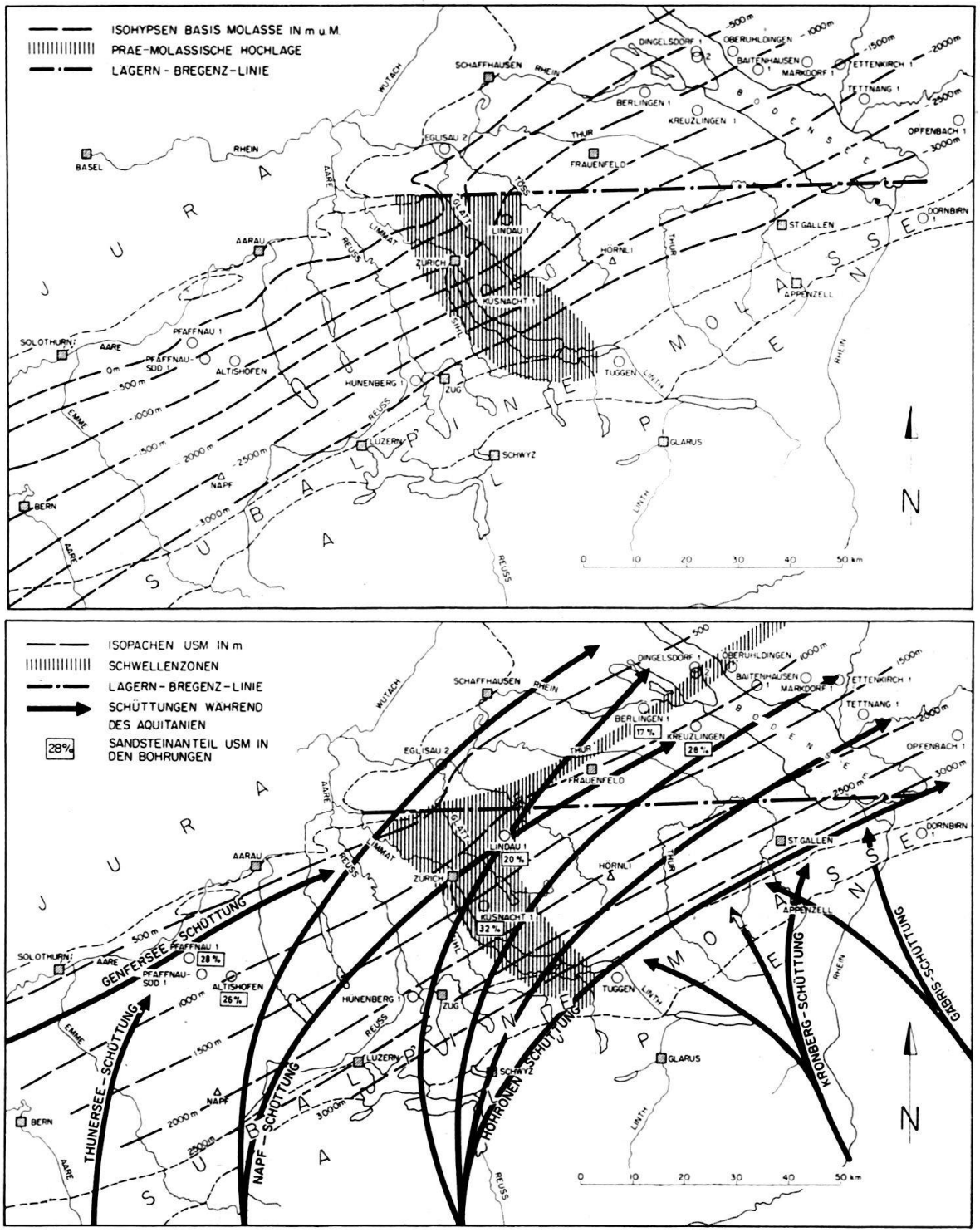


Fig. 3. Paläogeographische Verhältnisse z. Z. der USM-Sedimentation.

kürzlich erschienenen Publikation hat H. Füchtbauer (1964) die Sedimentationsverhältnisse im gesamten Molassebecken für die USM dargestellt.

In der fluviatilen Schwemmlandebene herrschten unruhige und vor allem ständig wechselnde Sedimentationsbedingungen, so dass es meist wohl nur kurzfristig zur Bildung von flachen Tümpeln und Seen kam; auch die Besiedlung durch Pflanzen war stark gehemmt; fossile Humusböden (kohlige Mergel mit terres-

trischen Fossilien) konnten nur vereinzelt beobachtet werden. Limnische Ablagerungen sind selten und die Fossilführung sehr gering.

Nur zu Beginn der Schüttungen der USM des Untersuchungsgebietes bildeten sich lokal grössere, jedoch untiefe Tümpel mit limnischer Fauna und Flora. Hiezu gehören die Kalke des Gebietes Wynau–Murgenthal und die limnischen Kalke in der Bohrung Kreuzlingen 1.

Im Grenzbereich Chattien/Aquitanien konnten im Untersuchungsgebiet bisher noch keine Anzeichen von brackischen Ablagerungen beobachtet werden, wie sie in der Westschweiz (H. A. Jordi, 1955) und östlich der Iller (obere Cyrenenschichten, E. Volz 1956) bekannt sind. Die Möglichkeit, dass wenigstens zeitweise ein Zusammenhang zwischen dem brackischen Meer der oberen Cyrenenschichten und den brackischen Lagunen in der Westschweiz bestanden hat, darf jedoch nicht von der Hand gewiesen werden.

Während der Ablagerung der USM kann in der fluviatilen Schwemmlandebene praktisch keine starke Reliefierung bestanden haben, da sich Senkung und Akkumulation ungefähr die Waage hielten. Nur im Ostteil des Untersuchungsgebietes, d. h. östlich der präoligozän angelegten Hochzone kann ein Ausbiegen der Isopachen gegen Norden beobachtet werden, was auf verstärkte Senkungstendenzen für den Ostabschnitt des Untersuchungsgebietes hinweist. Erst in der obersten USM machten sich stärkere Senkungstendenzen geltend, die zu einer weiter nach Norden greifenden Geröllabfuhr führten (aquitaner Anteil der Hörnlischüttung); in der Folge wurde die fluviatile Schwemmlandebene vermutlich von Westen her nach und nach vom miozänen Meer überschwemmt.

4.3 OBERE MEERESMOLASSE (OMM)
(Fig. 4)

Mit dem Einbruch des miozänen Meeres in den schweizerischen Beckenteil begannen sich zwei starke sekundäre Senkungsfelder zu entwickeln, das eine im südlichen Kanton Luzern, das andere südlich des Bodensees.

Die schon im Eozän vorgezeichnete Schwellenzone verlagerte sich gegen Osten in die zentrale Region des Hörnlischuttfächers.

Während der OMM dominierte noch der W-E-gerichtete Strömungstransport; er kommt erst im obersten Helvétien zum Erliegen. Erste Anzeichen einer E-W-gerichteten Schuttzufuhr können bereits im Burdigalien (Grobsandschüttung während der Ablagerung des Muschelsandsteins, U. P. Büchi und F. Hofmann, 1960) sowie im obersten Helvétien (Graupensandrinne) festgestellt werden.

Bereits im Burdigalien begann die vor allem im oberen Helvétien stark akzentuierte Lägern/Albstein-Schwelle (nach noch unveröffentlichten Kartierungen scheint von der Albsteinschwelle nach W eine Fortsetzung bis in die Gegend der Lägern zu bestehen) in Erscheinung zu treten; sie wirkte kanalisierend, zeitweise wohl auch trennend, auf die beiden Schüttungsrichtungen.

Die untere Abteilung der OMM ist generell durch ein sukzessives Landeinwärtsdringen des Meeres gekennzeichnet; die maximale Reichweite der burdigalen Transgression wurde mit der Ablagerung des Muschelsandsteins erreicht.

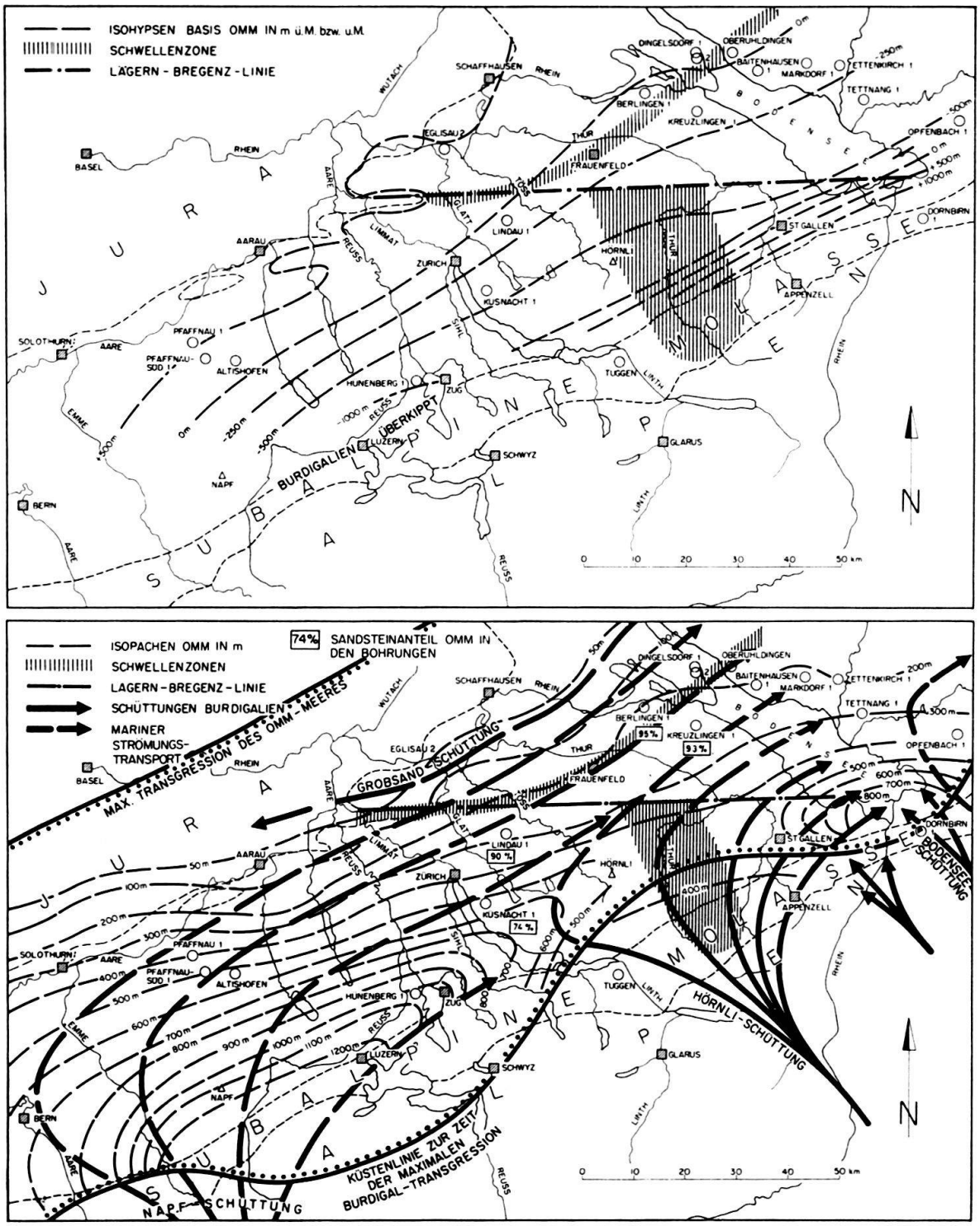


Fig. 4. Paläogeographische Verhältnisse z. Z. der OMM-Sedimentation.

Die marinen Sedimente des Burdigalien weisen typische Merkmale von Flachmeersedimenten auf. Der Glaukonitgehalt, wie auch die bei St. Gallen nachgewiesene Mikrofauna (U. P. Büchi, 1956) und der Scutellenreichtum des Muschelsandsteins westlich der Limmat (U. P. Büchi, 1957) lassen darauf schliessen, dass im Untersuchungsgebiet der Salzgehalt des Burdigalien-Meeres höher war als im Helvétien-Meer. Nach Ablagerung des Muschelsandsteins können starke Regres-

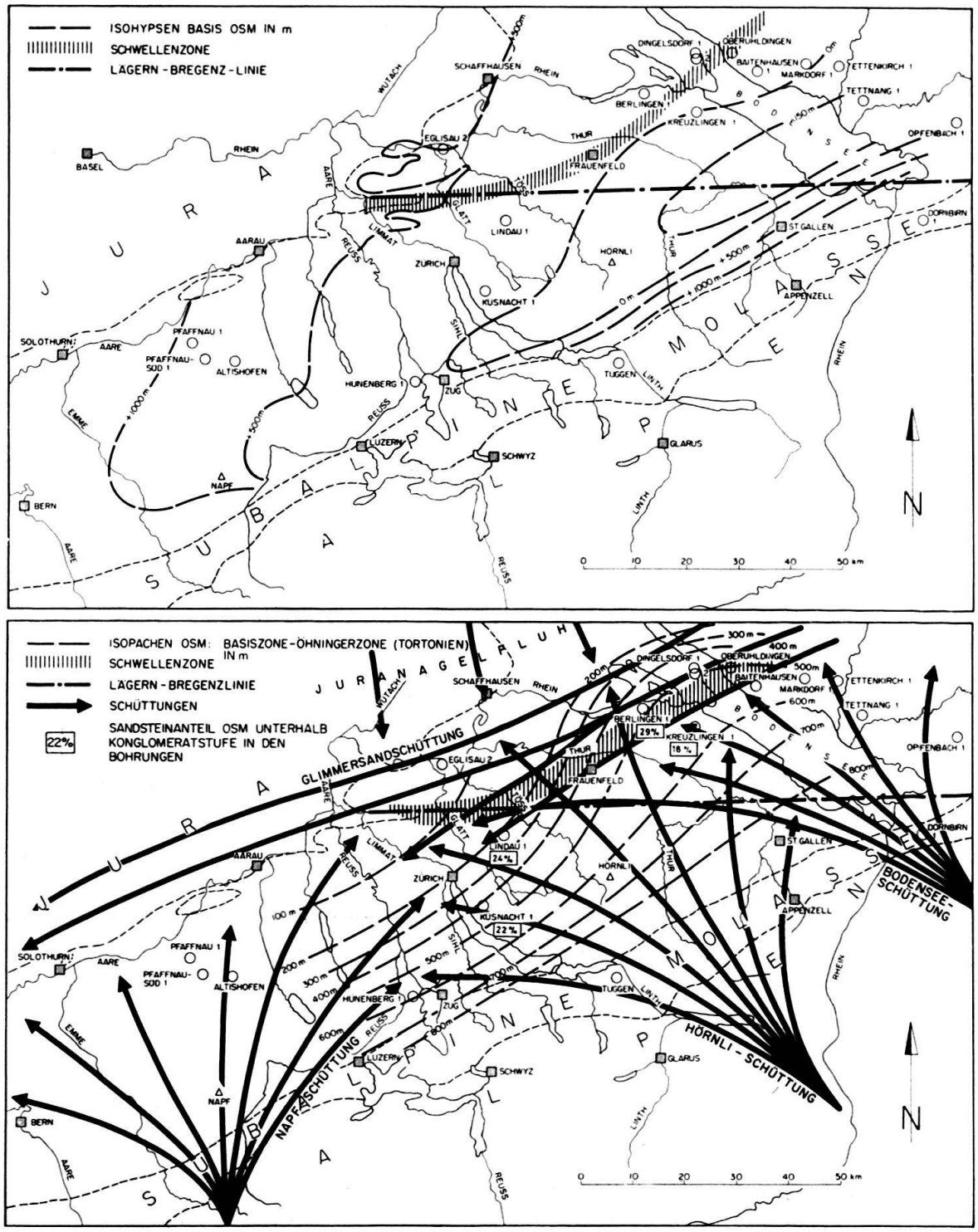


Fig. 5. Paläogeographische Verhältnisse z. Z. der tieferen OSM (Tortonien)-Sedimentation.

sionstendenzen beobachtet werden; ähnlich wie bei St. Gallen kam es auch in Teilen des Untersuchungsbebietes zur Ablagerung eines fluvioterrestrischen bis brackischen Zwischenkomplexes.

Mit der erneuten Ingression des Meeres im Helvétien (obere Abteilung der OMM) fand die am weitesten reichende, miozäne marine Überflutung des schweizeschen Molassebeckens statt. Gleichzeitig begann sich die Geröllabfuhr aus dem

werdenden Alpengebirge zu verstärken; der W-E-gerichtete marine Strömungstransport vermochte Gerölle der Napfschüttung weit nach Osten und nach Norden (Bodensee–Hochrhein) zu verfrachten.

Die Lägern/Albstein-Schwelle begann im obersten Helvétien wieder stark wirksam zu werden. Auf deutscher Bodenseeseite kam es zu Emersionen und zur Ablagerung des Albsteinkalkes (Krustenkalk).

Durch die regionalen Bewegungserscheinungen im Molassebecken wurde im obersten Helvétien der bis dahin herrschende W-E-gerichtete beckenaxiale Strömungstransport abgedrosselt; in der OSM erfolgte die Entwässerung des schweizerischen Molassebeckens ausschliesslich gegen Westen.

4.4 OBERE SÜSSWASSERMOLASSE (OSM)
(Fig. 5)

Die bisherigen Bohrungen haben im wesentlichen nur die unter der Konglomeratstufe liegenden Schichten erfasst, die nach Säugern und Schnecken dem Tortonien zuzuordnen sind (U. P. Büchi, 1959).

Nach Rückzug des miozänen Meeres scheint die nordalpine Vorlandsenke stärker reliefiert als zur Zei der USM; teilweise dürfte dies auf die fortschreitende Einengung des Beckens durch das Vordringen der alpinen Deckenfront nach Norden zurückzuführen sein.

Das Anschwellen der Sedimentmächtigkeiten im östlichen Untersuchungsgebiet während des Tortonien, vor allem aber zur Zeit der Ablagerung der Basiszone, spricht für ein sekundäres Senkungsfeld im Bodenseeraum.

Die Lägern/Albstein-Schwelle wirkte bis zur Ablagerung der Oehningerzone kanalisierend auf die Glimmersand- und Hörnlischüttung.

Als Folge der stärkeren Reliefierung und der Kanalisierung der Schüttungen unterscheidet sich die tortone Landschaft von der chattisch-aquitanen Schwemmlandebene durch vermehrte Tümpel- und Seenbildung mit reicher Fauna und Flora. Periodische fluviatile Überschwemmungen erfolgten in grösseren Abständen und waren häufig lokal begrenzt. Die Bildung einer geschlossenen Pflanzendecke wurde begünstigt, wofür die häufigen fossilen Humusböden (kohlige Mergel mit terrestrischen Fossilien) sprechen. Auch die Fluss- und Seeufer besassen häufig einen üppigen Pflanzenbewuchs (Kohlenflöze, Schwemmkohle).

WICHTIGSTE BENÜTZTE LITERATUR

Althaus, H. E. (1947): *Die ölführende Molasse zwischen Genfer- und Neuenburgersee.* In: Erdölgeol. Untersuchungen in der Schweiz, I. Teil. Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Ser *26*/1.

Baumberger, E. (1927): *Die stampischen Bildungen der Nordwestschweiz und ihrer Nachbargebiete mit besonderer Berücksichtigung der Molluskenfauna.* Eclogae geol. Helv. *20*/4.

– (1934): *Die Molasse des Schweiz. Mittellandes und Juragebietes.* Geol. Führer Schweiz. Fasz. *I*: 57.

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

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

– (1956a): *Über ein Vorkommen von Montmorillonit in der zürcherisch-aargauischen Molasse.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *23*/63.

BÜCHI, U. P. (1956b): *Zur Geologie der Oberen Meeresmolasse von St. Gallen.* Eclogae geol. Helv. *48*/2

– (1957): *Zur Gliederung des Burdigalien im Kanton Aargau.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *23*/65.

– (1959): *Zur Stratigraphie der Oberen Süsswassermolasse (OSM) der Ostschweiz.* Eclogae geol. Helv. *52*/2.

BÜCHI, U. P., & HOFMANN, F. (1960): *Die Sedimentationsverhältnisse zur Zeit der Muschelsandsteine und Grobkalke im Gebiet des Beckennordrandes der OMM zwischen Aarau und Schaffhausen.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. & -Ing. *27*/72.

BÜCHI, U. P., COLOMBI, C., FEHR, W. R., LEMCKE, K., KOEWING, K., HOFMANN, F., FÜCHTBAUER, H., & TRÜMPY, R. (1961): *Geologische Ergebnisse der Bohrung Küsnacht 1.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *28*/74.

CADISCH, J. (1928): *Das Werden der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation.* Geol. Rdsch., Bd. *XIX.*

– (1959): *Geologische Ergebnisse der Mineralquellenbohrung Eglisau 2.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *26*/70.

COMITÉ DU NÉOGÈNE MÉDITERRANÉEN: III. Tagung in Bern (1964): Résolution: Noch nicht publiziert.

ELBERSKIRCH, W., & LEMCKE, K. (1955): *Zur Tektonik der nordalpinen Molassesenke.* Z. deutsch. geol. Ges. Bd. *105*, 3. Teil.

EPPRECHT, W. (1963): *Die Bohnerzfunde in den Tiefbohrungen von Limberg (Küsnacht, Kt. Zürich) und Eglisau 2.* Schweiz. min. petrogr. Mitt., *43*/1.

ERNI, A., & KELTERBORN, P. (1948): *Ölgeologische Untersuchungen im Molassegebiet südlich Wangen an der Aare – Aarburg.* Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Ser. *26*/2.

FISCHER, H., & LUTERBACHER, H. (1963): *Das Mesozoikum der Bohrungen Courtion 1 und Altishofen 1.* Beitr. z. Geol. Karte der Schweiz [N.F.] *115.*

FRÖHLICHER, H. (1933): *Geologische Beschreibung der Gegend von Escholzmatt im Entlebuch (Kt. Luzern).* Beitr. Geol. Karte der Schweiz [N.F.] *67.*

FÜCHTBAUER, H. (1958): *Die Schüttungen im Chatt und Aquitan der deutschen Alpenvorlandsmolasse.* Eclogae geol. Helv. *51*/3.

– (1964): *Sedimentpetrographische Untersuchungen in der ältern Molasse nördlich der Alpen.* Eclogae geol. Helv. *57*/1.

GEOLOGISCHES LANDESAMT MÜNCHEN (1955): *Geol. Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse 1:300000, mit Erläuterungsheft und 3 Profiltafeln.* Bayerisches Geol. Landesamt München.

HABICHT, K. (1945a): *Geologische Untersuchungen im südlichen santgallisch-appenzellischen Molassegebiet.* Beitr. Geol. Karte der Schweiz, [N.F.] *83.*

– (1945b): *Neuere Beobachtungen in der subalpinen Molasse zwischen Zugersee und dem sanktgallischen Rheintal.* Eclogae geol. Helv. *38*/1.

HAUBER, L. (1961): *Über das Tertiär im nordschweizerischen Tafeljura.* Eclogae geol. Helv. *53*/2.

HAUS, H. A. (1937): *Geologie der Gegend von Schangnau im oberen Emmental.* Beitr. Geol. Karte der Schweiz [N.F.] *75.*

HAUS, H. A. (1950): *Zur paläogeographischen Entwicklung des Molassetroges im Bodenseegebiet während des mittleren Miozän.* Mitt. Bad. Geol. Landesanstalt.

– (1952): *Das Molassebecken im südwestdeutschen Raum.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *19*/57.

HAUS, H. A. (1960): *Mönchsrot als Ölfeld im Westabschnitt der süddeutschen Vorlandsmolasse.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *26*/71.

HEERMANN, H. (1954): *Erdölgeologische Grundlagen der Aufschlussarbeiten im ostbayerischen Molassebecken.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *21*/60.

HOFMANN, F. (1956): *Sedimentpetrographische und tonmineralogische Untersuchungen an Bentoniten der Schweiz und Südwestdeutschlands.* Eclogae geol. Helv. *49*/1.

– (1957): *Untersuchungen in der subalpinen und mittelländischen Molasse der Ostschweiz.* Eclogae geol. Helv. *50*/2.

– (1959): *Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken.* Jb. St. Gall. Naturw. Ges. *76.*

– (1960a): *Beitrag zur Kenntnis der Glimmersandsedimentation in der Oberen Süsswassermolasse der Nord- und Nordostschweiz.* Eclogae geol. Helv. *53*/1.

HOFMANN, F. (1960b): *Sedimente einer ariden Klimaperiode zwischen Siderolithikum und Molasse in Lohn, Kanton Schaffhausen, und am Rheinfall.* Eclogae geol. Helv. *53*/1.

HOFMANN, F., & GYGI, R. (1961): *Ein Vorkommen von Oberer Mariner Molasse am Chestenberg (Kanton Aargau).* Eclogae geol. Helv. *54*/2.

HOLLIGER, A. (1954): *Geologische Untersuchungen der subalpinen Molasse und des Alpenrandes in der Gegend von Flühli (Entlebuch, Kt. Luzern).* Diss. Basel, Manuskript.

HÜRZELER, J. (1932): *Die Helvétien-Tortonien-Grenze im aargauischen Mittelland.* Eclogae geol. Helv. *25*.

JORDI, H. A. (1955): *Geologie der Umgebung von Yverdon.* Beitr. Geol. Karte der Schweiz [N.F.] *99*.

KAUFMANN, F. J. (1872): *Rigi und Molassegebiet der Mittelschweiz.* Beitr. Geol. Karte der Schweiz, *11*.

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

– (1955): *Die Ergebnisse der Erdölbohrung Altishofen.* Mitteil. Natf. Ges. Luzern, Bd. *XVII*.

KOPP, J., BENDEL, L., & BUXTORF, A. (1955): *Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 28: Luzern.* Schweiz. Geol. Komm.

LEMCKE, K., v. ENGELHARDT, W., & FÜCHTBAUER, H. (1953): *Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des deutschen Alpenvorlandes.* Beitr. Geol. Jb. *11*, Hannover.

LEMCKE, K. & WAGNER, R., (1961): *Zur Kenntnis des vortertiären Untergrundes im Bodenseegebiet.* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *27*/73.

LIECHTI, W. (1928): *Geologische Untersuchungen der Molassenagelfluhregion zwischen Emme und Ilfis (Kt. Bern).* Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *61*.

LINIGER, H. (1925): *Geologie des Delsberger Beckens und der Umgebung von Movelier.* Beitr. Geol. Karte Schweiz [N.F.] *55*/4.

LUDWIG, A. (1930): *Erläuterung zum geol. Atlasblatt 4 (1:25000) Blätter Flawil-Herisau-Brunnadern-Schwellbrunn.* Schweiz. Geol. Komm.

LUDWIG, A. & FALKNER, CH. (1903/04): *Beiträge zur Geologie der Umgebung St. Gallens, 1. Teil.* Jb. st. gall. naturf. Ges. 1901/02; *2 Teil:* idem 1902/03.

v. MOOS, A. (1935): *Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandstein.* Schweiz. Min.-Petrogr. Mitt. *15*.

OERTLI, H. (1956): *Ostrakoden aus der oligozänen und miozänen Molasse der Schweiz.* Schweiz. Palaeont. Abh. *74*.

PAVONI, N. (1957): *Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel.* Vjschr. Natf. Ges. Zürich, *102*/5.

RENZ, H. H. (1937): *Die subalpine Molasse zwischen Aare und Rhein.* Eclogae geol. Helv. *30*.

– (1937/38): *Zur Geologie der östlichen st. gall.-appenzellischen Molasse.* Jb. st. gall. naturf. Ges. *69*.

RÖTHLISBERGER, P. (1923): *Beitrag zur Kenntnis der siderolithischen Bildungen in den Schweizeralpen.* Jahrb. Phil. Fak. II Univ. Bern *3*/1.

RUTSCH, R. F. (1927): *Geologie des Belpberges.* Mitt. naturf. Ges. Bern.

– (1929): *Die Gastropoden des subalpinen Helvétien der Schweiz und des Vorarlberges.* Abh. Schweiz. paläont. Ges. *49*.

– (1945): *Neue Auffassung über die Entstehung von Molassesedimenten.* Eclogae geol.Helv.*38*/2.

– (1946): *Molasse und Quartär im Gebiete des Siegfriedblattes Rüeggisberg.* Beitr. Geol. Karte Schweiz [N.F.] *87*.

– (1957): *Das Typusprofil des Helvétien.* Eclogae geol. Helv. *51*/1.

RUTSCH, R. F., WAIBEL, A., & BURRI, F. (1960): *Lexique stratigraphique international.* Vol. I Europe; Fascicule *7* Suisse; Fascicule *7a* Juragebirge und Rheintalgraben.

SAXER, F. (1936): *Das Molasseprofil an der Sitter.* Eclogae geol. Helv. *29*.

SAXER, F., EUGSTER, H., HÜBSCHER, J., & SCHLATTER, L. (1943): *Bericht über die Exkursionen der Schweiz. Geol. Gesellschaft in der Nord- und Nordostschweiz.* Eclogae geol. Helv. *36*.

SCHUPPLI, H. M. (1952): *Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. IV. Teil.* Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Ser. *26*/4.

SENFTLEBEN, G. (1923): *Beiträge zur geologischen Erkenntnis der West-Lägern und ihrer Umgebung.* Diss. Zürich.

STAUB, R. (1934): *Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie.* Denkschr. schweiz. naturf. Ges. *69*, Abh. 1.

TANNER, H. (1944): *Beitrag zur Geologie der Molasse zwischen Ricken und Hörnli.* Mitt. Thurg. naturf. Ges. *33*.

VOLZ, E. (1956): *Die Molassestrukturen Heimertingen und Lauben.* Erdöl-Zeitschrift, Heft *3*.

– (1957): *Geologische Ergebnisse neuer Erdölbohrungen in Oberschwaben.* Arbeiten aus geol. paläontol. Inst. Techn. Hochschule Stuttgart [N.F.] *9*.

– (1959): *Geologische Ergebnisse einiger Erdölbohrungen im westlichen Molassebecken.* Erdöl und Kohle, Heft *4*.

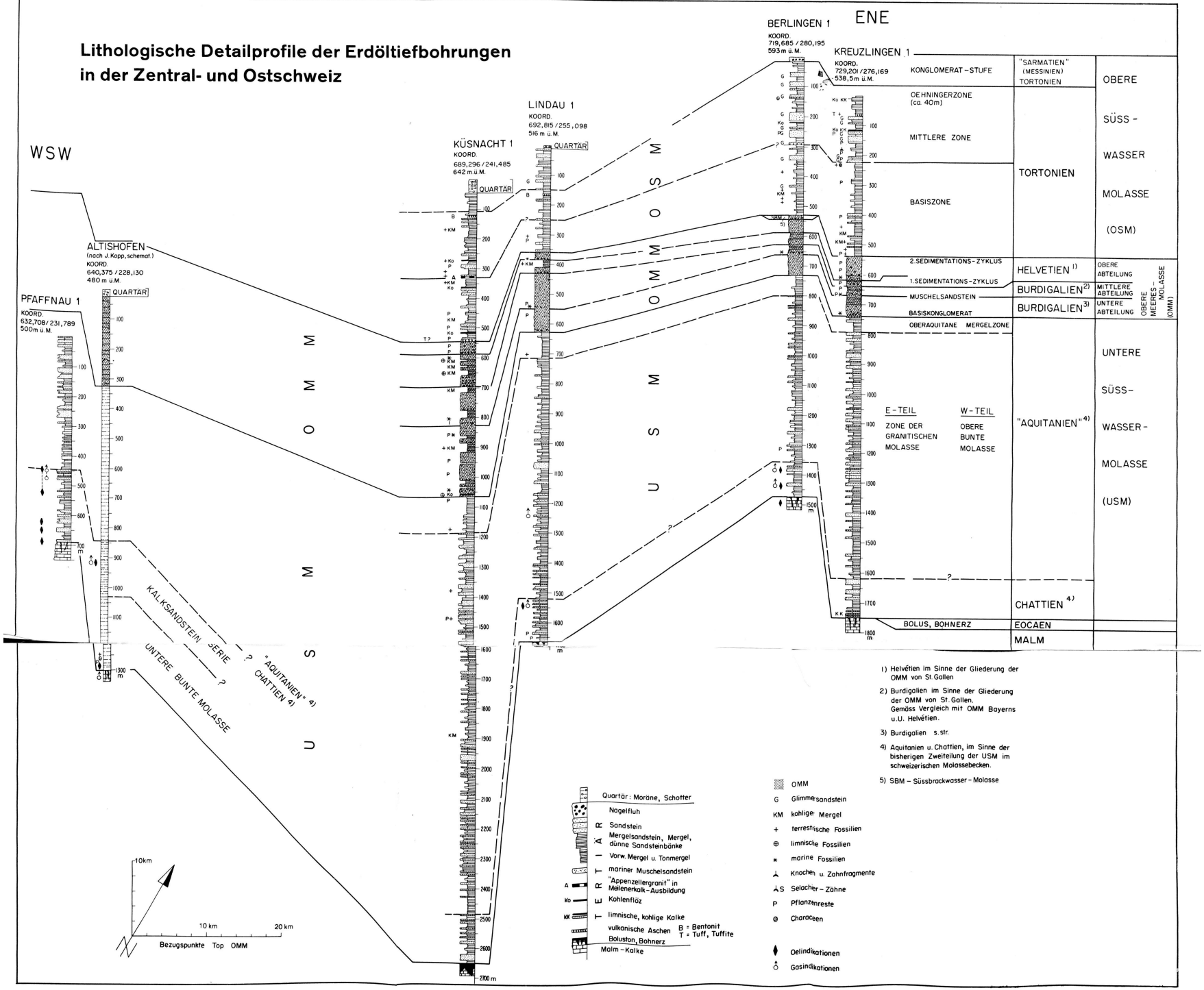
VOLZ, E., & WAGNER, R. (1960): *Die älteste Molasse in einigen Bohrungen Schwabens.* Bull. Ver. Schweiz.-Petrol. Geol. u. -Ing. *27*/72.

VONDERSCHMIDT, L., & TSCHOPP, H. J. (1953): *Die Jura Molasse-Grenze in der Bohrung Altishofen (Kt. Luzern).* Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *20*/58.

WAGNER, R. (1957): *Die Untere Meeresmolasse aus Bohrungen längs der Iller.* Erdöl und Kohle, Heft *10*.

WELTI, G. (1950): *Zur Geologie, Stratigraphie und Paläogeographie der südlichen mittelländischen Molasse am oberen Zürichsee.* Diss. Zürich, Manuskript.

ZÖBELEIN, H. (1953): *Zur Altersdeutung der Cyrenenschichten in der subalpinen Molasse Oberbayerns.* Geologica Bavarica *17*.

– (1957): *Kritische Bemerkungen zur Stratigraphie der Subalpinen Molasse Oberbayerns.* Abh. Hess. Landesamt f. Bodenforsch., *23*.

Lithologische Detailprofile der Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz