**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae

**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft

**Band:** 76 (1983)

**Heft:** 1: Zentenarfeier der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft

**Artikel:** Die geologischen Resultate der Thermalwasserbohrung von Leyman (Haut-Rhin, Frankreich) südlich von Basel, unter besonderer Berücksichtigung der Schwerminerale

**Autor:** Brianza, Marco / Hauber, Lukas / Hottinger, Lukas

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-165360

**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:** 12.07.2025

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

| Eclogae geol. Helv. | Vol. 76/1 | Seiten 253–279 | 10 Textfiguren und 2 Tabellen | Basel, März 1983 |
|---|---|---|---|---|

# Die geologischen Resultate der Thermalwasserbohrung von Leymen (Haut-Rhin, Frankreich) südlich von Basel, unter besonderer Berücksichtigung der Schwerminerale

Von MARCO BRIANZA[1]), LUKAS HAUBER[2]), LUKAS HOTTINGER[2]) und HEINZ MAURER[3])

## RÉSUMÉ

Situé à proximité de la frontière suisse, le forage Leymen, profond de 1155 m, executé à la recherche d'eau thermale complémente nos connaissances des sédiments d'âge jurassique moyen, supérieur et tertiaire dans le sous-sol de l'extrême partie méridionale du fossé rhénan. A partir des couches à Blagdeni (Bajocien) jusqu'aux couches à Natica (base de l'Oxfordien supérieur), la succession sédimentaire ne se distingue guère de celle mise à jour dans l'anticlinal le plus septentrional du Jura, le Blauen. Cependant, le Séquanien est caractérisé par des dépôts carbonatés de milieux peu profonds à très faible énergie de l'eau. En outre, il paraît être incomplet, érodé sans doute par la transgression tertiaire.

Le remplissage tertiaire du fossé rhénan est caractérisé à Leymen par l'épaisseur particulière du Sannoisien ce qui indique des premiers mouvements tectoniques différentiels dans le fossé. Au début du Rupélien, une subsidence rapide du fossé a dû atteindre au moins 400 m car les foraminifères benthiques indiquent une profondeur épibathyale de leur milieu de vie. Ensuite, le fossé se remplit graduellement de sédiments marno-argileux («Septarienton») déposés dans des milieux successivement moins profonds et plus saumâtre. Au Chattien, la sédimentation devient terrestre. L'association et la fréquence relative des minéraux lourds du Tertiaire dans le sondage Leymen indiquent que – pendant le Rupélien – le matériel de remplissage du fossé ne provient pas de la région alpine par transport de masse à travers le bassin molassique mais plutôt de l'ouest (Massif Central) et du nord (Forêt Noire et Vosges), car l'épidote et l'égirine-augite présents à Leymen manquent dans les dépôts contemporains de la Molasse subalpine. Par contre, les organismes planctoniques d'âge crétacé et surtout paléocène-éocène que l'on trouve remaniés dans tous les sédiments de remplissage, pourraient difficilement venir d'ailleurs que des Alpes. Peut-être, dans les procès de sédimentation le comportement des minéraux lourds est-il différent de celui des coquilles planctoniques calcaires plus légères. Dans le forage de Leymen, un gradient de température de 38 °C $km^{-1}$ fut mesuré. Ce gradient est beaucoup plus important que celui mesuré dans le sondage voisin à Neuwiller (20 °C $km^{-1}$).

## ABSTRACT

A thermal water well drilled to 1155 m depth near Leymen (France) complements our knowledge about the sediments of Middle to Upper Jurassic and Tertiary age in the subsurface of the southern end of the Rhinegraben. The Mesozoic sedimentary sequence from Bajocian Blagdeni-beds to Late Oxfordian Natica-beds is similar to the one exposed in the northernmost Jura anticline (Blauen), whereas the Late Oxfordian ("Sequanian") member is characterized by shallow water carbonates of particularly low water energy and may be incomplete, eroded by the Tertiary transgression. The tertiary graben fill

[1]) Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität, Bernoullistrasse 30, CH-4056 Basel.
[2]) Geologisch-paläontologisches Institut der Universität, Bernoullistrasse 32, CH-4056 Basel.
[3]) Geologisches Institut der Universität, Baltzerstrasse 1, CH-3012 Bern.

shows in the Leymen well a particularly thick Early Oligocene ("Sannoisian") formation, indicating differential tectonic movements during this period. At the beginning of the Middle Oligocene (Rupelian) period, the subsidence of this part of the graben reaches rapidly at least 400 m as indicated by epibathyal, normal marine, benthic foraminifera. Subsequently, the graben is filled up with sediments changing gradually to brackish and shallower deposits, whereas in Late Oligocene (Chattian) times terrestrial sediments were accumulated. Association and respective frequence of the heavy minerals in the Tertiary deposits suggest that the graben was not filled by mass transport of alpine sediments through the molasse basin as indicated by the presence of Cretaceous and particularly Eocene planctonic microorganisms: Epidote and aegirine-augite present in the Leymen well are missing in the contemporaneous deposits of the subalpine Molasse. In the well Leymen the temperature gradient of 38 °C $km^{-1}$ was higher than expected from values measured in neighboring bore holes.

## A. Einleitung

Im Jahre 1969 wurde in Neuwiller (Haut-Rhin), nahe an der Schweizer Grenze südlich des Dorfes (Schweizer Landeskoordinaten: 605.780/263.200), eine Bohrung zur Auffindung von Thermalwasser abgeteuft. Ziel dieser Bohrung war der Hauptrogenstein (Dogger), der im Rheingraben ein verbreiteter Träger von Thermalwasser ist (u.a. Bad Bellingen). Der Hauptrogenstein (Dogger) wurde in 978 m Tiefe erreicht. In rund 1000 m Tiefe folgte aber eine Störung, und der Untere Dogger wurde angefahren. In 1063,4 m Tiefe wurde diese Bohrung sodann beendet.

Infolge der reduzierten Mächtigkeit des Wasserträgers ergab sich trotz guter Transmissivität von rund $10^{-4}$ $m^3/s$ nur ein geringer Zufluss von 3 bis 4 $m^3/h$, der heute als lokales Thermalwasser genutzt wird. Es handelt sich um ein Natrium-Bikarbonatwasser mit einem Mineralgehalt von 620 mg/l bei einer Temperatur von 34 °C. Das piezometrische Niveau dieses Wassers liegt 130 m unter Terrain (GRANDAROWSKI 1978).

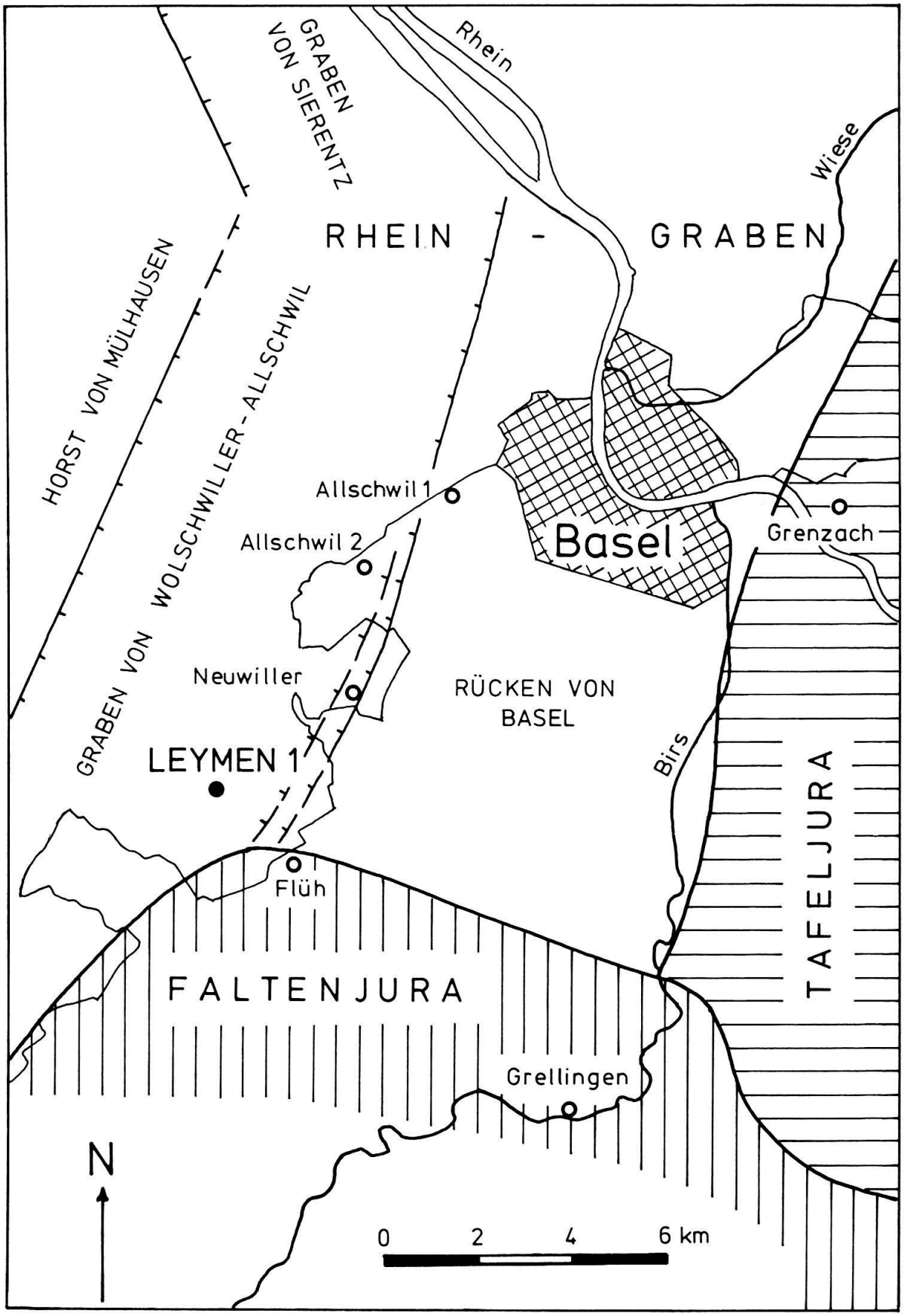
Im Hinblick auf die Tatsache, dass der Hauptrogenstein in der Bohrung Neuwiller nicht in der vollen Mächtigkeit erschlossen werden konnte, beschloss die Société Immobilière Les Thermes de Heiligenbrunn, Mulhouse, in Leymen, wo sie über eigenen Landbesitz verfügt, eine Bohrung abzuteufen. Diese konnte 1979 niedergebracht werden, ergab interessante geologische Resultate in bezug auf die Geologie des südlichen Endes des Rheingrabens bei Basel, erfüllte die in sie gehegte Hoffnungen in bezug auf Thermalwasserzufluss jedoch nicht.

Die Bohrung Leymen ist rund 1 km nordwestlich des Dorfes Leymen gelegen. Die Koordinaten der Bohrung lauten:

Coord. Lambert = 5°71′ E/52°78,1′ N
Schweiz. Landeskoordinaten = 602.840/261.300
Terrainhöhe = 353 m ü. M.

Die generelle geologische Lage der Bohrung Leymen und benachbarter Bohrungen ist aus Figur 1 ersichtlich.

Fig. 1. Allgemeine Übersicht über die Geologie südwestlich von Basel, Lage der Tiefbohrungen.


GRABEN VON SIERENTZ
Rhein
Wiese
RHEIN - GRABEN
HORST VON MÜLHAUSEN
GRABEN VON WOLSCHWILLER-ALLSCHWIL
Allschwil 1
Allschwil 2
Basel
Grenzach
Neuwiller
RÜCKEN VON BASEL
LEYMEN 1
Birs
TAFELJURA
Flüh
FALTENJURA
Grellingen
N
0 2 4 6 km

## B. Stratigraphie

### *1. Allgemeines*

Die Stratigraphie der Umgebung von Leymen ist aufgrund der Arbeiten von BITTERLI (1945), FISCHER (1965) sowie älterer Bearbeiter (s. Literaturverzeichnis der zitierten Autoren) recht gut bekannt.

Für die mesozoischen Gesteine (Dogger und Malm) finden sich im Gebiet des Blauen südlich von Leymen und im Pfirter Jura, westlich der Linie Oltingue-Wolschwiller, gute Aufschlüsse. Da sich einerseits die Lithologie der Formationen auf diese kurze Distanz wenig bis gar nicht ändert, andererseits eine detaillierte Feinstratigraphie anhand der Spülproben aus der Bohrung nicht möglich ist, soll hier nur eine kurze Beschreibung der jurassischen Gesteine zum Vergleich mit den oberflächlich aufgeschlossenen Schichten gegeben werden.

Demgegenüber finden sich oberflächlich nur wenige Aufschlüsse des Tertiärs (Eozän bis mittleres Oligozän); sie sind in der Regel sehr schlecht. Da wir uns in einem Gebiet mit kleinräumigen Fazieswechseln und grossen Schwankungen der Sedimentmächtigkeiten befinden und die Kenntnisse über das Tertiär relativ schlecht sind, soll auf die Stratigraphie der tertiären Ablagerungen detaillierter eingegangen werden.

Eine erste Aufnahme der Lithologie und die stratigraphische Zuordnung der Gesteine zu den einzelnen Formationen geschahen unmittelbar während der Bohrung im Sommer 1979. Die ständige Überwachung des Spülgutes erlaubte auch eine gute Abschätzung des tonig-mergeligen bzw. kalkigen Anteils einer durchfahrenen Schicht. Gleichzeitig wurden alle zwei Meter Spülproben gesammelt, aus welchen nachträglich Cuttings für die Lithostratigraphie, Mikrofossilien für die Biostratigraphie und Sande für die Schwermineralanalyse gewaschen wurden.

Vier Bohrkerne mit einer totalen Länge von 25,6 m wurden aus dem Tertiär und dem mittleren Malm (je zwei) gezogen; sie geben bessere Einsicht in die Lithofazies der Gesteine.

Elektrische Bohrlochvermessungen (Schlumbergerlogs) bis 780 m und thermische Leitfähigkeitsmessungen wurden bei der endgültigen Auswertung zum Vergleich mit den aus den Spülproben gewonnenen Daten herangezogen. Beim Überprüfen der Formationsgrenzen konnten so die lithologischen Wechsel ziemlich genau bestätigt werden.

Wie bereits erwähnt, liegt die Bohrstelle Leymen im Graben von Wolschwiller, westlich der grossen Verwerfungslinie von Allschwil. Die Bohrung hat eine dieser Abschiebungen durchfahren. Auf diesen Punkt wird später eingegangen. Abgesehen von dieser Störung zeigten sich keine tektonischen Komplikationen. Eine eventuelle Schiefstellung der angebohrten Bruchscholle (vgl. VONDERSCHMITT 1934, Bohrung von Hirtzbach) hätte dagegen eine Mächtigkeitsvergrösserung zur Folge. In einem der Bohrkerne lassen sich Laminationen und Schichtflächen erkennen. Unter der Annahme, dass das Bohrloch senkrecht steht, dürfen wir mit einem maximalen Kippwinkel von 10° rechnen, die Richtung der Rotation kann nicht bestimmt werden. Dies würde einen Fehler in der Mächtigkeitsangabe von max. 1,5% bedeuten; ein Wert, der innerhalb des Auflösungsvermögens der Profilaufnahme liegt.

Von der tiefgreifenden Erosion der Malmoberfläche vor und bei der Transgression an der Wende Eozän-Oligozän zeugen Klüfte. Die Bohrung durchfuhr zweimal mit siderolithischem Material gefüllte Schlote, die sich wenig über den Rauracien-Korallenbänken in 768 m Tiefe befinden, immerhin mehr als 100 m unterhalb der Grenze Malm-Eozän.

## 2. *Jura*

### 2.1 *Dogger*

Die Bohrung erreichte in 1153 m Tiefe die obersten Partien der *Blagdeni-Schichten.* Es handelt sich um dunkelbraune und graue, teils leicht mergelige und quarzreiche, teils feine, rekristallisierte, fossilleere Kalke (Mikrite) mit einzelnen Ooiden (floating grains) sowie um Oosparite. Da der Übergang zum Hauptrogenstein (= HR) fliessend ist und nicht exakt bestimmt werden kann (er wird von FISCHER 1965 anhand des Profils Felsplatten, etwa 5,5 km südwestlich der Bohrstelle, detailliert aufgezeigt), legen wir die Basis des HR bei 1153 m mit dem erstmaligen Auftreten der oben beschriebenen Gesteine. Der Übergang HR-Blagdenischichten scheint im Profil Felsplatten und in der Bohrung ähnlich zu sein. Bei den tiefsten erbohrten Lagen (Endtiefe 1155 m) handelt es sich um Gesteine mit den Lithologien der Schichten 4-8 nach FISCHER (1965, Fig. 2, S. 5).

Der *Hauptrogenstein* (HR) besteht aus hellen, beigen sowie grauen (pyritreichen), feinen bis groben oolithischen Kalken und Mergeln mit teilweise hohem Bioklastenanteil. Die untersten 40-50 m zeigen eine Wechsellagerung von Kalken und Mergeln, darüber folgen fast ausschliesslich Kalke. Acuminata-Schichten (oolithische, fossilreiche Mergel), Movelier-Schichten (mergelige, oolithische Kalke, wobei die Verwitterung der Gesteine zu einem Oolithgrus führt), Pierre blanche (feinkörnige, helle Pelmikrite mit einzelnen Ooiden) sind klar unterscheidbar, die Mächtigkeiten und genauen Lagen der einzelnen Schichten lassen sich jedoch kaum bestimmen. Die Obergrenze der Pierre blanche liegt bei 1054 m. Darüber folgen noch graue und braune Oosparite und -mikrite, wobei die Ooide wiederum meist als einzelne Körner im Spülgut auftreten (Ferrugineus-Oolith). Der Top des HR liegt bei 1042 m, die gesamte Mächtigkeit der Formation beträgt etwa 110 m.

*Macrocephalus- und Varians-Schichten:* Mergelige und sandige, oolithische, fossilreiche, graue Kalke (mit sandigen Mergeleinschaltungen?), Bruchstücke von Rhynchonellen sind nicht selten. Die Mächtigkeit beträgt etwa 20 m (1022-1042 m).

*Callovienton:* Dunkelgraue, leicht sandige, weiche, häufig fette Mergel und Tone mit einer Mächtigkeit von etwa 36 m (985-1021 m).

Das obere Callovien konnte nicht in die beiden Formationen Dalle nacré und Anceps-Athleta-Schichten unterteilt werden. Es handelt sich um graue und dunkelbraune, sandige, sehr quarz- und eisenreiche, häufig glaukonithaltige Mergel und Mergelkalke mit einer eisenoolithischen Mergelkalklage als oberem Abschluss (976 m). Die von FISCHER (1965) und BITTERLI (1945) beschriebene Spätigkeit (Echinodermenbreccie) und Bioklasten konnten nicht beobachtet werden. Die Mächtigkeit beträgt knapp 10 m.

## 2.2 *Malm*

Die Basis des *Renggeri-Tones* (unt. Oxfordien) liegt bei 976 m. Es sind dunkelgraue, fette, tonige und sandige Mergel, die allmählich in die etwas kalkigeren Mergel des *Terrain à chailles* übergehen. Hier finden sich zwischen den Mergeln in einzelnen Lagen sandige Mergelkalke (Chaillen), eine lithologische Grenze konnte nicht gezogen werden. Die Mächtigkeit des unteren Oxfordien beträgt 105 m.

Über den eintönigen Mergeln entwickeln sich bei etwa 870 m rasch dunkelgraue, sandige Mergel und Kalke mit Korallen und Verkieselungen, die *Liesberg-Schichten,* mit einer Mächtigkeit von etwa 17 m. Nach FISCHER (1965) kann die Abgrenzung Terrain à chailles-Liesberg-Schichten (unteres-mittleres Oxfordien) nach paläontologischen Gesichtspunkten etwa 12 m tiefer vorgenommen werden (häufiges Auftreten von Pholadomyen und Rhynchonellen). Da in der Bohrung keine Fossilbruchstücke beobachtet wurden, sind die unterschiedlichen Angaben der Mächtigkeiten dieser Formation verständlich.

Gegen oben zu werden die Liesberg-Schichten immer kalkiger, die sandigen Mergel werden abgelöst von grauen Mikriten. Ein rascher Farbwechsel bei 853 m von dunkelgrauen zu hellen, weisslichen und beigen bis gelblichen Farbtönen nehmen wir als Grenze zwischen den Liesberg-Schichten und den *Rauracien-Korallenkalken.* Die Mergel verschwinden vollständig, und wir finden helle Mikrite, Oopelsparite und -mikrite mit vielen Korallenschwarten. Der Bohrkern aus dieser Formation (846-852 m) zeigt, dass das Gestein von vielen Tonhäuten durchzogen ist. Korallenschwarten treten in den untersten 25-30 m auf, darüber folgen weisse und beige, meist fossilleere, teilweise jedoch riffdetritusführende, manchmal leicht kreidige, meist aber splittrige, dichte Mikrite und wenig Oopelmikrite. Die Obergrenze der Rauracien-Korallenkalke ziehen wir bei 785 m, die gesamte Mächtigkeit beträgt etwa 68 m.

Darüber folgen die 10-12 m mächtigen beigen, dichten, splittrigen Mikrite der *Vorbourg-Kalke* (früher: Plattige Kalke), gegen oben zu mit einigen geringmächtigen Lagen von graubeigen, sandig-mergeligen Oospariten und Kalkareniten alternierend, die den Übergang zur hangenden Formation anzeigen.

Die *Natica-Schichten* bestehen aus Wechsellagerungen von grauen, sandigen, quarzreichen Mergeln und beigen, leicht mergeligen Kalken (Mikrite, Arenite).

Die Kalke sind im unteren Bereich als beige, quarzreiche, glaukonitführende Mikrite, gelbe Oosparite und rekristallisierte Mikrite, z.T. quarz- und eisenhaltig, sowie als sandige Mergelkalke ausgebildet. Darüber folgen gelbbraune, quarzreiche, mergelige Kalke mit Glaukonit, dunkelbraune und graue, fossilreiche sandige Kalke und Mergelkalke sowie beige quarzreiche Oobiopelmikrite. Die ganze Formation ist gekennzeichnet durch den meist hohen Quarzgehalt und die Glaukonitführung und besitzt eine Mächtigkeit von etwa 40 m (730-770 m).

Die jüngsten jurassischen Gesteine sind graubeige, weissliche und gelbe Oolithe, feine Pelsparite mit wenig Biodetritus und vorherrschend dichte, splittrige Mikrite. Die etwa 20 m mächtige Kalkserie bildet die Unterlage der tertiären Sedimente, die Obergrenze liegt bei etwa 709 m.

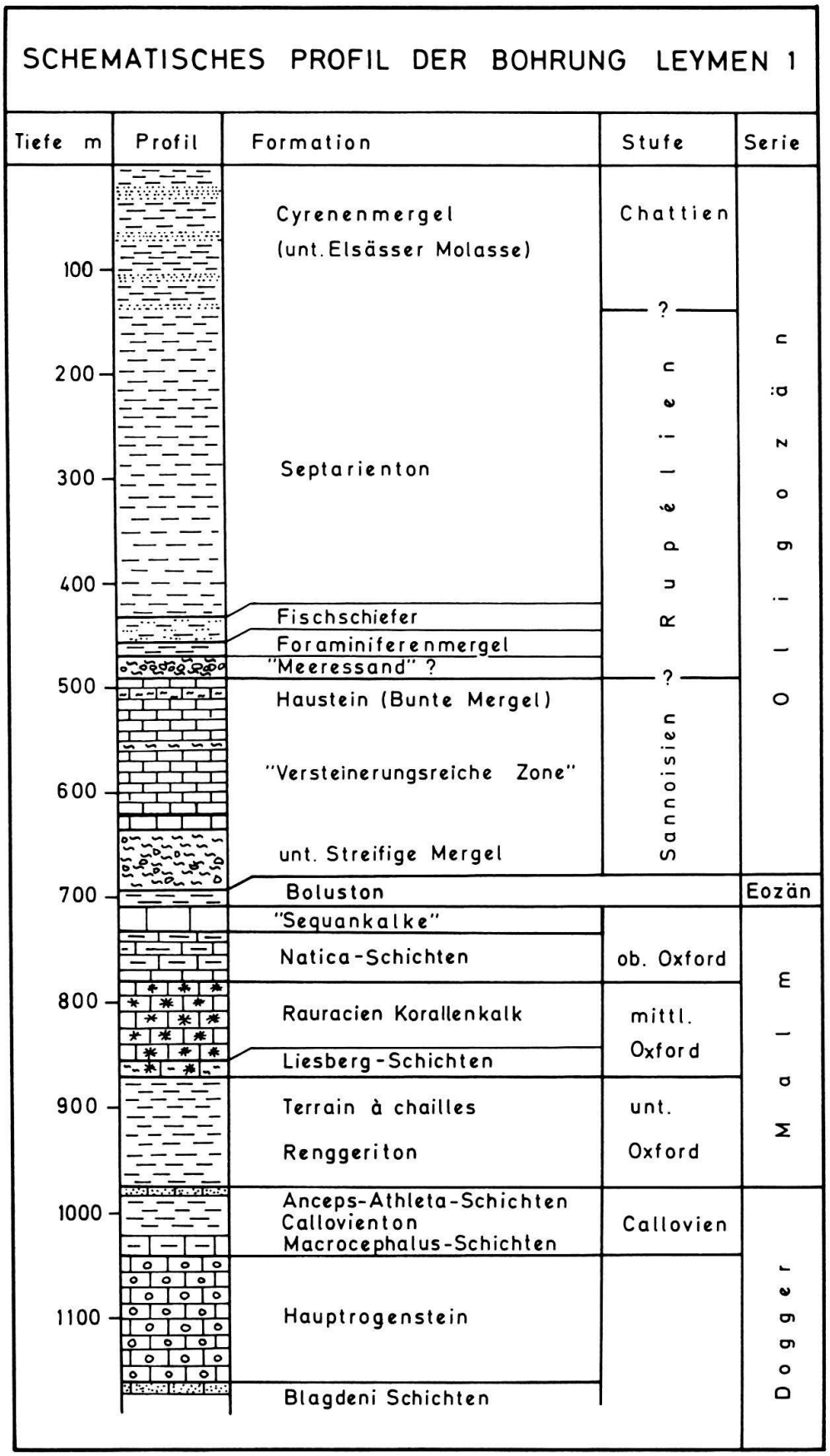



Fig. 2. Geologisches Profil der Bohrung Leymen.

Erstaunlicherweise zeigt die Stratigraphie des oberen Oxfordien («Sequanien») der Bohrung keinerlei Übereinstimmung mit der Lithostratigraphie im Blauengebiet, wie sie von FISCHER (1965) und BITTERLI (1945) dargestellt wird.

So schreibt FISCHER (1965), dass über den 40 m mächtigen Natica-Schichten (die noch vergleichbar sind mit der äquivalenten Formation in der Bohrung) die etwa 15 m mächtigen Humeralis-Schichten des mittleren «Sequanien» folgen, die sehr fossilreich sind (Mergel, Oolithe und Algenkalke). Mumienbildungen (Onkoide) sollen im ganzen Gebiet sehr häufig sein; in der Bohrung konnten aber keine beobachtet werden. Weiter folgen 50–60 m mächtige, helle, oolithische, pelitische, pisolithische und mikritische Kalke des «Obersequanien» (Verena-Oolith) und eventuell des Kimmeridgien.

BITTERLI (1945) gibt keine Details des oberen Oxfordien; er erwähnt nur das Auftreten von Humeralis-Schichten und Verena-Oolith mit einer Gesamtmächtigkeit des «Sequanien» von 80 bis 100 m.

Der Vergleich der Bohrprofilaufnahme mit der Literatur lässt zwei Schlüsse zu:

a) Im Bereich der Bohrung zeigt die Stratigraphie ein vollständig anderes Faziesmuster als im Süden und Westen, zudem scheinen grosse Partien des oberen Malms erodiert worden zu sein (40–60 m?). Dafür sprächen auch die Ergebnisse der Tiefbohrung Neuwiller, wo über den Rauracien-Korallenkalken nur noch 50 m Mesozoikum vorhanden sind (tektonisch gestört?).
b) Infolge einer grösseren Abschiebung (40–50 m Sprunghöhe), die der grossen Störungslinie von Allschwil zuzurechnen wäre, wird das mittlere und teilweise obere «Sequanien» nicht durchbohrt (vgl. Fig. 2). Die Störung müsste zwischen 720 und 730 m durchfahren worden sein. Anhand des Spülgutes sind keinerlei Anzeichen einer Störung erkennbar.

## *3. Tertiär*

### 3.1 *Lithostratigraphische Beschreibung*

709–692 m Ockerfarbiger, quarzreicher Ton; dunkelrote bis braunrote und gelbe, weiche Tone mit kleinen Bohnerzkörnern.

692–654 m Mächtige, rote und gelbe, tonige, quarzreiche Mergel mit einzelnen konglomeratischen Lagen von Malmkalken (s. Fig. 2), bestehend aus kleinen gerundeten Partikeln und Splittern von dichten, rekristallisierten Mikriten und Oolithen. Grössere Konglomeratlagen bei 658, 663, 667, 675, 687 und 689 m.
Es handelt sich hierbei um Aufarbeitungsprodukte von siderolithischen Bildungen mit eingeschwemmten jurassischen Lithoklasten.

654–637 m Gelbe und ockerfarbige, graue und rote Mergel mit Konglomeraten, quarzführend. Die Komponenten bestehen meist aus gerundeten, beigen und gelblichen Mikriten und Pelmikriten.

637–627 m Weissliche bis beige, leicht kreidige, quarzreiche Kalke mit braunen, stark rekristallisierten Komponenten, deren Genese nicht mehr erkennbar ist, und grossen Onkoidbruchstücken.

627–621 m Blasse, rote und gelbe, quarzreiche, sandige, harte Mergelkalke.

621–600 m Helle, quarzhaltige Kalksandsteine (Kalkarenite) von unterschiedlicher Feinheit. Schlecht zementierender, weisser Mikrit als Matrix, die Lithoklasten sind beige, gelbe und braune, glasige, rekristallisierte Kalke diverser Grösse, meist gut sortiert. Häufig tritt Glaukonit auf. Es schalten sich z. T. helle, monotone, quarzreiche Arenite ein, wechsellagernd mit sandigen, grauen Mergeln.

600–582 m Gleiche Lithologie wie die Gesteine der liegenden Schichten, aber von dunkelbrauner Farbe. Von 581 bis 589 m wurde ein Kern gezogen (siehe Fig. 3).

582–564 m Quarzreiche, graubeige und gelbe, sandige und kalkige Mergel, wechsellagernd mit quarzreichen, feinen und groben, beigen, grauen und braunen Kalkareniten mit vielen rekristallisierten Komponenten.

564–561 m Graue, sandige Mergel.

561–555 m Hellgraue, quarzreiche, feinkörnige Kalkarenite (Intrasparite bis Intramikrosparite).

555–546 m Helle, beige, graue und graublaue, sandige Mergel.

546–539 m Hellbeige, feinkörnige, glaukonithaltige, quarzreiche, harte Pelmikrosparite und -mikrite.

539–534 m Quarzreicher, heller Kalkarenit (Intramikrit), ähnlich den Schichten von 621 bis 600 m, sowie beige und braune, quarzhaltige, feine und grobe Kalkarenite mit Ooiden und Pellets neben dem Karbonatdetritus.

534–523 m Weisse, kreidige, quarzführende Mikrite, häufig mit Onkoiden, Bioklasten und Stromatolithenbruchstücken. Die braunen Komponenten sind stark rekristallisiert.

523–521 m Graue, sandige und kalkige Mergel.

521–520 m Beige und graue, feinkörnige, quarzreiche, glaukonithaltige Kalkarenite.

520–517 m Graue, sandige Mergel.

517–515 m Beige und graue, z.T. sandige Mikrite mit braunen und schwarzen, eckigen Intraklasten («cailloux noirs»), an der Basis der Schichten Horizonte mit weissen, kreidigen Kalken.

515–509 m Beigegraue, leicht sandige Mikrite mit «cailloux noirs».

509–506 m Bunte Mergel (grün, weiss, grau, violett, rot, gelb).

506–501 m Weisse, kreidige Mikrite mit Pyrit und wenigen feinen, z.T. glasigen, rekristallisierten, z.T. braunen und beigen Komponenten.

501–499 m Rote, quarzreiche, tonige Mergel.

499–493 m Weisse, kreidige Kalke mit vielen braunen, rekristallisierten Intraklasten, u.a. Onkoide und Stromatolithenbruchstücke. Es handelt sich um die gleiche Lithologie wie die Gesteine von 534 bis 523 m.

493–465 m Rote und graue (gebleichte), quarzreiche Mergel mit verschiedenen Konglomeratlagen (Malmkalke und aufgearbeitete Gesteine des unteren Oligozäns). Zwei grosse Konglomeratlagen bei 477–476 m und 492–491 m. Ein Kern wurde gezogen von 486,0 bis 480,6 m (s. Fig. 4).

465–454 m Hellgrauer, fetter, zäher Tonmergel, z.T. leicht sandig.

454–432 m Dunkelgraue, braune und schwarze, feinkörnige, schiefrige bis blättrige, sandige Mergel mit deutlichem bituminösem Geruch. Es sind häufig kleine, braune, stengelige und blättrige, glatte Abdrücke auf den Mergelsplittern zu finden (Fischschuppen?). Von 439 bis 438 m sind einige z.T. metermächtige Einschaltungen von grauen Mergeln vorhanden.

432–141 m Dunkelgraue, sandige und auch fette, zähe, meist plastische Tone und Mergel. Bei 409 m schwarze Mergellage mit starkem bituminösem, bei 391 m leichter $H_2S$-Geruch.

141– 20 m Wechselnde Abfolge von grauen, fetten, plastischen und sandigen Mergeln und Tonen mit feinen bis grobkörnigen, z.T. bituminösen Sanden und Sandsteinen. Sandsteinhorizonte finden sich in den folgenden Tiefen: 141–120 m, 113–106 m, 87–69 m, 65–45 m und 40–28 m.

## 3.2 *Stratigraphische Einheiten*

Aufgrund der beobachteten lithologischen Unterschiede von Cuttings und Bohrkernen können die tertiären Ablagerungen in folgende stratigraphische Einheiten gegliedert werden (s. Fig. 3):

- Eozän: Boluston, etwa 17 m mächtig (709–692 m).
- Unteres Oligozän: Sannoisien.

Das Sannoisien beginnt mit mächtigen bunten Mergeln; eingeschaltet sind häufig Konglomeratlagen (Malmkalke, siderolithische Aufarbeitungsprodukte). Die Mächtigkeit der Mergel beträgt etwa 55 m (692–637 m). Nach einer Sequenz von hellen, kreidigen Kalken mit Onkoiden und braunen, rekristallisierten Komponen-

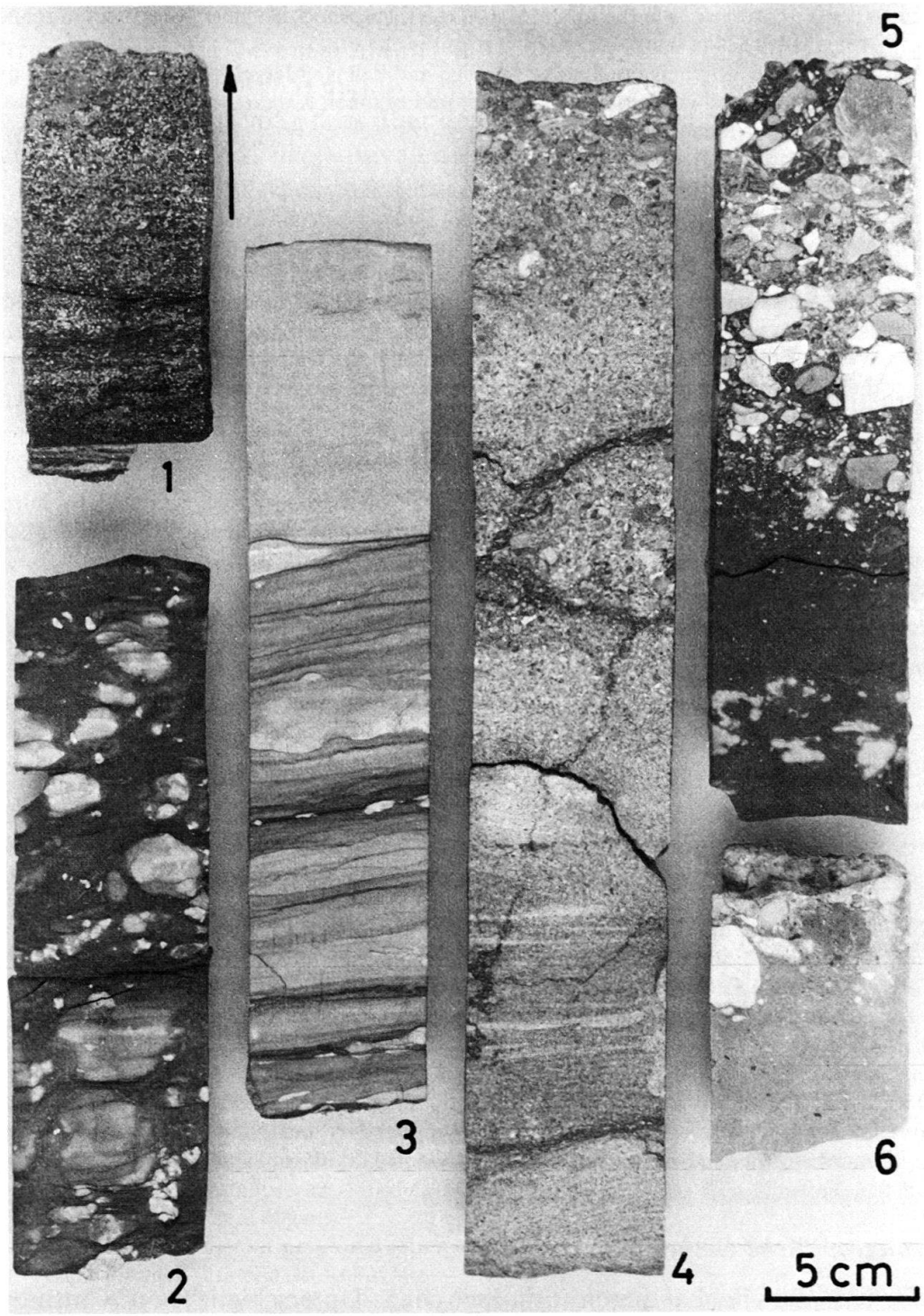



Fig. 3. Bohrkerne aus dem Unteroligozän der Bohrung Leymen. Ausschnitte der Bohrkerne aus dem Sannoisien und dem untersten Rupélien(?) zeigen die typischen Lithologien der unteroligozänen Schichten.

Kern 1: 588,15–588,30 m, mittleres Sannoisien. Rotbraune bis ockerfarbige Mergellagen von geringer Mächtigkeit innerhalb der Kalkarenite zeigen massenhaftes Auftreten von Microcodien (weisse Punkte).

Kern 2: 584,45–584,65 m. Einzelne rote Mergellagen mit wolkiger Gelbfärbung und weissen, phosphatreichen Knöllchen (Algen?) als Zwischenlagen der Kalkarenite (Kern 3 und 4).

ten und bunten Mergelkalken (zusammen 16 m, 637-621 m) folgen braune Kalke mit Konglomerateinschlüssen, vergleichbar mit den Kalkareniten von Oltingue (FISCHER 1965, S. 25), charakterisiert durch den Glaukonitgehalt. In geringmächtigen, bunten Mergellagen kann massenhaft Microcodium auftreten. Vereinzelt sind rote bzw. gelb verfärbte Mergel mit Algenknollen zu beobachten (vgl. Fig. 3). Im zentralen Teil der Formation finden sich häufig graue, sandige Mergeleinschaltungen, im oberen Teil überwiegen helle, feine, arenitische Kalke. Die Mächtigkeit der Kalke beträgt etwa 120 m (637-534 m). Es handelt sich vorwiegend um Brackwassersedimente mit geringen Süsswassereinflüssen. Abgeschlossen wird das Sannoisien mit Wechsellagerungen von grauen und bunten Mergeln mit mikritischen, evtl. kreidigen Kalken. Bei diesen Gesteinen handelt es sich um fluviatil-limnische Bildungen (Süsswasserkalke und -mergel) mit einzelnen marinen Zwischenlagen (onkolithische und glaukonitführende Kalke). Das obere Sannoisien wird solcherart auch von SCHNEIDER (1960) beschrieben. Mit den 41 m des oberen Sannoisien (534-493 m) beträgt die gesamte Mächtigkeit des unteren Oligozäns etwa 200 m.

- Mittleres Oligozän: Rupélien.

Über den Süsswasserkalken folgen 28 m (493-465 m) rote und hellgraue Mergel mit zahlreichen Konglomeratlagen (s. Fig. 3). Die stratigraphische Stellung ist unklar. Aufgrund von lithologischen Gesichtspunkten kann eine exakte Zuordnung nicht vorgenommen werden, da die Konglomerate mit den von älteren Autoren (z. B. SCHNEIDER 1960, FISCHER 1965) beschriebenen Gesteinen des oberen Sannoisien, aber auch des «Meeressandes» aus dem unteren Rupélien verglichen werden können. Analog zu FISCHER interpretieren wir aufgrund der Beobachtungen in der Umgebung der Bohrung Leymen (Bohrung Allschwil, Oltingue, Wolschwiller, vgl. FISCHER 1965, S. 37) die konglomeratischen Mergel als Bestandteile des «Meeressandes» und stellen sie damit an die Basis des unteren Rupélien.

Die Basis wird gebildet durch die obenerwähnten Mergel mit Konglomeratlagen. Die jüngeren Schichten können problemlos interpretiert werden, da deutliche lithologische Unterschiede festzustellen sind und der Vergleich mit oberflächlichen Aufschlüssen leichtfällt: Foraminiferenmergel, etwa 11 m mächtig (465-454 m), anschliessend etwa 22 m Fischschiefer (454-432 m). Die Mächtigkeit dieser Einheit überrascht, werden doch an der Oberfläche nur geringe Mächtigkeiten beobachtet; FISCHER (1965) gibt für die Region etwa 1 m an. Ab 432 m folgen Tone und Mergel des Septarientones (Blauer Letten). Vorwiegend tonigen Charakter zeigen die

---

Kern 3: 588,60-588,90 m. Feinkörnige Varietät der Kalkarenite. Häufig ist eine feine, rotbraune, mergelige Bänderung der Kalke mit Knollen von Microcodien und anderen Algen (analog Kern 2) zu beobachten.

Kern 4: 583,48-583,88 m. Grobkörnige Varietät der Sannoisien-Kalkarenite mit Konglomerateinschaltungen und Kreuzschichtung.

Kern 5: 481,00-481,25 m. Rote, quarzreiche Mergel (mit einzelnen grau verfärbten Flecken) mit einer Konglomeratlage von mesozoischen Kalkgeröllen und aufgearbeiteten Sannoisienkalken.

Kern 6: 483,15-483,25 m. Hellgraue Mergel mit Konglomeraten analog Kern 5.

Beide Kerne stammen aus dem «Meeressand». Die Konglomerate des untersten Sannoisien dürften etwa gleich aussehen.

Gesteine bis 141 m, darüber ist eine Wechsellagerung von Sandsteinen und Mergeln festzustellen. Da kein scharfer Übergang vom oberen Septarienton zur unteren Elsässer Molasse vorhanden ist (beide Schichtglieder bestehen aus sandigen Mergeln und mergeligen Sandsteinen), kann selbstverständlich keine Grenze gezogen werden. Wir definieren die Obergrenze des Septarientones bei 141 m mit dem erstmaligen Auftreten einer mächtigen Sandsteinlage. Die Mächtigkeit des Septarientones beträgt damit etwa 290 m (432–141 m), darüber folgen noch rund 140 m der Elsässer Molasse.

Als oberste Schichten wurden Alluvionen durchbohrt, deren Mächtigkeit aber nicht bekannt ist (keine Probennahme zwischen 20 und 0 m).

Aufgrund dieses Befundes lässt sich für die Bohrung Leymen folgende Gliederung des Tertiärs vornehmen:

| | | |
|---|---|---|
| Chattien | Elsässer Molasse | 0–141 m |
| Rupélien | Septarienton | 141–432 m |
| | Fischschiefer | 432–454 m |
| | Foraminiferenmergel | 454–465 m |
| | Meeressand | 465–493 m |
| Sannoisien | Bunte Mergel = Haustein | 493–534 m |
| | obere Streifige Mergel = Versteinerungsreiche Zone | 534–637 m |
| | untere Streifige Mergel | 637–692 m |
| Eozän | Boluston | 692–709 m |

## C. Mikropaläontologie

Die Mikrofauna besteht vorwiegend aus kleinen benthischen Foraminiferen und aufgearbeiteten planktonischen Mikrofossilien aus Mittel- und Oberkreide sowie aus dem Eozän. Auf Nannoplankton wurden die Proben nicht untersucht. Der Auswertung der autochthonen Fauna stehen eine Anzahl Hindernisse im Weg, die zunächst von der ungenügenden morphologischen Kenntnis der paläogenen Kleinforaminiferen im allgemeinen aufgeworfen werden.

Ausserdem scheinen die Flachwasserformen des Rheingrabens zu besonderen Gruppen zu gehören, deren Identität, Verwandtschaft und Bedeutung noch völlig im dunkeln liegen. Deshalb sind alle hier genannten Bestimmungen als provisorisch zu betrachten, insbesondere die generischen, bis saubere Strukturanalysen die Verwandtschaftsverhältnisse einiger Schlüsselformen aufgeklärt haben. Im folgenden werden die in den Bohrproben enthaltenen Mikrofossilien von unten nach oben abschnittweise zusammengefasst und kommentiert:

Die unterste fossilreiche Probe stammt aus 500 m Bohrtiefe und enthält ausschliesslich *«Eponides» kiliani*, eine rotaloïde Form, die Brackwasser anzeigt (siehe unten).

Alle Proben zwischen 478 und 446 m enthalten eine weitgehend einheitliche, artenreiche Foraminiferenfauna, welche Sandschaler (*Haplophragmium, Cyclammi-*

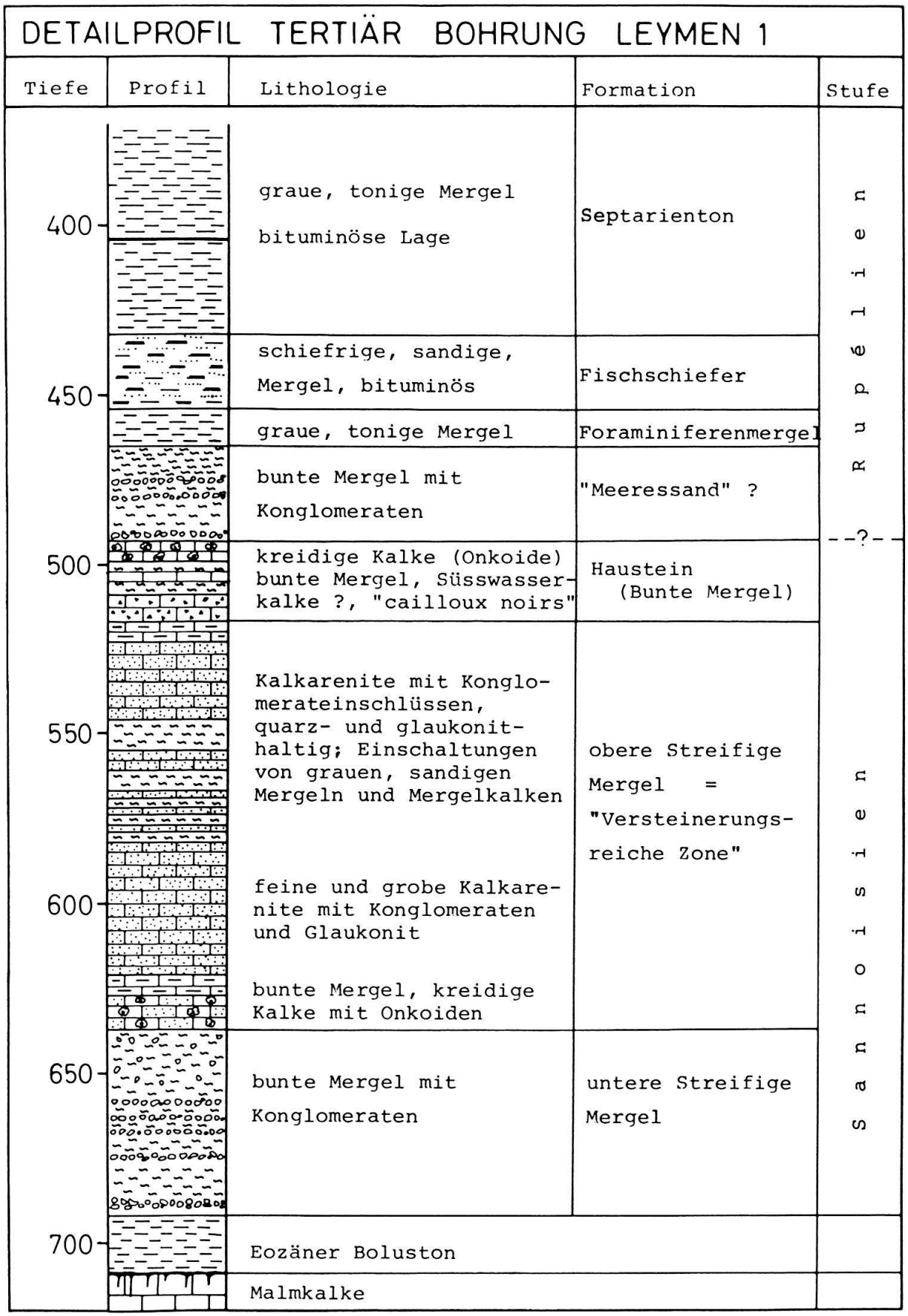



Fig. 4. Detailprofil des Tertiärs (400–700 m) der Bohrung Leymen.

*na placenta, Spiroplectammina carinata, Gaudryina chilostoma* u.a.), Lageniden (*Lagena, Lenticulina, Nodosaria* u.a.), Polymorphinen *(Guttulina)*, Bulminen, Bolivinen, *Cibicides lobatulus* und besonders häufig *C. dutemplei, Anomalina weinkauffi, Nonion affine, Pullenia bulloides, Sphaeroidina bulloides* sowie *Gyroidina girardana* aufweist. Besonders eigenartig sind die Perforationen bei *«Alabamina» perlata*, welche wohl zu *Svratkina* zu stellen sein dürfte. Die meisten hier erwähnten Arten sind in der Monographie BATJES' (1958) beschrieben und abgebildet. Globigerinen sind ebenfalls vorhanden, aber sehr oft schlecht erhalten und wenig zahlreich. Sie kommen mit aufgearbeitetem Plankton zusammen vor. Da letzteres einer Korngrössenauslese unterliegt und nur durch kleinwüchsige Arten vertreten wird, ist es schwierig, die wenig charakteristischen oligozänen von den aufgearbeiteten eozänen Arten zu trennen.

Die benthische, autochthone Foraminiferenfauna des artenreichen Abschnittes 478–446 m hat in einem normalmarinen Ablagerungsbereich gelebt, der sich in einer gewissen Tiefe befunden haben muss: Analoge, rezente Foraminiferenfaunen des Mittelmeers (MASSIOTA et al. 1974) oder in der Makassar-Strasse (Indonesien, unpublizierte Arbeiten) gehören zum Epibathyal und dürften nicht seichter liegen als etwa 400 m. *Cyclammina, Anomalina, Nonion, Pullenia, Sphaeroidina* und *Gyroidina* sind wohl die wichtigsten Tiefenindikatoren in dieser Fauna.

Die Probe 440 enthält Cuttings mit dichtgepackten Fischresten, ein Hinweis auf die schwache oder fehlende Oxidation der Oberfläche des Sedimentes. Darin liegt wohl auch der Grund, warum der Abschnitt von 440 bis etwa 320 m arm an benthischen Foraminiferen ist.

Alle Proben zwischen 440 und 230 m enthalten *«Pulvinulina» nonionoides.* Die generische Stellung und die ökologische Bedeutung dieses Foraminifers sind unklar. Es wird begleitet von vereinzelten Ostrakoden und einzelnen benthischen Foraminiferen. Bruchstücke von aragonitischen Molluskenschalen zeigen, dass nicht Dekalzifizierung des Sediments, sondern die Lebensbedingungen für die Benthos-Armut des Abschnittes verantwortlich sind. Probe 260 enthält einzelne Buliminen, ein Hinweis auf das periodische Wiederauftreten von Sauerstoffmangel am Boden. Die obersten 50 m dieses Abschnitts enthalten neben *«P.» nonionoides* auch *«Eponides» kiliani* und Pflanzenreste. Sie stellen einen Übergang zum nächsten Abschnitt von 230 bis 140 m dar, dessen Proben von *«E.» kiliani* dominiert werden. In den meisten Proben sind auch kugelige Trochamminiden präsent. Alle Proben sind reich an Pflanzenresten eines unterschiedlichen Inkohlungsgrades. Probe 150 ist die einzige, welche eine signifikante Zahl und mehrere Arten von Milioliden geliefert hat, während Probe 140 einige Hofkerinen enthält. Aus Proben 280 und 150 stammen einige Klappen des Ostrakoden *Haplocythereida helvetica* mit deutlich ausgebildeten Höckern. Diese werden von OERTLI (1956) als Brackwasserindikatoren gewertet (Salinitäten von 5 bis 16%). Unabhängig davon wird das Foraminifer *«E.» kiliani* aufgrund von Untersuchungen in England ebenfalls als Anzeiger brackischer Lebensbedingungen interpretiert (BATJES 1958). *H. helvetica* und *«E.» kiliani* treten zusammen im Delsberger Becken auf (OERTLI 1965) und sind zusammen auch in Allschwil anzutreffen (FISCHER 1965). Mindestens der oberste Teil des Profilabschnittes von 230 bis 140 m muss deshalb als Brackwasserablagerung geringer Wassertiefe interpretiert werden.

In allen Proben, vor allem aber im Profilabschnitt zwischen 380 und 150 m, ist das aufgearbeitete Plankton häufig. Vereinzelt wird auch Benthos (Discocyclinenbruchstück in Probe 150) umgelagert. Auch in den obersten 100 m des Profils, welche nicht mehr marin sein dürften, hält die Umlagerung von planktonischem Material an: In Probe 60 sind Globotruncanen der Oberkreide und Globigerinen des Eozäns gemischt. Das aufgearbeitete Material ist teils vererzt und kann als Steinkern vorliegen, teils kalkig und sehr gut erhalten, manchmal besser als die autochthone Fauna.

Der oberste Teil der Bohrung von 0 bis 140 m hat keine autochthonen Mikrofossilien geliefert mit Ausnahme einiger Bruchstücke von Chara-Oogonien in Probe 37.

Die benthonische Mikrofauna als Ganzes sagt über das genaue Alter der Ablagerungen beim gegenwärtigen Stand des Wissens nur wenig aus. Die Entwicklung der Ablagerungsbedingungen dagegen darf wie folgt interpretiert werden: Rasche Absenkung des Rheingrabens nach kurzer, brackischer Übergangsperiode bei 500 m. In Abschnitt 2 (478–446 m, Foraminiferenmergel und Fischschiefer) langsame, vollmarine Sedimentation in grösserer Tiefe (unter 400 m), dann rasche Füllung des Grabens mit Septarienton, zunächst unter $O_2$-Mangel (von 440 bis 320 m), dann gleichzeitig unter leichter Aussüssung des Beckens (bis 230 m). Von 230 bis 140 m deutliche Brackwasserablagerungen, die ab 150 m nur noch knapp unter Meereshöhe liegen. Die letzten 140 m des Profils (Cyrenenmergel?) sind als terrestrische Ablagerungen zu deuten, welche wohl nur wenig über Meereshöhe abgelagert wurden.

## D. Schwermineralanalyse

### *1. Allgemeines*

Die Bohrung Leymen nimmt wegen ihrer regionalen Lage eine Schlüsselposition ein, liegt sie doch am Süd-Rand des Rheingrabens. Durch die Analyse der sedimentpetrographischen Daten der Bohrung (26 Proben) sollte es möglich sein, eine eventuelle Verbindung mit der Molasse des schweizerischen Mittellandes nachzuweisen, wobei allerdings dem Zeitpunkt der Öffnung einer solchen Verbindung (Raurachische Senke) besonderes Augenmerk zukommt. Zur Abklärung des Gesamtbildes wurde dazu Probenmaterial aus den verschiedenen intrajurassischen Lokalitäten (Wahlen, Delsberg, Arlesheim, Allschwil und Gänsbrunnen) sowie aus dem Rheingraben (Guewenheim, Mainz) aufgesammelt und auf seine Schwermineralverteilung untersucht. Für die paläogeographischen Interpretationen waren die Schwermineraluntersuchungen der Bohrungen von Wynau (MAURER et al. 1982) und der Westschweiz (MAURER, in Vorbereitung) von grosser Hilfe.

### *2. Schwermineralanalyse*

Die Aufbereitung und die Gewinnung der Schwerminerale geschahen nach demselben Schema, wie es in der Arbeit über die Bohrung Romanens 1 beschrieben worden ist (MAURER et al. 1980).

Die gefundenen Schwerminerale

*Granat:* Farblose Körner mit scharfen Kanten, selten idiomorph ausgebildet. Des öfteren mit Erz- und Rutileinschlüssen. Fast völliges Fehlen von Anwachsformen (Typ II, MAURER 1982).

*Epidotgruppe* (Pistazit und Klinozoisit): Unregelmässige Körner von grünlicher bis weisser Farbe, zum überwiegenden Teil korrodiert. Daneben auch Körner, die beim Drehen des mikroskopischen und eingeschalteten Polarisators keine Auslöschung zeigen.

*Apatit:* Durchsichtige, unregelmässige Körner mit gelbem Rand; teilweise gerundet, teilweise mit Erzeinschlüssen.

*Staurolith:* Splittrige, prismatische Körner, teilweise mit Erzeinschlüssen, die im frischen Zustand einen deutlichen Pleochroismus von Dunkelgelb zu Hellgelb zeigen. Bei zunehmender Korrosion ist der Pleochroismus fast zur Gänze verschwunden.

*Disthen:* Farblose, stengelige Körner mit getreppten Spalten und schiefer Auslöschung.

*Turmalin:* Regellose isometrische Körner; dagegen sind in den Proben des Siderolithikums (Bohrung Wahlen, 69,5 m) oder aufgearbeiteten Meeressandes (Bohrung Leymen, 476 m, 492 m und 494 m) etwa 75% der Turmaline wohlgerundet. Der grösste Teil der Turmaline besitzt eine braune Farbe (hellbrauner zu dunkelbrauner Pleochroismus), untergeordnet kommen Turmaline mit olivgrünen bis dunkelolivbraunen Farben vor. Sehr selten finden sich auch Turmaline von blaugrauer bis blauschwarzer Farbe (Leymen, Proben 70 und 180 m).

*Zirkon:* Farblose Körner, teilweise gerundet oder idiomorph. Sehr selten findet man Zirkone mit Zonarbau (Bohrung Leymen, Proben 33, 48 und 80 m).

*$TiO_2$-Gruppe:* Dazu werden Rutil, Anatas und Brookit gezählt. Mittels optischer Kriterien sehr schwer zu unterscheiden und wegen ihres geringen Anteils am Gesamtspektrum zusammengefasst.

*Spinell:* Unregelmässige Körner mit muscheligen Bruchflächen und scharfen Kanten. Farbe dunkelrot bis dunkelrotbraun, an den Kanten durchscheinend.

*Alkalihornblende:* Stengelige Körner, die im frischen Zustand einen deutlichen Pleochroismus von Blau zu Violett aufweisen.

*Ägirinaugit:* Stengelige Körner, die der Augitgruppe zugesprochen werden. Bei den Ägirinaugiten ist dabei der Alkaligehalt grösser als der Aluminiumgehalt. Die Körner zeigen einen Pleochroismus von Grün zu Grasgrün. Eine Zonierung der Farbbänder unter gekreuzten Nicols ist weit verbreitet.

Der Rest der Schwerminerale verteilt sich auf Titanit, Chloritoid, Hornblende und Andalusit.

### *3. Schwermineralassoziationen der Bohrung Leymen*

In der Bohrung treten drei unterscheidbare Schwermineralspektren auf. Von 20 bis 126 m (9 Proben) ist eine Granat-Epidot-Staurolith-Apatit-Vergesellschaftung mit Nebengemengteilen (2-10%) von Turmalin, Spinell vorhanden (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: *Schwermineralspektrum (Bohrung Leymen).*

| | I (9 Proben) 0-126 m | | II (14 Proben) 140-432 m | | III (3 Proben) 476-494 m | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Granat % | 57,6 | 7,8 | 52,3 | 6,5 | 25,6 | 4,9 |
| Epidot | 42,4 | 9,6 | 27,1 | 8,0 | 8,3 | 3,8 |
| Apatit | 14,8 | 5,9 | 28,1 | 7,8 | 8,7 | 1,5 |
| Turmalin | 8,7 | 3,3 | 11,5 | 4,5 | 49,7 | 15,6 |
| Spinell | 2,2 | 1,7 | 3,1 | 2,3 | 1,3 | 1,5 |
| Zirkon | 0,9 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 12,3 | 4,2 |
| $TiO_2$ | 0,6 | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 13,0 | 7,6 |
| Staurolith | 21,1 | 6,0 | 18,7 | 6,0 | 4,3 | 0,6 |
| Disthen | 3,7 | 3,3 | 3,6 | 2,9 | 0,3 | 0,6 |
| Aegirinaugit | 0 | 0 | 2,5 | 3,9 | 1,7 | 1,5 |
| | Mittel-wert | Standard-abwei-chung | Mittel-wert | Standard-abwei-chung | Mittel-wert | Standard-abwei-chung |

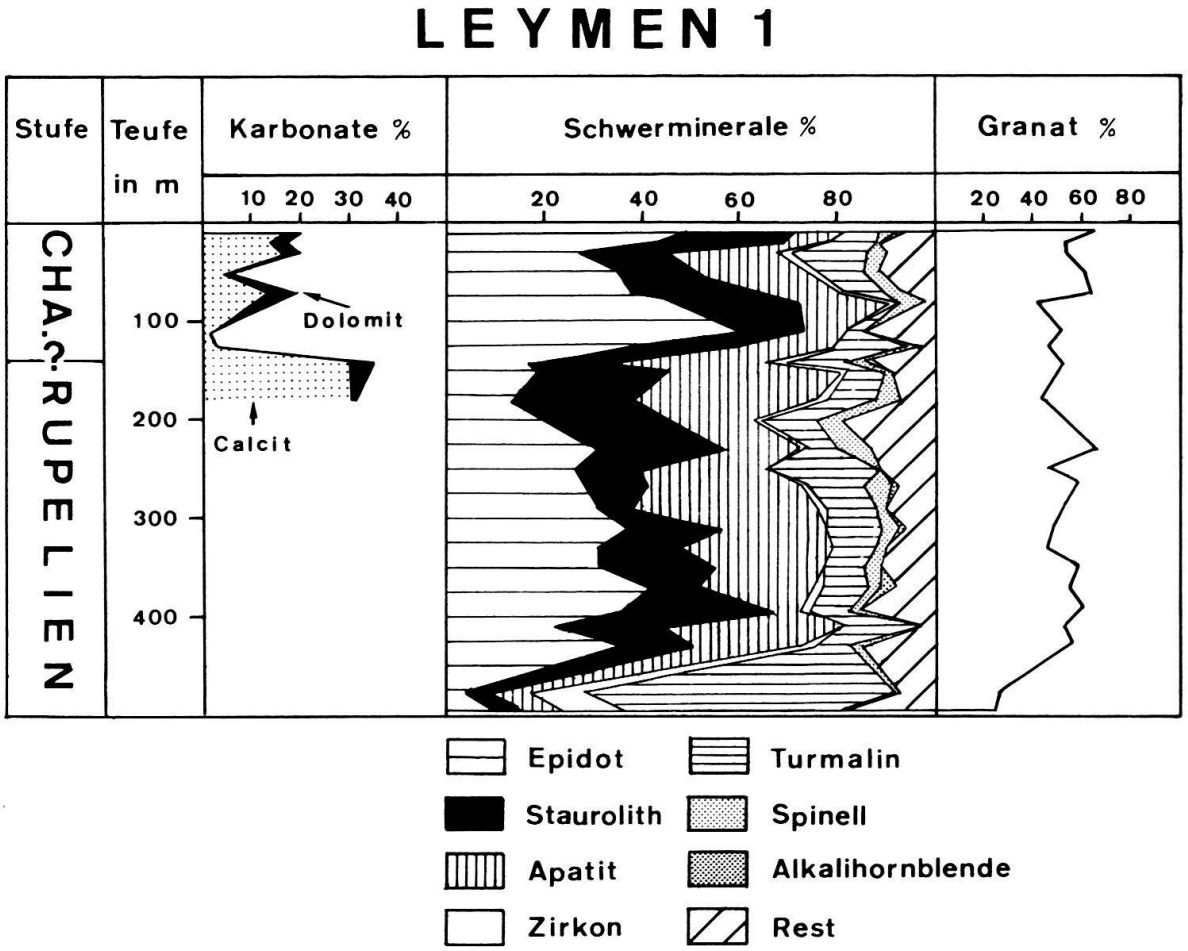



Fig. 5. Sedimentpetrographische Daten der Bohrung Leymen.

Die Lithologie dieses Abschnitts besteht aus einer Wechsellagerung von sandigen Mergeln mit Mergeln und Tonen. Die Karbonatgehalte liegen durchwegs unter 20% und heben sich gegenüber dem Abschnitt II deutlich ab, wo die Werte grösser als 30% sind (vgl. Fig. 5).

Im zweiten Abschnitt, der von 140 bis 432 m reicht, überwiegt bereits der Anteil an Apatit gegenüber Epidot. Letzterer hat gegenüber dem Abschnitt I deutlich abgenommen. Schwermineralogisch besitzt der Abschnitt II dieselbe Vergesellschaftung wie der Abschnitt I, lediglich mit Verschiebungen in der Quantität bestimmter Schwerminerale.

Lithologisch dominieren in diesem Abschnitt graue Mergel und Tone sowie dünnbankige Einschaltungen von sandigen Mergeln. Nach den mikropaläontologischen Befunden stellt er die Stufe des Rupélien (Septarienton) dar.

Bei 470–500 m tritt ein Umschlag im SM-Spektrum auf. Man findet hier eine SM-Vergesellschaftung von Turmalin, Granat, Zirkon und $TiO_2$. Es wurden drei Proben analysiert, wobei in Probe 476 m zahlreiche Foraminiferen festgestellt wurden.

Lithologisch ist dieser Abschnitt durch das Erscheinen bunter Mergel sowie Einschaltungen von Konglomeratlagen charakterisiert und wird dem «Meeressand» (= Basis Rupélien) zugeteilt. Schwermineralogisch tritt ein stabiles Spektrum auf, wobei von den Turmalinen 71%, von den Zirkonen 79% einen ausgeprägten Rundungsgrad zeigen. Man wird wohl nicht fehlgehen, dieses Merkmal durch Umlagerungsprozesse erklären zu können.

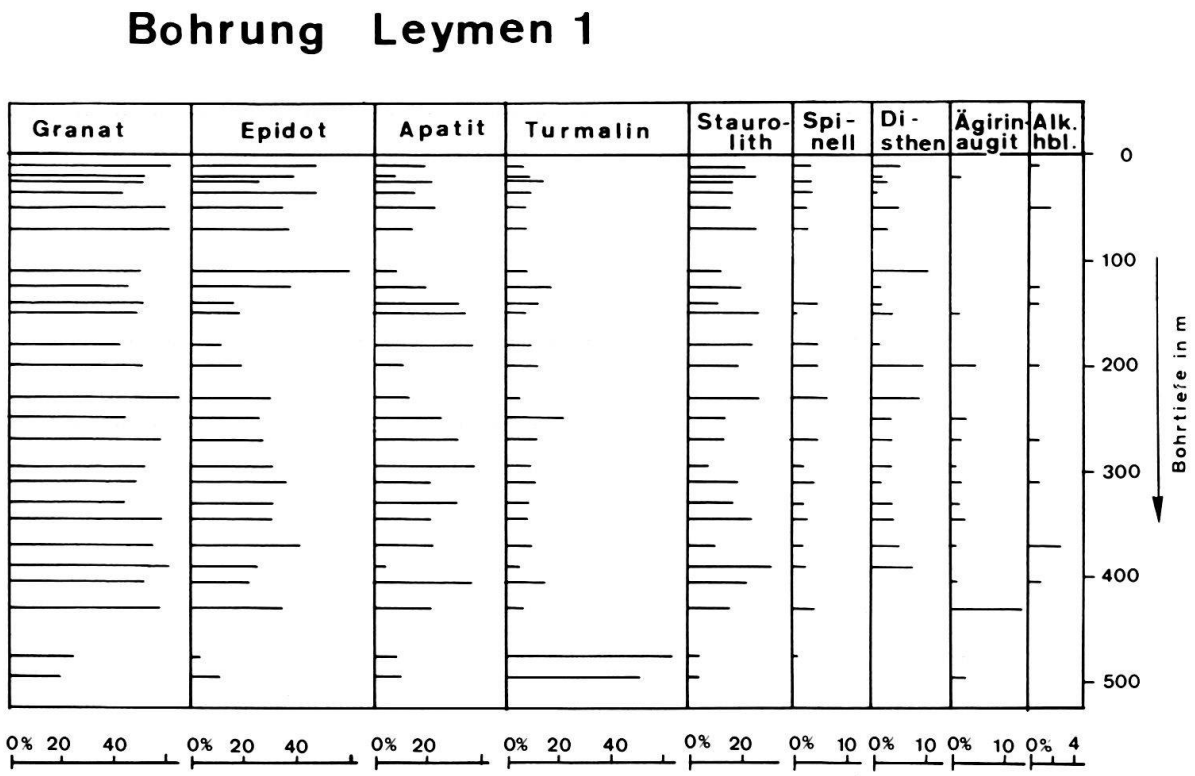



Fig. 6. Verteilung der wichtigsten Schwerminerale der Bohrung Leymen.

### *4. Proben aus den intrajurassischen Lokalitäten und dem Rheingraben (vgl. Fig. 7)*

Die für das Rupélien vergleichbaren Proben stammen aus dem Delsberger Becken (4 Proben) und aus der Tongrube von Allschwil (2 Proben) sowie aus dem Mainzer Becken (2 Proben). Die SM-Vergesellschaftung ist derjenigen der Bohrung Leymen sehr ähnlich, lediglich der Epidot ist hier mit 4% (Delsberg) und 12% (Allschwil) weniger häufig. Im Mainzer Becken zeigt der Epidot unterschiedliche Werte, die auf Kosten des Turmalins gehen (viel Epidot mit wenig Turmalin und umgekehrt). Prozentual liegen jedoch die Epidotwerte viel höher als bei den Proben des Jura.

Summarisch betrachtet, manifestiert sich im Rupélien eine Apatit-Staurolith-Granat-Turmalin-Vergesellschaftung mit Nebengemengteilen an Spinell und $TiO_2$-Gruppe.

Die Schwermineralvergesellschaftungen des Chattien verzeichnen gegenüber dem Rupélien generell einen deutlichen Anstieg des Epidots (eine Ausnahme bildet die Probe von Guewenheim, die im Rheingraben liegt). Zusätzlich zeigen die Proben Gänsbrunnen 1, Arlesheim und Guewenheim einen erhöhten Spinellgehalt.

Vergleicht man die Schwermineralvergesellschaftung der Proben des Chattien miteinander, so ergeben sich lediglich Unterschiede am prozentualen Anteil der Schwerminerale. Der oberste Balken von Figur 7 weist eine deutliche Epidotdominanz (68%) auf und dürfte daher dem Aquitanien angehören. Insgesamt zeigen die Proben aus den intrajurassischen Lokalitäten sowie aus dem Rheingraben übereinstimmende Resultate (mit Ausnahme des erhöhten Spinellgehaltes der Probe Gänsbrunnen 1) zur Bohrung Leymen. Für eine bessere, gezielte Korrelation sollten

Tabelle 2: *Schwermineralspektrum (Bohrung Wahlen).*

| | I (32 Proben 0-69 m | | II (1 Probe) 69,5 m |
|---|---|---|---|
| Granat % | 56,1 | 7,8 | 51 |
| Epidot | 17,6 | 10,5 | 7 |
| Apatit | 35,8 | 11,8 | 30 |
| Turmalin | 10,1 | 4,2 | 16 |
| Spinell | 5,3 | 2,8 | 1 |
| Zirkon | 4,2 | 3,4 | 19 |
| $TiO_2$ | 1,4 | 1,5 | 4 |
| Staurolith | 19,5 | 5,4 | 17 |
| Disthen | 3,9 | 2,1 | 0 |
| | Mittelwert | Standardabweichung | |

jedoch die einzelnen Lokalitäten profilmässig erfasst werden und nicht auf Einzelresultaten beruhen.

Von der niedergebrachten Bohrung Wahlen (vgl. Fig. 8 und Tab. 2) mit den Koordinaten 605.800/250.000 wurde an 33 Spülproben der Karbonat- und Schwermineralgehalt bestimmt. Die Bohrung selbst liegt im Becken von Laufen und durchteufte bis 69 m die Stufe des Chattien und ?Rupélien (eine genaue Trennung lässt sich mit den Schwermineralen nicht durchführen, selbst lithologisch ist eine Zweiteilung sehr problematisch).

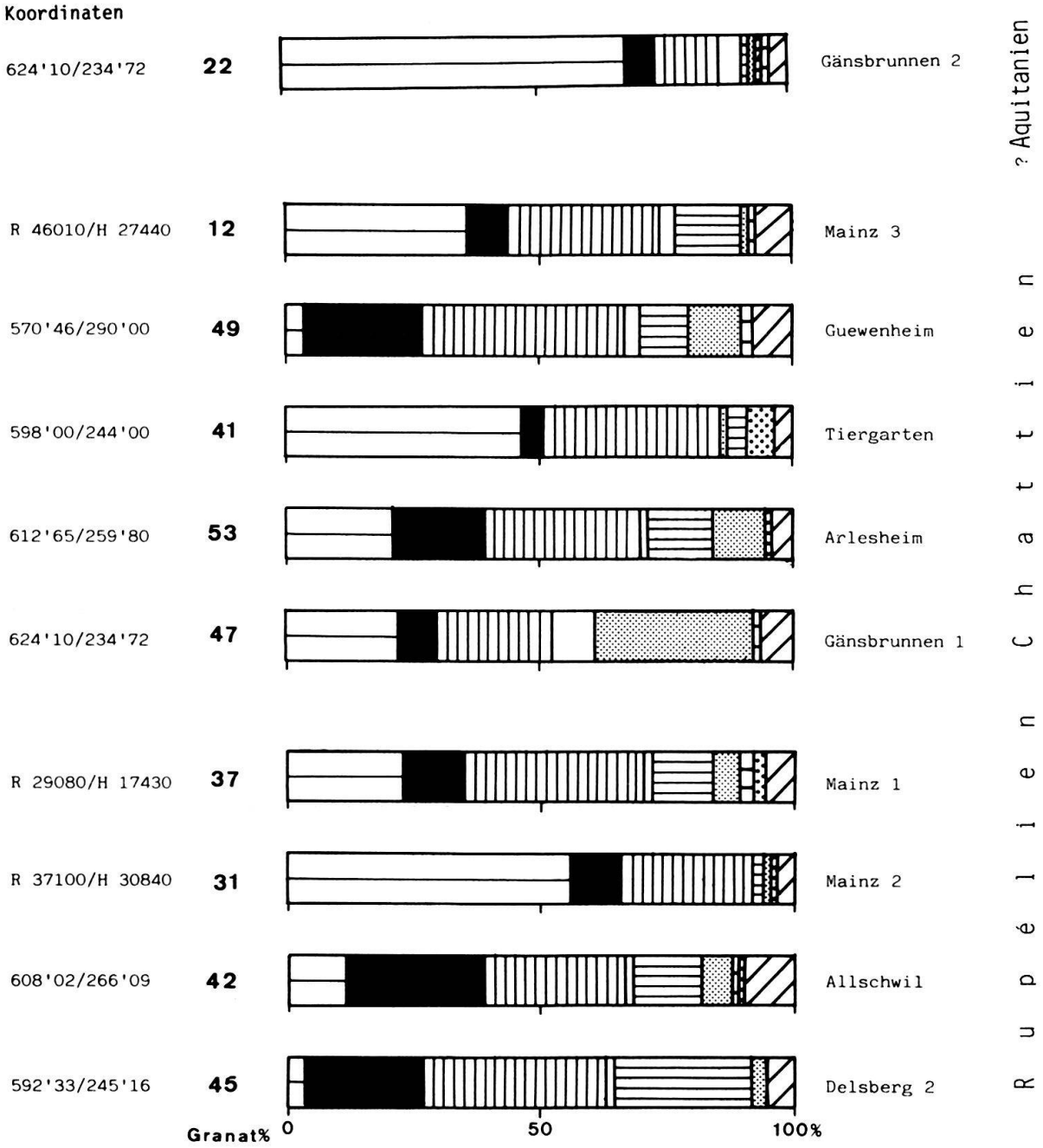



Fig. 7. Schwermineralogische Daten von Oberflächenproben verschiedener intrajurassischer Lokalitäten sowie aus dem Rheingraben. Die Balken tragen dieselbe Signatur wie auf Figur 5.

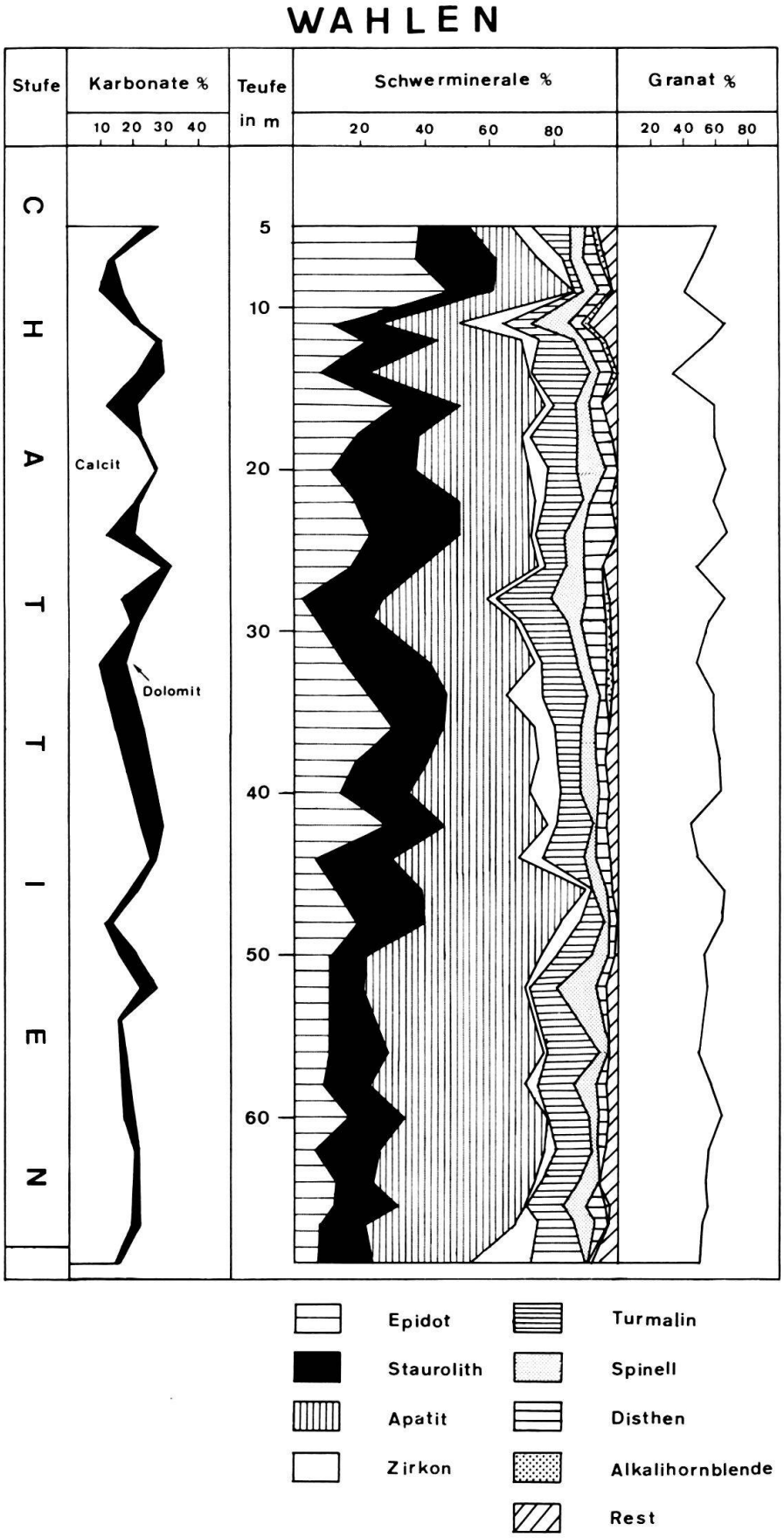



Fig. 8. Sedimentpetrographische Daten der Bohrung Wahlen.

Die Schwermineralvergesellschaftung zeigt bis 69 m eine Granat-Apatit-Staurolith-Epidot-Turmalin-Kombination mit Nebengemengteilen von Spinell, Zirkon und Disthen. Akzessorisch (<2%) sind Alkalihornblenden und Andalusit vorhanden. Die Karbonate liegen durchwegs zwischen 20 und 30% und erlauben kein Unterscheidungskriterium.

Im Liegendsten der Bohrung tritt bei 69,5 m nebst einem Farbumschlag von grauen zu roten, siltigen Mergeln ein Umschlag in der Schwermineralassoziation ein. Hier ist eine deutliche Zunahme von Turmalin, Zirkon und der $TiO_2$-Gruppe (vgl. Tab. 2) zu verzeichnen, wie sie typisch für das Siderolithikum ist. Ein weiteres Zeichen ist die auffallende Rundung von Turmalin und Zirkon, die damit einen Hinweis für eine Umlagerung ergibt. Der noch relativ hohe Granat- und Apatitgehalt dieser Probe zeigt jedoch noch Anklänge zu den hangendsten Proben, so dass aufgrund dieser Schwermineralkombination (Granat, Apatit mit Turmalin, Zirkon) eine Mischung zweier Schwermineralassoziationen vorliegt.

## *5. Herkunft der Schwerminerale*

Über die Herkunft der Schwerminerale bzw. ihrer Vergesellschaftungen im Molassebecken der West- und Mittelschweiz wurde bereits eingehend berichtet (vgl. MAURER et al. 1982 und MAURER, in Vorbereitung). Offen bleiben jedoch die Schwermineralassoziationen im Rheingraben und bedürfen deshalb der Abklärung.

Da im Rupélien eine Verbindung mit dem schweizerischen Mittelland nicht existierte, muss in dieser Zeit für sämtliche Schwerminerale eine nichtalpine Herkunft postuliert werden.

Die ultrastabilen Schwerminerale (Zirkon, Turmalin und Rutil) sowie die metamorph gebildeten Schwerminerale Staurolith, Disthen und Andalusit stammen sicherlich aus der Jura-Schüttung, deren Herkunft aus dem Massif Central angenommen wird (LATREILLE 1969). Granat und Epidot dürften sehr wahrscheinlich aus dem Norden (fennoskandischer Schild) stammen. Hingegen ist für Spinell und Apatit eine Beheimatung in den herzynischen Massiven der Vogesen und des Schwarzwaldes zu suchen. Lokal kommt in der Bohrung Leymen Ägirinaugit vor. Dieses Mineral findet sich in natriumreichen Gesteinen wie Alkaligraniten, Syeniten, Trachyten und Phonolithen. Als möglicher Lieferant werden magmatische Gesteine der Südvogesen in Betracht gezogen, wie die z. B. im Karbon auftretenden Trachyt-Rhyolithe.

Im Chattien tritt eine Vermischung alpiner und nichtalpiner Schwerminerale ein.

## *6. Paläogeographie*

Die Frage nach einer Verbindung des alpinen Molassebeckens mit demjenigen des Rheingrabens darf nach dem Stand der heutigen Kenntnisse bejaht werden. Was jedoch von seiten der Sedimentpetrographen schwierig zu beantworten ist, wäre der Zeitpunkt einer Verbindung. Erst die Erarbeitung von regional ausgedehntem Datenmaterial erbrachte wichtige Erkenntnisse.

Dabei wurde für das Rupélien der subalpinen Molasse des Alpenvorlandes das Fehlen von Epidot festgestellt, während in der Bohrung Leymen für denselben Zeitabschnitt eine deutliche Epidotführung vorhanden ist. Ein weiteres Merkmal ist das Vorkommen von Ägirinaugit in der Bohrung. Dieses charakteristische Mineral konnte bislang im Molassebecken des schweizerischen Mittellandes nicht gefunden werden. Diese unterschiedlich auftretenden Schwerminerale führen zum Schluss, dass wir zur Zeit des Rupélien zwei getrennte Becken vorfinden mit entsprechend verschiedenen distributiven Provinzen (vgl. Fig. 9). Hinzugefügt sei, dass man sich – unter der Annahme einer Verbindung der beiden Meeresbecken – sehr schwer einen Transportmechanismus in einem flachen Becken vorstellen kann, wo relativ feinkörniges Material bei geringer Strömung über eine Schwelle in das Rheintalbecken verfrachtet werden kann.

An der Wende Rupélien-Chattien – mit Beginn der Verlandung des Rupélienmeeres – bilden sich vom Alpenrand her mehrere Entwässerungssysteme. Es sind

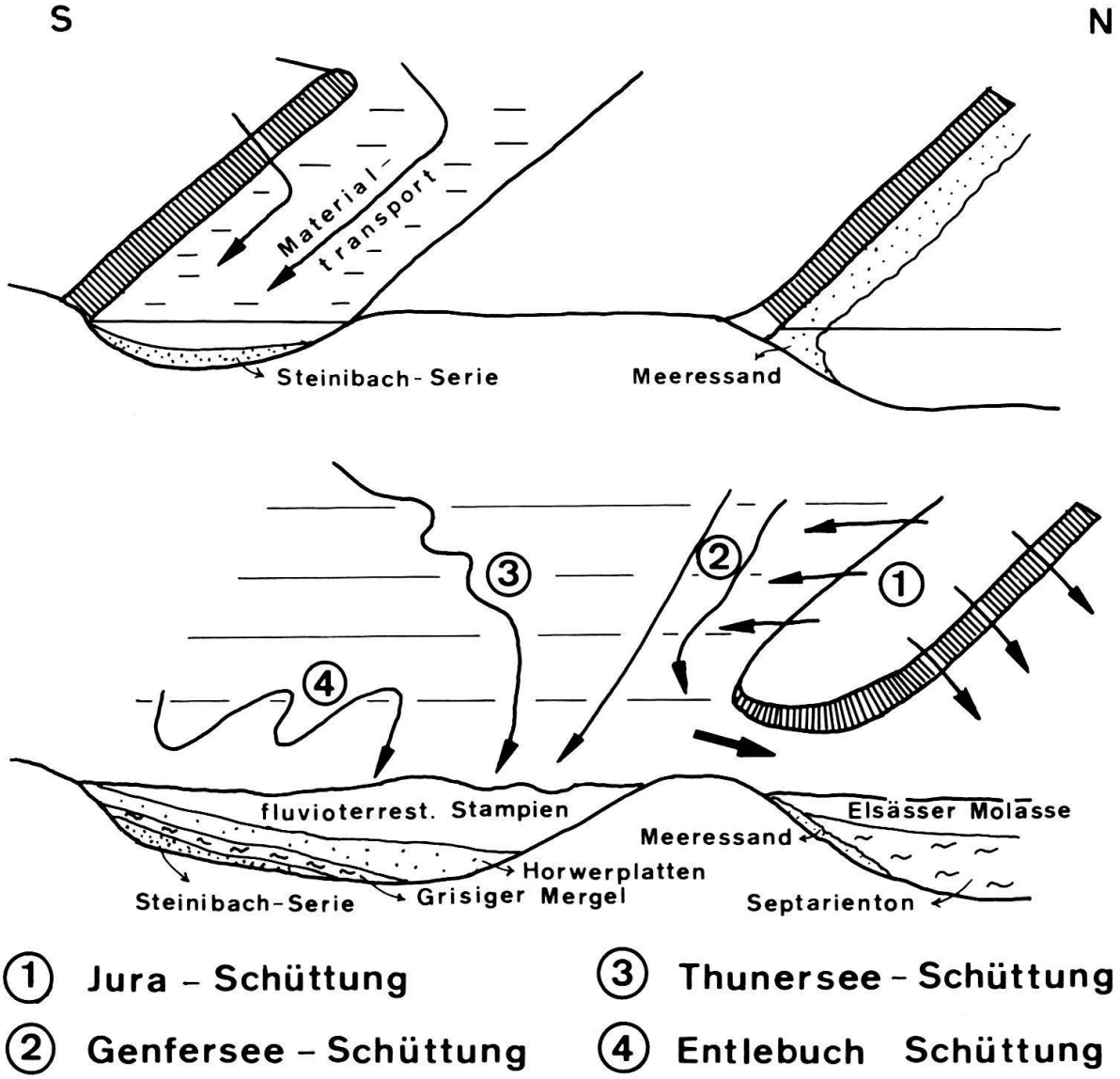



Fig. 9. Hypothetische paläogeographische Übersichtsmodelle zur Zeit des Rupélien und des Chattien.

dies die radialen Schüttungen, die aus dem Entlebuch (Entlebuch-Schüttung), dem Thunersee (Thunersee-Schüttung) und dem Jura (Jura-Schüttung) stammen und in ein SW-NE verlaufendes Rinnensystem (Genfersee-Schüttung) mündeten. Letzteres besitzt zwei parallel zueinander liegende Hauptrinnen (MAURER et al. 1982), wobei der nördliche Ast seinen Weg durch die Raurachische Senke in Richtung Rheingraben nahm, der südliche Ast seine Fortsetzung lediglich bis nach Aarwangen hatte. Hier konnte sich eine alte Schwellenzone zwischen Schwarzwald und Aarmassiv manifestieren, wobei sich jedoch damals zwischen Solothurn und Olten eine nach Osten greifende Bucht bildete (vgl. BÜCHI et al. 1977, Abb. 5). Diese Bucht war mit einem See gefüllt (Wynauer Kalke), in welchen der südliche Ast der Genfersee-Schüttung sein Material lieferte.

## E. Tektonik

Das Südende des Rheingrabens ist gekennzeichnet durch eine grabeninterne Gliederung in Horste und Gräben (s. Fig. 1, ferner FISCHER et al. 1970 und WITTMANN 1970). Basel selbst liegt auf einem Horst (Rücken von Basel). Hier hat sich das heutige Rheintal bis in den Septarienton eingeschnitten. Westlich schliesst der Graben von Wolschwiller-Allschwil an, der sich gegen Norden in den NW-SE gerichteten Graben von Sierentz öffnet. In diesem Graben sind über dem Septarienton noch Cyrenenmergel und Elsässer Molasse vorhanden. Weiter im Westen folgt der Horst von Mülhausen oder Sundgau-Horst.

Die Tiefbohrungen von Allschwil 1 und 2, Neuwiller und Leymen liegen nun alle im Grenzbereich des Grabens von Wolschwiller-Allschwil und des Rückens von Basel (Fig. 10). Dabei zeigt es sich, dass der Graben nicht an einer einzigen Störung von der Hochscholle absetzt, sondern dass mehrere parallele Verwerfungen vorhanden sein müssen: Die Bohrung Neuwiller hat zwei Störungen durchfahren, dabei kann es sich aber nicht um jene handeln, die in den Tongruben von Allschwil erkennbar sind (siehe FISCHER et al. 1970), da deren Versetzungsbetrag relativ bescheiden ist. Zwischen den beiden Bohrungen Allschwil 1 und Allschwil 2 besteht aber ein erheblicher Unterschied in der Höhenlage der Grenze Tertiär-Malm. In der Bohrung Allschwil 1 (SCHMIDT et al. 1924) ist die Tertiärbasis in 321,5 m Tiefe (= etwa −46 m u. M.) angetroffen worden, in der Bohrung Allschwil 2 (HOTZ 1928) hingegen in 914 m Tiefe (= rund −582 m u. M.). Hieraus resultiert ein Versetzungsbetrag in der Grössenordnung von annähernd 540 m.

Allein schon aus dem Vergleich der Mächtigkeiten der Tertiärsedimente in den Bohrungen Allschwil 1 und Allschwil 2 ergibt sich, dass die Absenkung des Grabens von Allschwil-Wolschwiller zumindest teilweise im Sannoisien erfolgt sein muss, beträgt doch die Sannoisien-Mächtigkeit in Allschwil 2 total 251,5 m gegenüber 96,5 m in Allschwil 1. Auch in Leymen sind 216 m Sannoisien erbohrt worden. Im Graben ist ein vollständiges Sannoisien-Profil erhalten, während auf dem Rücken von Basel wahrscheinlich nur das obere Sannoisien vertreten ist.

Leider lässt sich ein derartiger Vergleich im Rupélien und im Chattien nicht mehr vornehmen, da auf der Hochscholle die Erosion des Rheintals bis in den Septarienton hineinreicht. Im Graben ist ein ungestörtes Rupélien vorhanden, das

in der Bohrung Allschwil 2 eine Mächtigkeit von 348,5 m besitzt, in der Bohrung Leymen sind es 352 m. In der Bohrung Allschwil 1 sind noch 186,5 m Rupélien vorhanden. Es ist anzunehmen, dass die tektonische Aktivität während des Rupélien und des Chattien sowie darüber hinaus angehalten hat. Die Mikrofauna deutet auf eine tiefe Absenkung des ganzen Grabensystems zu Beginn des Rupélien hin, mit einer zunehmenden Auffüllung nach oben, wobei sich offenbar mit dem Rupélien auch eine Verbindung zum Molassetrog am Alpenrand eingestellt hat, wie dies FISCHER (1965) schon postuliert hat. Allerdings ergibt sich aus der Auswertung der Schwermineralverteilung ein etwas anderes Bild. Hier scheint eine direkte Verbindung zum Molassetrog erst an der Wende Rupélien-Chattien nachweisbar zu werden. Offensichtlich gehorchen die leichten, aufgearbeiteten Kleinforaminiferen anderen Transportmechanismen als die Schwerminerale.

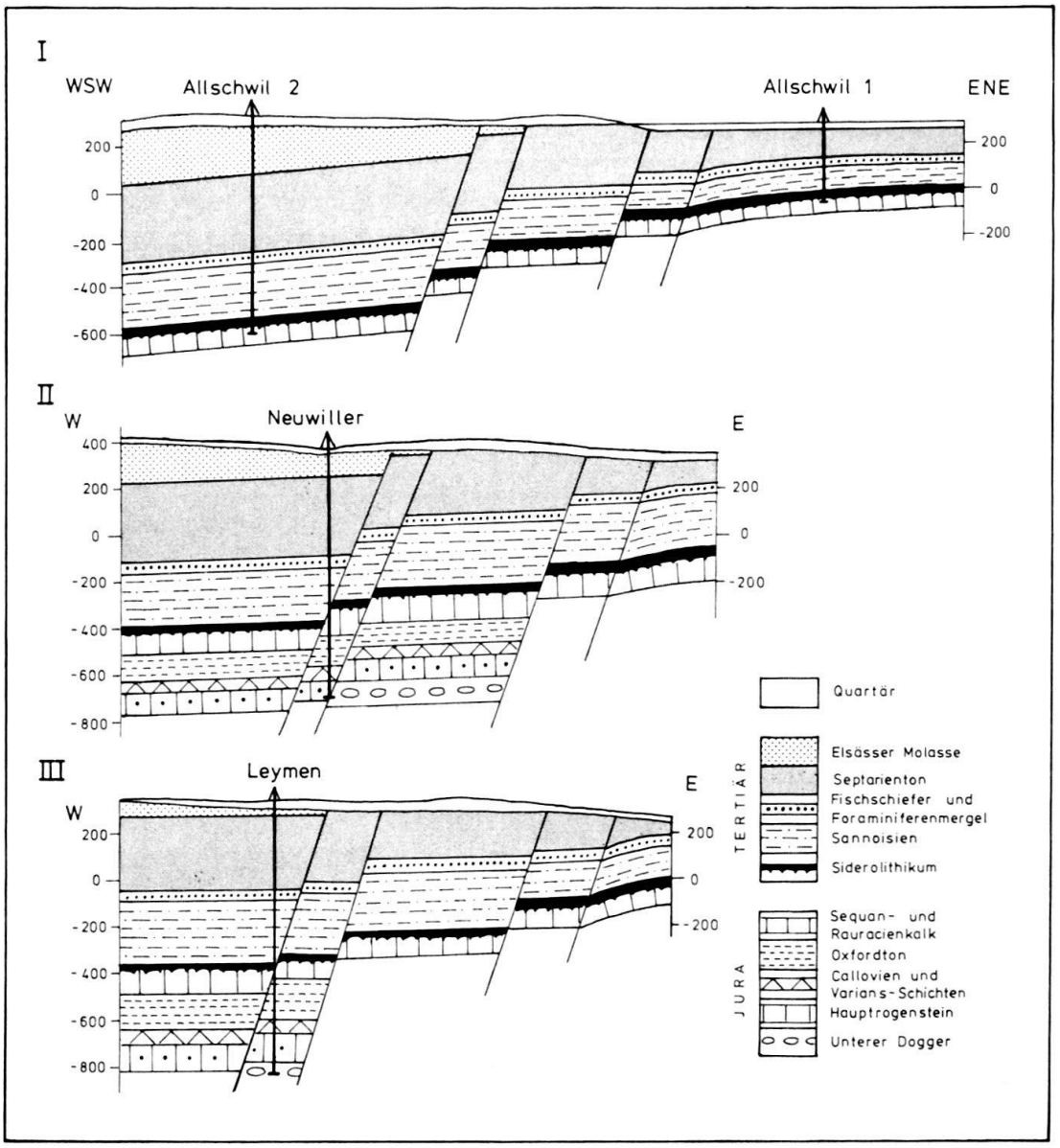



Fig. 10. Drei geologische Profile durch die Bohrungen von Allschwil, Neuwiller und Leymen.

Das Verwerfungsbündel von Allschwil erreicht südwärts das Westende der Landskron-Falte (siehe auch FISCHER 1965) und ist für das Abbrechen des Plateaus von Metzerlen gegen Westen verantwortlich. Die Präexistenz dieses Bruchbündels und des Grabens von Wolschwiller ist somit von nachhaltigem Einfluss auf die Gestaltung des Faltenjura-Nordrandes in diesem Abschnitt gewesen.

## F. Geothermie

Die Bohrung Leymen hat ihren Zweck, Thermalwasser aus den Malmkalken und aus dem Hauptrogenstein zu erschliessen, nicht erreicht, weil das Kluftsystem des Malms durch die eozänen Residualtone weitgehend versiegelt ist und auch im Hauptrogenstein keine genügende Transmissivität festgestellt werden konnte. Einzig in den unteren Sandlagen der Elsässer Molasse wurde ein starker Wasserzufluss von etwa 4–5 l/s Überlauf am Bohrlochkopf beobachtet. Dabei handelte es sich um ein Hydrogenkarbonatwasser mit nur 1 mg/l Chlorid- und 7 mg/l Sulfatgehalt.

Die Bohrung Leymen hat hingegen einen recht interessanten Temperaturgradienten aufzuweisen: In 1120 m Tiefe ist eine Temperatur von 53,7 °C gemessen worden, woraus sich ein Gradient von 38°/km ergibt. Nach dem Ergebnis der nur 4 km entfernten Bohrung Neuwiller mit einem Gradienten von 20°/km (GRANDAROWSKI 1978) konnte ein derartiges Resultat nicht erwartet werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

BATJES, D.A.J. (1958): Foraminifera of the Oligocene of Belgium. - Mém. Inst. r. Sci. nat. Belgique *143*.

BITTERLI, P. (1945): Geologie der Blauen- und Landskronkette südlich von Basel. - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *81*.

BÜCHI, U.P., & SCHLANKE, S. (1977): Zur Paläogeographie der Schweizerischen Molasse. - Erdöl-Erdgas-Z. *93*, 57–69 (Sonderausgabe 1977).

FISCHER, H. (1965): Geologie des Gebietes zwischen Blauen und Pfirter Jura. - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *122*.

FISCHER, H., HAUBER, L., & WITTMANN, O. (1970): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25000, 1047 Basel (Atlasblatt 59); mit Erläuterungen (1971). - Schweiz. geol. Komm.

GRANDAROWSKI, G. (1977): Données sur le thermalisme en Alsace. - Deutsch-Französisches Rundgespräch «Geothermische Forschung im Oberrheingraben», 21./23.Nov. 1977 in Baden-Baden, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, S.42–47.

HOTZ, W. (1928): Das Profil der neuen Bohrung von Allschwil bei Basel. - Eclogae geol. Helv. *21*/1, 90 92.

LATREILLE, G. (1969): La sédimentation détritique au Tertiaire dans le Bas-Dauphiné et les régions limitrophes. - Thèse 567, Univ. Lyon.

MASSIOTA, P., CITA, M., & MANCUSO, M. (1974): Benthonic foraminifers from bathyal dephts in the eastern Mediterranean. - 1st Int. Symp. Benthonic Foraminifera of Cont. Margins. Part A (Halifax), S.253–262.

MAURER, H. (1982): Oberflächentexturen an Schwermineralkörnern aus der Unteren Süsswassermolasse (Chattien) der Westschweiz. - Eclogae geol.. Helv. *75*/1, 21–29.

— (in Vorbereitung): Sedimentpetrographische Analysen an Molasseabfolgen der Westschweiz.

MAURER, H., & NABHOLZ, W. (1980): Sedimentpetrographie in der Molasse-Abfolge der Bohrung Romanens 1 und ihrer benachbarten subalpinen Molasse (Kt. Fribourg). - Eclogae geol. Helv. *73*/1, 205–222.

MAURER, H., GERBER, M.E., & NABHOLZ, W.K. (1982): Sedimentpetrographie und Lithostratigraphie der Molasse im Einzugsgebiet der Langete (Aarwangen-Napf, Oberaargau). - Eclogae geol. Helv. *75*/2, 381-413.

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

SCHMIDT, C., et al. (1924): Die Bohrungen von Buix bei Pruntrut und Allschwil bei Basel. - Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. *10*.

SCHNEIDER, A. (1960): Geologie des Gebietes von Siegfriedblatt Porrentruy (Berner Jura). - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] *109*.

VONDERSCHMITT, L. (1934): Die geologischen Ergebnisse der Bohrungen von Hirtzbach bei Altkirch (Ober-Elsass). - Eclogae geol. Helv. *35*/1, 67-99.

WITTMANN, O. (1970): Tektonik des südlichen Oberrheingrabens und seines Rahmens. - Z. dtsch. geol. Ges. *121*, 61-65.