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

**Herausgeber:** Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure

**Band:** 53 (1987)

**Heft:** 125

**Artikel:** Die Erdgasbohrung Entlebuch 1, ein Tiefenaufschluss am Alpennordrand

**Autor:** Vollmayr, Theodor / Wendt, Axel

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-210922

**Nutzungsbedingungen**

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

**Conditions d'utilisation**

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

**Terms of use**

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

**Download PDF:** 09.07.2025

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

Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., Vol. 53, Nr. 125, Oktober 1987 - S. 67-79

# Die Erdgasbohrung Entlebuch 1, ein Tiefenaufschluß am Alpennordrand

von Theodor VOLLMAYR und Axel WENDT*
mit 6 Figuren im Text


## *Zusammenfassung*

Die Aufschlußbohrung Entlebuch 1 war am Nordrand der Aufgeschobenen Molasse zur Erkundung eines Hochblocks im Autochthon angesetzt worden. Sie durchteufte als bisher einzige Bohrung am schweizerischen Alpenrand vollständig das autochthone Mesozoikum und wurde im Oberkarbon bei einer Bohrteufe von 5289 m eingestellt. Stratigraphische Ergebnisse und die Tektonik an der Bohrlokation im Rahmen eines Nord-Süd Schnittes durch das Molassebecken werden diskutiert.

## *Résumé*

L'implantation du puits d'exploration Entlebuch 1 dans les écailles frontales de la molasse subalpine avait comme but la recherche d'un bloc surélevé de l'autochthone. Entlebuch 1 a été, jusqu'à présent, le seul forage dans la zone frontière des Alpes suisses ayant traversé entièrement l'autochthone mésozoique. Il a été arrêté à 5289 m dans le Carbonifère supérieur. Les résultats stratigraphiques et la tectonique autour du puits sont discutés.

## *Abstract*

The exploration well Entlebuch 1 was drilled in the frontal part of the Imbricated Molasse to investigate a structural high of the Authochthonous. It has been up to now the only well to fully penetrate the autochthonous Mesozoics on the northern border of the Swiss Alps. The well reached a total depth of 5289 m in the Upper Carboniferous. The stratigraphic results and the tectonics at the well location are discussed.


## Einleitung

Mit der Aufschlußbohrung Entlebuch 1 wurde im Jahre 1980 zum ersten Mal ein wirtschaftlich verwertbarer Erdgasfund in der Schweiz erzielt. Die vorliegende Arbeit beschreibt einige der wichtigen geologischen Ergebnisse.

* Theodor VOLLMAYR und Axel WENDT, BEB Erdgas und Erdöl GmbH, Riethorst 12, D-3000 Hannover 51

An der Auswertung waren sowohl die Geowissenschaftler der BEB als auch Spezialisten von Universitäten und von Firmen aus der Schweiz beteiligt. Besonders erwähnt seien die Herren H. GROSSIMLINGHAUS und Dr. S. SCHLANKE (Bohrungsbearbeitung) sowie Dr. H. ACHILLES und W. WILLE (Palynologie), F. ELSTNER (Paläontologie). Allen Bearbeitern und insbesondere auch der LEAG und der BEB gilt der Dank für den Beitrag bzw. die Genehmigung zu dieser Veröffentlichung.

Die Bohrung Entlebuch 1 ist für die geologische Erforschung am Alpennordrand der Schweiz von beträchtlicher Bedeutung. Sie ist bis zu einer Teufe von 5289 m niedergebracht worden und hat dabei die Schichtenfolge der Unterlage des Molassebeckens bis hinab zum Karbon erkundet. Ein Blick auf die Karte (Abb. 1) zeigt, daß vergleichbare benachbarte Aufschlüsse im Westen 40 km und gegen Osten sogar rund 150 km entfernt sind. Verständlicherweise können daher von der Erdölindustrie auch heute noch nicht alle Einzelheiten veröffentlicht werden.

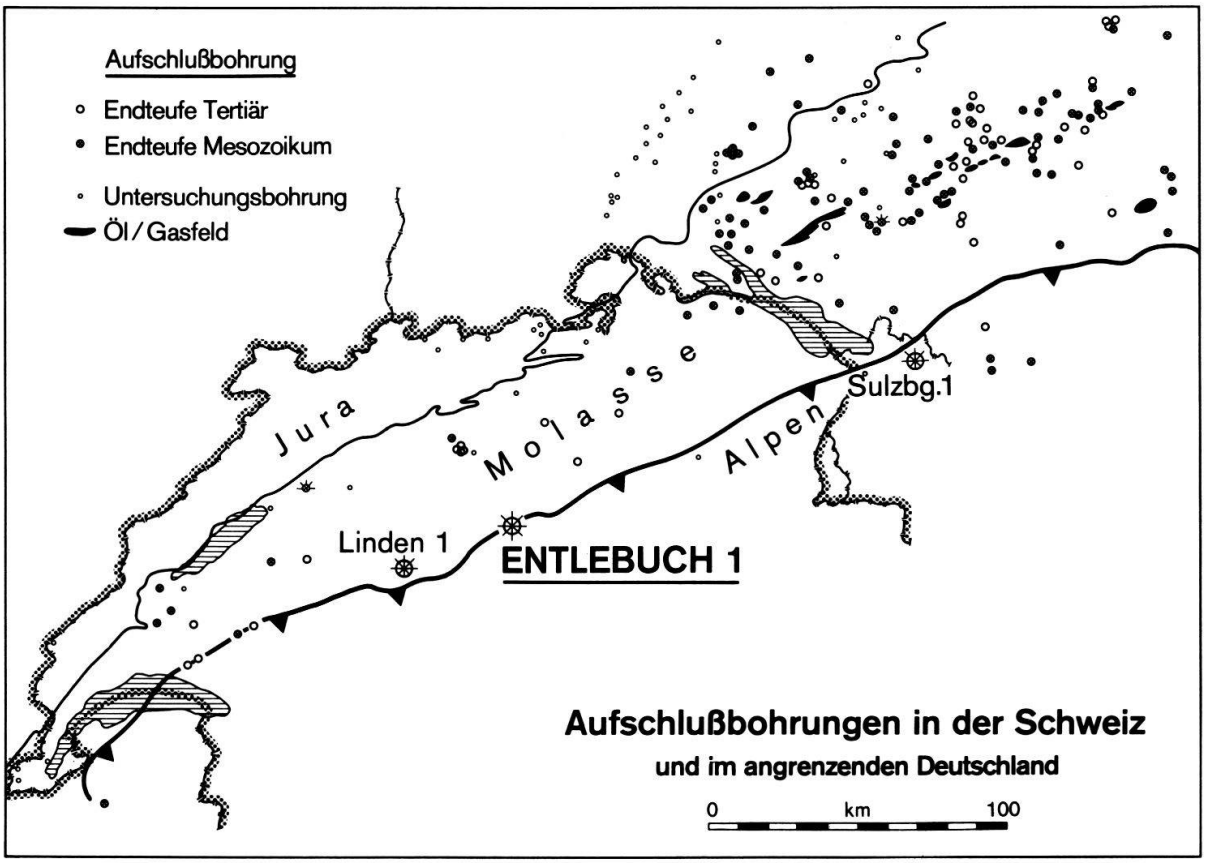


*Fig. 1:* Aufschlussbohrungen in der Schweiz und im angrenzenden Deutschland

## Planung und Bohrverlauf

Zur Vorbereitung des Bohrvorhabens waren in den Jahren 1974 bis 1977 vibroseismische Messungen durchgeführt worden. Um in dem schwierigen Gelände mit Höhenunterschieden von bis zu 600 m letzte Sicherheit über die seismisch erkannte Struktur zu erhalten, wurde 1978 erstmals im schweizerischen Alpengebiet flächendeckende 3-D Seismik eingesetzt, und zwar über ein Meßgebiet von etwa 20 km².

Die seismischen Daten ließen erkennen, daß im Autochthon unter der Aufgeschobenen Molasse (s. Vorprofil Abb. 2) nicht nur mit mächtigem Tertiär und Mesozoikum, sondern auch mit Paläozoikum zu rechnen war. In diesem Paläozoikum konnten Erdgas-liefernde permokarbonische Kohlen vorhanden sein. Die Ziele der Erdgasaufschlußbohrung selbst lagen im Mesozoikum. Als Endteufe waren 6000 m veranschlagt werden.

Da der Topbereich der Struktur in unwegsamem Gelände unter einem Bergrücken lag, mußte gerichtet gebohrt werden. Das hat sich nachträglich als eine besondere technische Herausforderung erwiesen und den Bohrverlauf und die Kostenentwicklung nachteilig beeinflußt.

Die Bohrarbeiten begannen am 24.09.1979. Bei 301 m wurden die 24 ½'' Rohre, bei 2208 m die 13 ⅜'' Rohre gesetzt. Danach begannen die Richtbohrarbeiten. Die abrasiven harten Sandsteine des Tertiärs führten zu erheblichen Bohrschwierigkeiten mit starkem Meißelabrieb. Bei 3992 m im tiefen Tertiär konnten nach etwa 200 Tagen Bohrzeit die 9 ⅝'' Rohre gesetzt werden. Mit Erreichen des Malm kam es zu erheblichen Spülungsverlusten bis hin zu totalem Spülungsverlust bei gleichzeitigem Zutritt von Erdgas. Insgesamt gingen während der langwierigen Spülungsverlustbekämpfungen 1365 m³ Spülung verloren. Ursache der Verluste waren Klüfte und ein z.T. offenes Karstsystem. Nach Durchteufen der zu Nachfall neigenden Opalinustone des Dogger wurde bei 4854 m der 7''-Liner und vor Erreichen des Paläozoikum bei 5070 m der 5''-Liner gesetzt. Nach rund 400 Bohrtagen mußte das 1. Bohrloch dann bei einer Gesamtabweichung von 644 m wegen unüberwindlicher technischer Schwierigkeiten in 5282 m Teufe eingestellt werden. Auch der Versuch, in einem ab 5151 m abgelenkten 2. Bohrloch tiefer in das Oberkarbon vorzudringen, mißlang. Am 22.10.1980 wurden die Bohrarbeiten eingestellt. Es folgten die erfolgreichen Testarbeiten auf Malm bis zum 8.12.1980, die zum Nachweis der ersten wirtschaftlich verwertbaren Gaslagerstätte in der Schweiz führte.

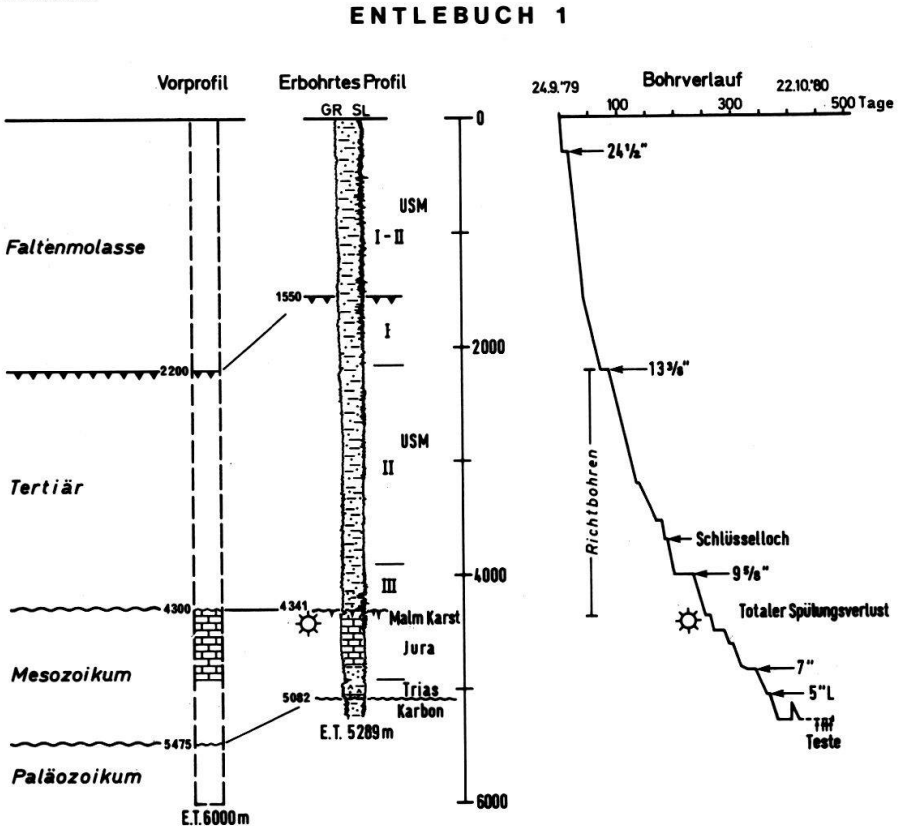


*Fig. 2:* Entlebuch 1 - Vorprofil, erbohrtes Profil und technischer Ablauf

## Bohrungsergebnisse

Das Bohrprofil

Ansatzpunkt R 651204, H 202853
Höhe über NN 1080 m
N.L. Schüpfheim 1169

| | | |
|---|---|---|
| ca. - | 30 m | Quartär |
| | | Schichtlücke |
| - | 1550 m (1549 m) | USM = Untere Süßwassermolasse<br>Aufgeschobene Molasse<br>(mehrfach verschuppt) |
| | | Überschiebung |
| - ? | 4010 m (3995 m) | USM<br>Parautochthone Molasse der Keilzone<br>(zerschert) |
| | | Aufschiebung |
| - | 4341 m (4222 m) | USM<br>Autochthone Molasse |
| | | Schichtlücke |
| - | 4344 m (4225 m) | Malm, Tithon |
| - | 4366 m (4246 m) | Boluston (Karstfüllung) |
| - | 4601 m (4472 m) | Malm, Tithon |
| - | 4698 m (4567 m) | Malm, Kimmeridge |
| - | 4787 m (4655 m) | Malm, Oxford s.l. |
| - | 4803 m (4671 m) | Dogger, Callovium |
| - | 4816 m (4684 m) | Dogger, ? Bathonium |
| | | ? Transgression |
| - | 4844 m (4711 m) | Dogger, Aalenium + Bajocium |
| - | 4882 m (4749 m) | Lias, Toarcium |
| - | 4903 m (4770 m) | Lias, Hettangium bis Domerium |
| - | 4910 m (4777 m) | Rhät |
| | | Transgression |
| - | 5050 m (4917 m) | Keuper |
| - | 5082 m (4948 m) | Muschelkalk |
| | | Transgression |
| - | 5282 m (5144 m) | Oberkarbon |
| E.T. | 1. Loch<br>5289 m | |
| E.T. | 2. Loch | |

( ) = Saigerteufen

## Beschreibung der Schichtenfolge

*Tertiär*

Unter einem geringmächtigen Quartär mit Tallehm, Silt, Kies und Hangschottern durchteufte die Bohrung in der Aufgeschobene Molasse eine 6-fach verschuppte Serie der Unteren Süßwassermolasse. Diese tektonische Folge bis 1550 m ließ sich lediglich nach Schwermineraluntersuchungen gliedern, da aus der Reflexionsseismik sichere Erkenntnisse fehlten und ein Dipmeter erst unterhalb 2210 m gemessen wurde. Als besonders diagnostisch erwies sich der Epidotanteil. Die Schichtenfolge der Aufgeschobenen Molasse setzt sich aus einer Wechsellagerung von Arkosesandsteinen, Nagelfluhbänken des Napfschuttfächers (die zum Liegenden hin seltener werden und ab 1930 m gänzlich fehlen), Siltsteinen sowie überwiegend bunten Tonsteinen zusammen. Sie ist der «Granitischen» Molasse der USM I - II (Aquitan-Chatt) zuzuordnen. Typisch sind die fleischfarbenen Orthoklase und die Karbonatarmut von weniger als 20% in den Sandsteinen.

Unter der Aufgeschobenen Molasse ist eine ungestörte Abfolge der Schwermineralassoziationen festzustellen. Das Dipmeter weist jedoch bis mindestens 4010 m erhebliche Wechsel im Einfallen der Schichten auf, was auf eine tektonische Verformung an den Scherbahnen in der parautochthonen Keilzone (Duplexstruktur) hindeutet. Auch tritt wiederholt Kluftcalcit auf. Die Lithologie der «Granitischen» Molasse setzt sich bis 3900 m fort, wobei der Sandsteinanteil zum Liegenden hin abnimmt. Kohlepartikel treten relativ selten auf. Eine erneute Zunahme des Sandsteinanteils ab ca. 3700 m, die markante Veränderung des Schwermineralspektrums mit verstärktem Auftreten von Spinell/Turmalin ab 3900 m und vor allem die Zunahme des Karbonatanteils in den Sandsteinen auf bis 40% ab 3900 m weisen darauf hin, daß dort der Übergang von der «Granitischen» Molasse zur «Karbonatreichen» Molasse der USM III (Chatt) liegt. Die feinkörnigen Sandsteine sind nun orthoklasarm und enthalten häufig rote und grüne Radiolaritkörner-führende Varietäten. Da die bunten rötlichbraunen, grau- bis violettbraunen Silt- und Tonsteine bis zur Basis der Molasse anhalten, scheint die Untere Meeresmolasse über der Schichtlücke zum Malm zu fehlen. Es muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß verläßliche biostratigraphische Angaben im gesamten Tertiär von Entlebuch 1 fehlen.

*Mesozoikum*

Bei der stratigraphischen Auswertung des Mesozoikums wurden, ebenso wie für das Paläozoikum, Spülproben- und Kernbeschreibungen, Mikrobefunde, palynologische Befunde und die physikalischen Bohrlochmessungen benutzt. Außerdem erfolgte die Verknüpfung mit anderen Bohrungen der Schweiz und der deutschen Westmolasse mit Hilfe von Sonic-Gamma-Ray-Logs sowie von elektrischen Widerstandsmessungen. Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Fig. 3 und 4 dargestellt. Bei der folgenden Diskussion der stratigraphischen Grenzen beziehen sich die Angaben generell auf die Teufen nach Sonic-Log. Während für die Teufenangaben bei den Bohrlochmessungen die Dehnung des Kabels durch die Eigenlast berücksichtigt ist, muß bei den nach Bohrmeisterangaben den Spülproben und Kernen zugeordneten Teufenwerten daran erinnert werden, daß das Bohrgestänge liegend gemessen wird. Die durch Zug entstandene Teufendifferenz gegenüber den Bohrlochmessungen wird in der Größenordnung von etwa 5 m für die im Mesozoikum von Entlebuch vorliegenden Teufen abgeschätzt, wobei die Zahlen der Bohrmeisterangaben zu klein sind. Keiner der Kerne zeigt im vorliegenden Fall eine genügend differenzierte lithologische Ausbildung, um eine Eichung der

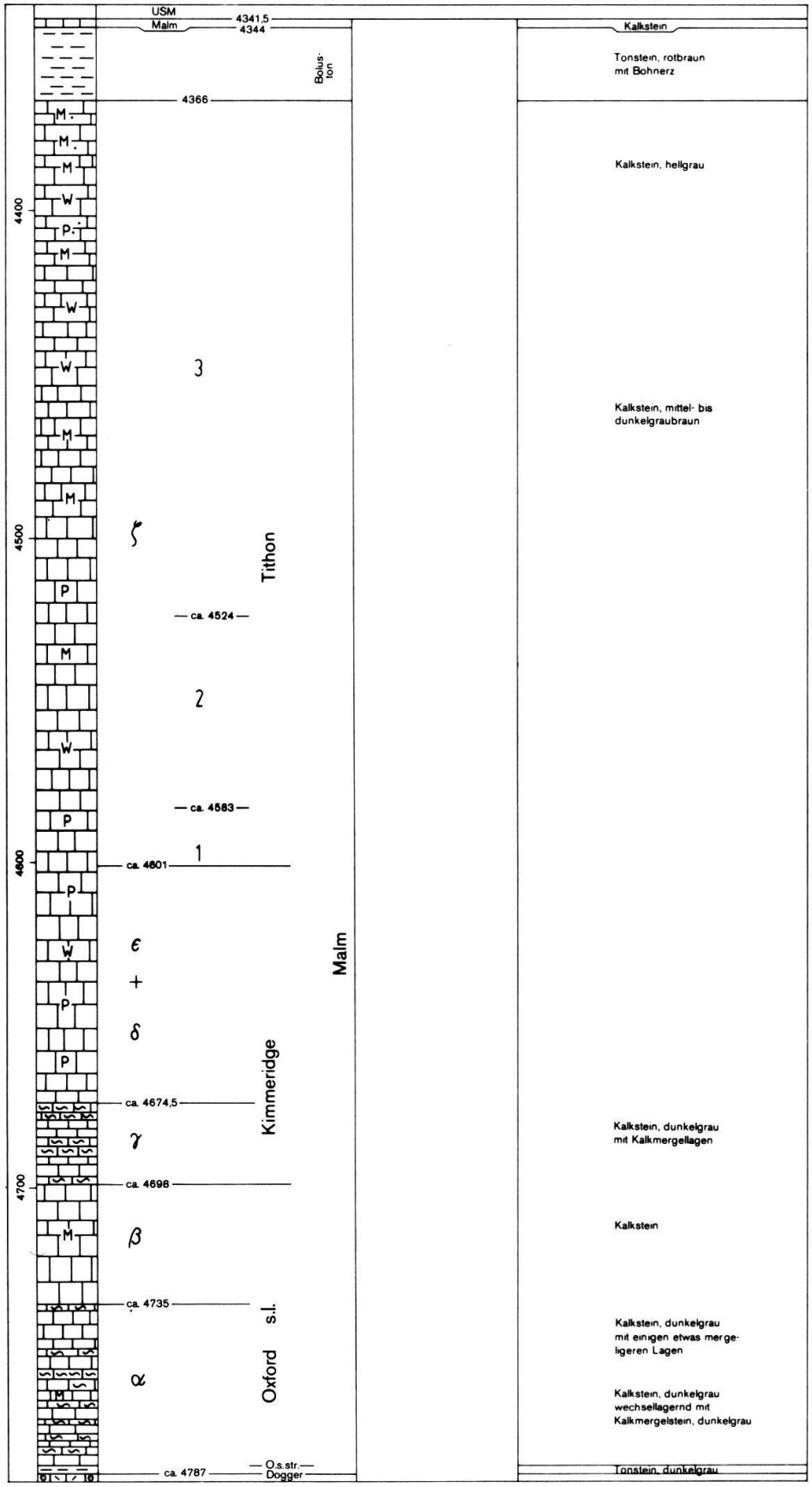


*Fig. 3:* Entlebuch 1 - Lithologie und Stratigraphie des Malm. Signaturen nach Shell-Legende. Lithologie ergänzt nach BRAUCKMANN (BEB)

Bohrmeisterangaben zu ermöglichen. Neben der Austragszeit ist bei Spülproben, gegenläufig zu den genannten Teufendifferenzen, die Tatsache zu berücksichtigen, daß durch Nachfall der scheinbare Einsatz der Horizonte oft stark nach unten verschleppt wird. In Klammern angegebene Werte beziehen sich im folgenden auf Senkrechtteufen.

So natürlich die Beschreibung einer geländegeologischen Aufnahme von unten nach oben erfolgt, ebenso selbstverständlich ist für Bohrprofile eine Diskussion von oben nach unten, wie im folgenden angewendet, gegeben.

Als Kopf des Malm (Fig. 3) wird die zwischen 4341,5 (4223) m und 4344 (4225) m gelegene Kalkbank angesehen. Dieser Lösung wurde der Vorzug gegeben gegenüber der früher vertretenen Auffassung, diese Kalkbank zur Molasse zu rechnen. Der bis 4366 (4246) m beobachtete Boluston wird dementsprechend als Karstschlottenfüllung aufgefaßt, was auch den Vorzug hat gegenüber der Vorstellung einer so mächtigen flächigen Malmabdeckung.

Die Gliederung des Malm kann nur durch Diagrammvergleich von Osten her erfolgen. Dabei ist die Gliederung von Malm gamma bis alpha befriedigend gesichert. Sie ist spekulativ, aber noch annehmbar im Bereich des Malm zeta 2. Die übrigen Horizonte sind danach ausgerichtet.

Das Äquivalent der Malm zeta 2-Mergel wird nach Logverknüpfung mit Berlingen 1 und Lindau 1 von ca. 4583 (4454) m bis ca. 4524 (4397) m vermutet. Die Verknüpfung der Marker-Horizonte im höheren Teil des Malm zeta 3 ist noch schwieriger. Das Malm-Profil dürfte oben etwas tiefer als das von Kreuzlingen 1 gekappt sein, so daß man annehmen möchte, daß etwa 100 m bis zur Basis der Zementsteinschichten noch erosiv entfernt sind.

Schwierig abzugrenzen ist auch die Basis des Malm zeta 1 und damit die Basis des Tithon. Sie wird bei ca. 4601 (4472) m vermutet.

Die Basis des Malm delta liegt bei ca. 4674,5 (4544) m. In Frage gekommen wäre eventuell auch eine um 2 m tiefere Abgrenzung, dies jedoch mit geringerer Wahrscheinlichkeit.

Der Kopf Malm beta und damit die Grenze Oxford im weiteren Sinne/Kimmeridge kann bei 4698 (4567) m mit relativ großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden. Gewisse Bedenken bestehen nur noch insofern, als sie ausschließlich lithologisch bestimmt ist und ein paläontologischer Beweis dafür auf weite Entfernung hin fehlt.

Beim Festlegen der Grenze Malm alpha/beta besteht wieder größere Unsicherheit. Sie wurde hier bei ca. 4735 (4603,5) m an die Stelle gelegt, wo im Hangenden fast ausschließlich Kalke auftreten; eine Verknüpfung nach Osten zu der nach Diagrammen in der deutschen Westmolasse gebrauchten Abgrenzung Malm alpha/beta könnte durchaus fehlerhaft sein; die in Entlebuch 1 in Frage kommende Alternativlösung läge dann bei ca. 4718,5 (4587,5)m.

Von 4785 (4653) m bis 4787 (4655) m wurde nach Diagrammauswertung Tonstein angefahren. Da von der Spülprobe 4826 m neben Callovium- und speziell Obercallovium-Formen auch Dinoflagellaten des Oxford durch WILLE bestimmt wurden und da die im Liegenden folgende Echinodermenspatkalk-Bank faziell stark an die Dalle nacrée der Westschweiz erinnert, kann dieser Tonstein wohl zu Recht als Oxford im engeren Sinne aufgefaßt werden. Damit liegt die Basis des Malm bei ca. 4787 (4655) m.

Den Kopf des Doggers (Fig. 4) bildet eine von 4787 (4655) m bis 4790,5 (4658,5) m reichende eisenoolithische Echinodermenspatkalk-Bank. Diese Bank wird sowohl mit dem Blegi-Oolith des autochthonen Helvetikums als auch mit der Dalle nacrée der Westschweiz korreliert. Darunter folgt bis 4803,5 (4671,5) m ein mittel- bis dunkelgrauer Tonstein. Diesem Tonstein werden die erst ab Spülprobe 4826 (4693,5) m einsetzenden palynologischen Befunde von Callovium als Nachfall-bedingt zugeordnet. Das

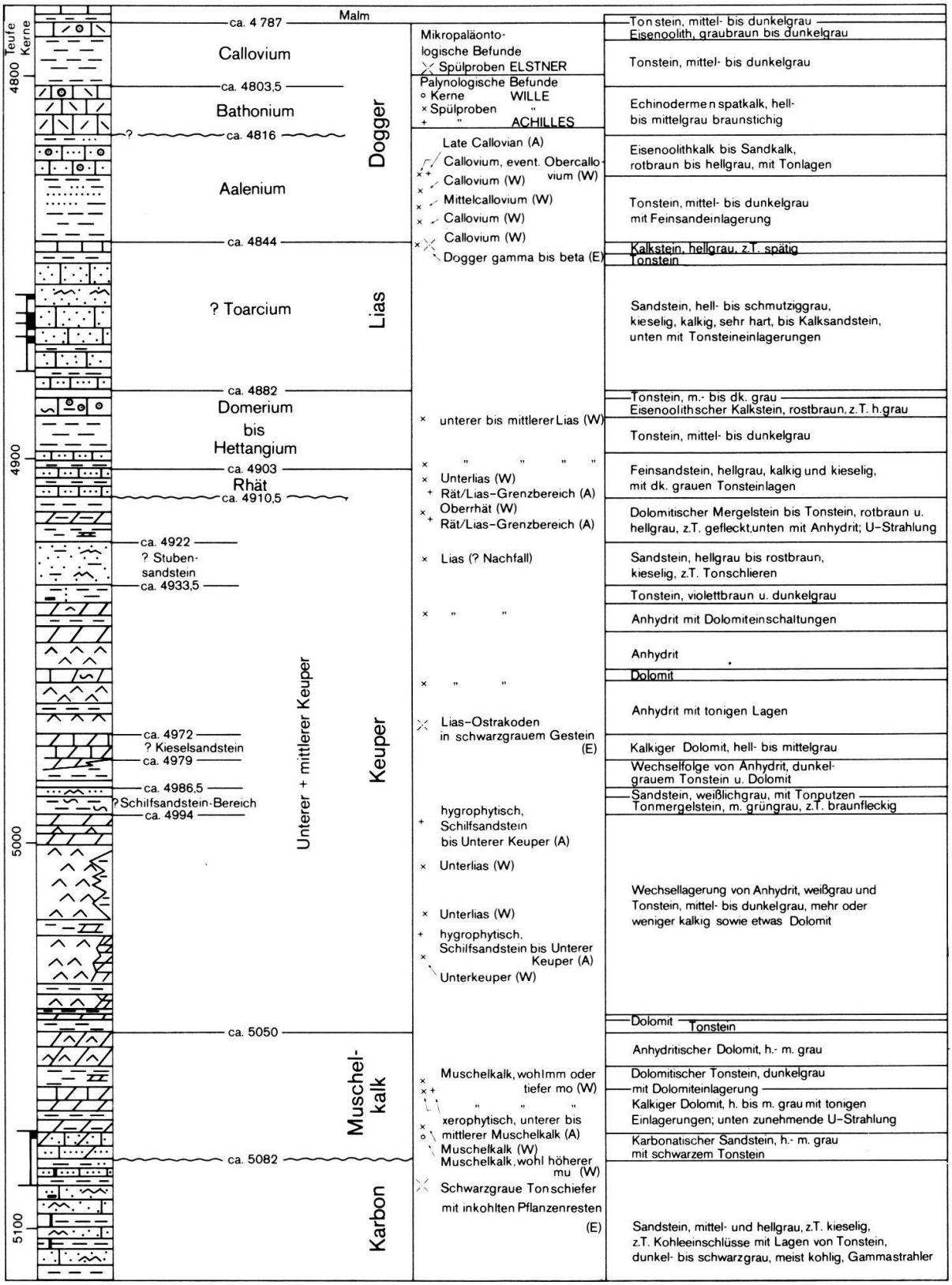


*Fig. 4:* Entlebuch 1 - Lithologie und Stratigraphie des Doggers, des Lias und der Trias. Signaturen nach Shell-Legende

Hauptargument dafür ist der Mikrobefund der Spülprobe 4844 (4711,5)m, der mindestens Teile des bis 4844(4711,5) m reichenden Tonsteins schon als Dogger gamma bis beta ausweist. Außerdem erschien nur so eine Diagrammkonnektierung mit anderen schweizerischen Bohrungen plausibel.

Von 4803,5 (4671,5) m bis 4816 (4684) m wurde ein hell- bis mittelgrauer braunstichiger Echinodermenspatkalk angetroffen. Diagrammvergleiche mit den Bohrungen der Nordschweiz und dieser untereinander legen nahe, diesen Echinodermenspatkalk für Bathonium zu halten und als transgressiv auf den Untergrund übergreifend anzusehen. Für eine solche Interpretation spricht auch, daß das Bathonium auch anderwärts als transgressiver Horizont erkannt wurde (z.B. MÖCKEL 1982). Damit werden die darunter bis ca. 4828 (4695,5) m folgenden Brauneisenooide-führenden Kalksandsteine und Tonlagen zu einer vermutlich dem Oberaalenium (Dogger beta) zuzurechnenden Folge.*) Die bis 4844 (4711,5) m nach unten folgenden Tonsteine werden als Opalinus-

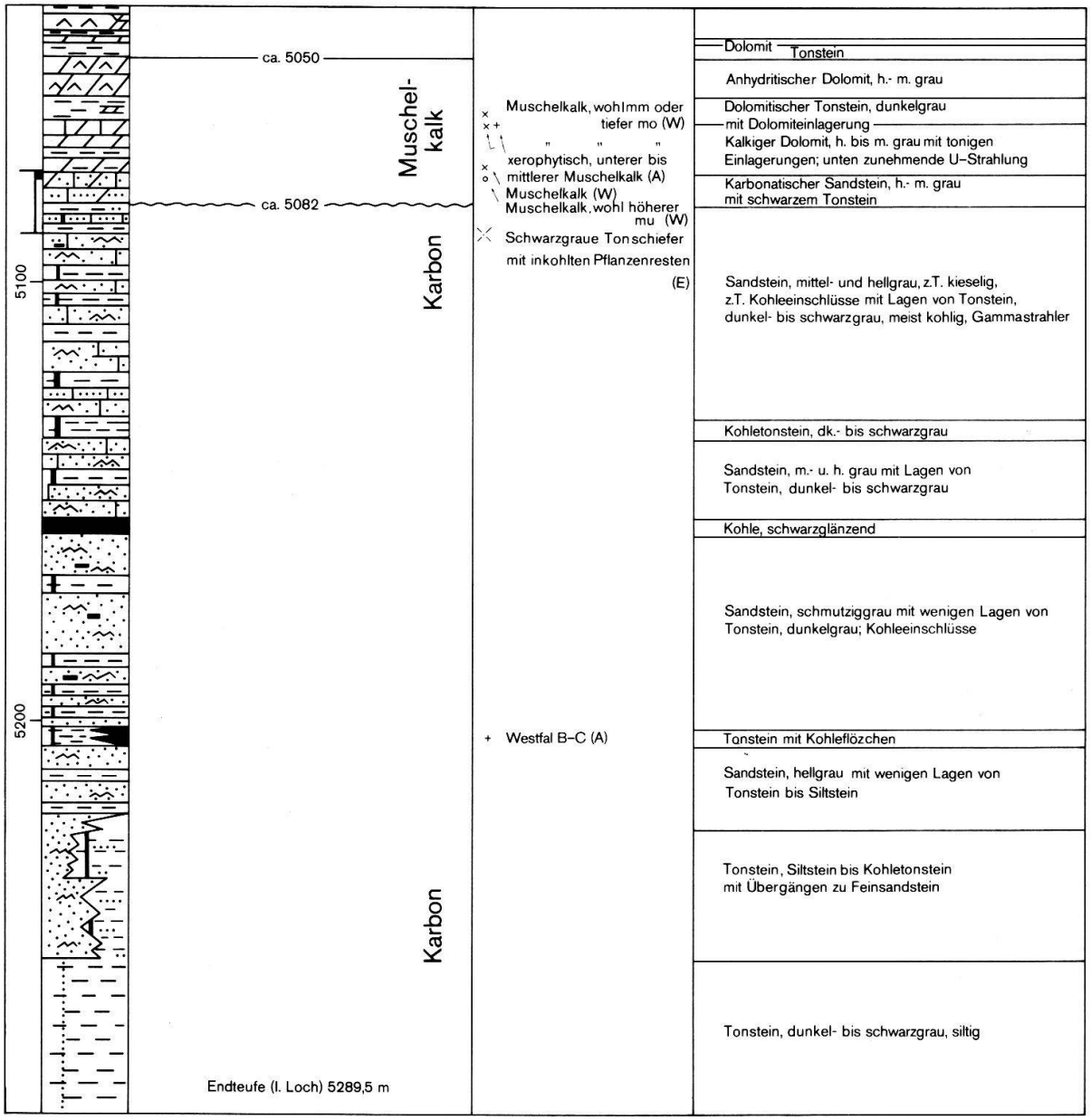


*Fig. 5:* Entlebuch 1 - Lithologie und Stratigraphie des Karbons, Signaturen nach Shell-Legende

*) Allerdings ergab sich während der Drucklegung dieser Arbeit nach neuerlichem Ausschlämmen von Schußkernproben für einen Schußkern der Befund (ELSTNER) «Mittlerer Dogger, wohl Dogger gamma».

ton und Unteraalenium (Dogger alpha) angesehen. Die Möglichkeit einer Diachronie Opalinustons und seines Bajocium- bis Oberaalenium-Alters in Entlebuch ist zwar nicht auszuschließen, wurde jedoch als unnötig komplizierende Annahme verworfen, da die Spülprobe 4844 (4711,5) m mit dem Mikrobefund Dogger gamma bis beta ähnlich wie die an gleicher Stelle und darüber genommenen Spülproben mit den palynologischen Befunden Callovium als nachgefallen anzusehen sein dürfte.

Nach Vergleich mit den Bohrungen der Nordostschweiz wird als Kopf des Lias (Fig. 4) und als Lias zeta eine Kalkbank samt dem darunter bis ca. 4849,5 (4717) m folgenden Tonstein angesehen. Bis ca. 4882 (4749,5) m folgen darunter hell- bis schmutziggraue, kieselige, sehr harte Sandsteine bis Kalksandsteine, die unten auch einige Tonlagen enthalten und als Toarcium bzw. Lias epsilon aufgefaßt werden. Die Einstufung als mittlerer und unterer Lias der folgenden Tonsteine mit Eisenoolith-Kalksandstein und kalkigem Feinsandstein ist palynologisch nachgewiesen.

Als Grenze zum liegenden Rhät wird 4903 (4770) m angenommen. Nur Oberrhät, nicht jedoch Mittelrhät, ist palynologisch nachgewiesen. Die Basis des Rhät liegt bei 4910,5 (4777,5) m. Sie ist über den darunter liegenden bunten Tonsteinen eine gute Zeitmarke.

Für die Gliederung und gegenseitige Abgrenzung von Mittlerem und Unterem Keuper sowie Muschelkalk gibt es zwei fast gleichgewichtig wahrscheinliche Lösungsmöglichkeiten. Wenn hier die in Fig. 4 dargstellte Lösung mit einer Basis des Keupers bei ca. 5050 (4916,5) m gewählt wurde, so gab dafür den Ausschlag, daß die palynologischen Befunde erst ab Spülprobe 4994 (4860,5) m auf eine hygrophytische Pflanzenvergesellschaftung, wie sie im Nordischen Keuper vorkommt, hindeuteten.

Ohne die genannten palynologischen Befunde und nur nach Lithologie hätten wir die Alternativlösung gewählt. Danach wäre der von 4922 (4789) m bis 4933,5 (4800,5) m reichende Sandstein nicht als Stubensandstein, sondern schon als Schilfsandstein aufgefaßt worden. Darauf deutet auch die kräftige Gammastrahlung in der darunter liegenden Tonsteinschicht; eine ähnlich starke Strahlung wurde in der Westschweiz im mittleren Teil des Keupersalinars beobachtet und dort in das Niveau der grès à roseaux (Schilfsandstein) gestellt. Bei dieser Deutung wäre in Entlebuch 1 eine weitgehende Erosion des Vindelicischen Keupers anzunehmen, was nicht unmöglich erscheint. Im Natural-Gamma-Ray-Spectrometry-Log erweist sich die genannte Gammastrahlung von Entlebuch 1 als durch Uran, nicht durch Kalium, bedingt. Kräftige Uranstrahlung wurde in Fronhofen auch unter dem Kieselsandstein beobachtet, scheint aber nicht streng horizontgebunden zu sein. Nach der Alternativlösung der Keupergliederung sind die in Fig. 4 als Kieselsandstein ausgeschiedenen Dolomite von 4972 (4839) m bis 4979 (4846) m bereits Oberer Muschelkalk. Die darunter folgenden jetzt zum Keuper gestellten Evaporite wären dann Mittlerer Muschelkalk.

Auch eine palynologische Nachbearbeitung der Spülproben des Keuper/Muschelkalk-Bereichs brachte keine eindeutige Hilfe zur Klärung der Gliederungsprobleme dieses Bereichs; die Problematik sollte spätestens dann neu überdacht werden, wenn eine neue Bohrung wieder so weit abgeteuft wird und dann eventuell ein glücklich angesetzter Kern dafür zur Verfügung steht.

Der Sandstein an der Basis des Muschelkalks ist am Kopf noch mit dem Kern 5 erfaßt; der palynologische Befund dafür ist Muschelkalk, vermutlich höherer Unterer Muschelkalk. Der Befund fügt somit unserer Kenntnis über das Alter des Melser Sandsteins einen Punkt hinzu.

Die Transgression des Muschelkalks über Karbon liegt bei ca. 5082 (4948,5) m.

*Paläozoikum*

Unterhalb der Muschelkalk-Transgression wurde eine Wechselfolge von hell- bis mittelgrauen Sandsteinen und von dunkel- bis schwarzgrauen, vielfach kohligen Tonsteinen angetroffen. Nach Spülprobenbefund könnte von ca. 5154 (5020) m bis ca. 5157 (5023) m ein Kohleflöz liegen; ebenso dürfte von 5201 (5067) m bis 5206 (5072) m Kohletonstein mit Kohleflözchen wechsellagern. Die Tonsteinlagen zeigen durchweg eine durch Uran bedingte Gammastrahlung, die vermutlich an kohlige Bestandteile gebunden ist. Die Spülprobe 5204 (5070) m enthielt eine Mikroflora des Westfal B - C. Dementsprechend erscheint es unwahrscheinlich, kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden, daß das Paläozoikum von Entlebuch 1 oben noch Perm einschließt. Die Bohrung wurde im Karbon eingestellt.

## Tektonik

Die tektonische Situation der Bohrung Entlebuch 1 ist in Fig. 6 dargestellt. Die Bohrung steht an der Nahtstelle zwischen dem ungefalteten Alpenvorland und den Alpen, - dort - wo die nördlichsten Schuppen der subalpinen Molasse an der Oberfläche ausbeißen. Die Qualität der älteren seismischen Profile dieses Gebietes ist - was den Oberbau betrifft - noch unzureichend. Erst in den späteren Jahren wurde die Slalom-line-Technik eingeführt. Nur ein ca. 9 km SW der Bohrung gelegenes seismisches Profil durch die subalpine Molasse ist 1984 mit höher frequentem Steuersignal aufgenommen worden und ist auch im Oberbau einigermaßen interpretierbar.

Das Ziel aller alten Messungen war ausschließlich der autochthone Untergrund, besonders das Mesozoikum. Das Abtauchen des autochthonen Mesozoikums bis zum Aarmassiv ist in südöstlich der Bohrung gelegenen seismischen Profilen zu sehen. Bei der Vorbereitung der Bohrung wurde in Analogie zu dem am Alpennordrand beobachteten Normalfall die mesozoische autochthone Sedimentplatte als durch Dehnung verformt interpretiert, ungeachtet der intensiven Kompressionstektonik des darüber geschobenen Nordteiles der Alpen. Die Dehnungstektonik

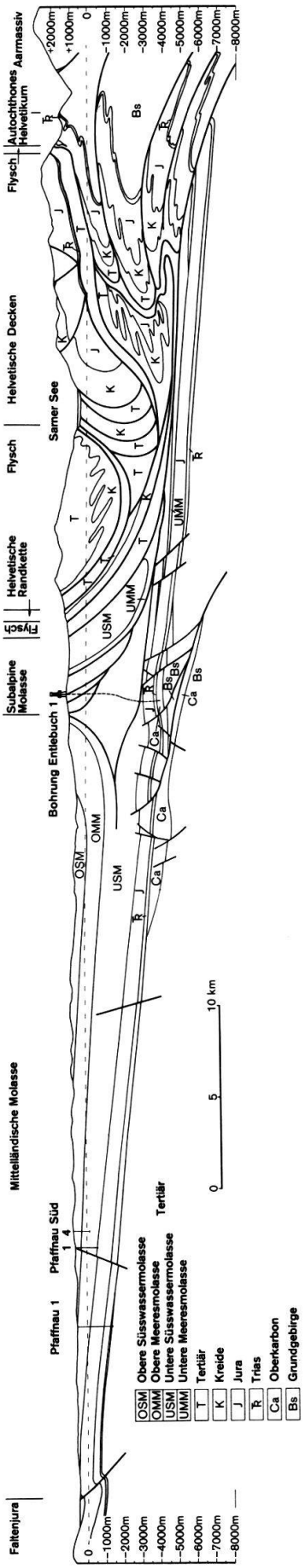


*Fig. 6:* Nord-Süd Schnitt durch die Zentralschweiz vom Rand des Faltenjuras bis zum Nordrand des Aaremassivs

zeigt sich nach dieser Auffassung in antithetischen und synthetischen Normalbrüchen. In dieser Form wurde seinerzeit der Profilschnitt über Entlebuch von BEB als Prospekt im Jahre 1979 veröffentlicht.

Die spätere kritische Überprüfung der einzelnen Störungsdurchgänge in den seismischen Unterlagen zeigte auf, daß der Charakter der einzelnen Störungen als Normalabschiebungen durchaus nicht klar war, daß man vielmehr mindestens einen Teil davon eher als Aufschiebungen ansehen sollte. Diese Tatsache sowie eine Re-Interpretation der Reflexionen des Karbons führten zu einem neuen tektonischen Modell. Danach steigt unmittelbar südlich Entlebuch 1 eine Störungszone aus dem kristallinen Untergrund bis in das Niveau des Karbons herauf und verläuft dort nach Norden, um schließlich bei Entlebuch 1 und nördlich davon als listrische Fläche steil aufzusteigen. Diese Deutung des Profiles wird gegenwärtig von uns bevorzugt. Neben der früheren, als zweites Modell auch noch weiterhin möglichen Deutung des Autochthons als einer dehnungsbeanspruchten Platte ist übrigens wegen der ungenügenden Qualität der hier vorliegenden Seismik noch ein drittes Modell denkbar, eine «flower structure» im Zusammenhang mit einer Blattverschiebung. Mit der Wahl eines anderen tektonischen Modells würde sich auch die Interpretation des Oberkarbontroges hinsichtlich seiner Mächtigkeit und Ausdehnung ändern.

Bezüglich des Oberbaues ist an dem 1979 veröffentlichen Profilschnitt eine weitere Korrektur anzubringen. In Analogie zu anderen Profilen am Alpennordrand ist die Keilzone nicht ungestört und dem Autochthon zuzurechnen, sondern sie ist ein in der Intensität der Beanspruchung zwischen der Augeschobenen Molasse und dem Autochthon vermittelnder Bereich und wird hier als «Parautochthon» bezeichnet, wobei die Intensität von Verformung und Verfrachtung um eine Größenordnung geringer ist als bei dem von alters her als Parautochthon bezeichneten Bereich des Helvetikums vor dem Aarmassiv. In dem schon erwähnten Profil neueren Meßdatums, 9 km westlich der Bohrung, können in einer vergleichbaren tektonischen Situation tatsächlich von oben bis kurz über Top Mesozoikum Aufschiebungen beobachtet werden, welche die Rampen und internen Aufschiebungen der Duplexstrukturen voneinander abgrenzen (MITRA 1986).

An der Oberfläche ist der Schnitt kompiliert für den Molassebereich aus Aufnahmen von MATTER 1964, GASSER 1966, KOPP 1962 und FRÖHLICHER 1933, für den Schlierenflysch nach SCHAUB, H. 1951, für das Helvetikum nach MOLLET 1921, BENTZ 1948, ARBENZ 1911 und MÜLLER 1941. Die nördliche Ummantelung des Aarmassivs entspricht etwa dem Blick von Westen her auf das Jungfrau-Gebiet (COLLET & PAREJAS 1931). Der nördlich davon liegende Helvetikumsdeckenfetzen ist den Profilen nachempfunden, die BRÜCKNER 1943 aus dem Bereich des Klausenpasses angibt. Bemerkenswert erscheint noch, daß ARBENZ 1911 vom rückwärtigen Teil der Wildhorndecke Normalbrüche, die Dehnungstektonik anzeigen, und vom Stirnbereich die zu erwartende Kompressionstektonik angibt.

## *Literaturverzeichnis*


ARBENZ, (1911): Geologische Karte des Gebirges zwischen Engelberg und Meiringen, 1:50.000, Spezialkarte Nr. 55

BALLY, A.W., GORDY, P.L. & STEWART, G.A. (1966): Structure, Seismic Data, and Orgenic Evolution of Southern Canadian Rocky Mountains. Bull. Canad. Petrol. Geol., 14, 3, 337-381, 13 Taf., 1 Tab., 14 Abb.

BEB (1979): Auf der Suche nach Erdgas und Erdöl in der Schweiz. Prospekt von BEB, Riethorst 12, D 3000 Hannover 51

BENTZ, F. (1948): Geologie des Sarnersee-Gebietes (Kt. Obwalden). Eclogae geol. Helv. 41, 1

BETZ, D. & WENDT, A. (1983): Neuere Ergebnisse der Aufschluss- und Gewinnungstätigkeit auf Erdöl und Erdgas in Süddeutschland. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., 49, Nr. 117, 9-36, 25 Abb., 1 Tab.

BRÜCKNER, W. (1943): Tektonik des oberen Schächentals (Kanton Uri); Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 80, 42 S., 3 Taf., 1 Abb., Bern.

BÜCHI, U.P., LEMCKE, K., WIENER, G., ZIMDARS, J. (1965): Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. und Ing., 32/82, 7-38, Basel.

COLLET, L. W. & PAREJAS, E. (1931): Géologie de la Chaîne de la Jungfrau. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 63, 64 S., 10 Taf., 26 Abb., Bern.

FRÖHLICHER, H. (1933): Geologische Beschreibung der Gegend von Eschholzmatt im Entlebuch (Kanton Luzern). Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 67, 63 S., 2 Taf., 8 Abb., Bern.

GASSER, U. (1966): Sedimentologische Untersuchungen in der äußeren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs (Kt. Luzern). Eclogae geol. Helv. 59/2, 723-772, 1 Taf., 9 Abb., 3 Tab.

KOPP, J. (1962): Erläuterungen zu Blatt Luzern des Geologischen Atlasses der Schweiz 1:25.000, 66 S., 1 Taf., 1 geol. Karte, Bern.

LEMCKE, K. (1973): Zur nachpermischen Geschichte des nördlichen Alpenvorlandes. Geol. Bavarica, 69, 5-48, 11 Abb., 2 Beil., München.

MATTER, A. (1964): Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet (Entlebuch - Tal der Großen Fontanne, Kt. Luzern). Eclogae geol. Helv., 57/2, 315-428, 1 Taf., 15 Abb., 14 Tab.

MITRA, SH. (1986): Duplex Structures and Imbricate Thrust Systems: Geometry, Structural Position, and Hydrocarbon Potential. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 70/9, 1087-1112, 27 Abb.

MÖCKEL, C. (1982): Dogger Epsilon-Transgression im Niedersächsischen Becken. Diss. TU Clausthal.

MOLLET, H. (1921): Geologie der Schafmatt-Schimberg-Kette und ihrer Umgebung (Kt. Luzern). Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 47, 9 + 66 S., 1 Taf., 14 Abb., Spez.-Karte Nr. 91, Profiltaf. Nr. 91 a.

MÜLLER, F. (1938): Geologie der Engelhörner, der Aareschlucht und der Kalkkeile bei Innertkirchen (Berner Oberland). Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 74, 10 + 55 S., 8 Taf., 11 Abb.

MÜLLER, F. (1941): Die Tektonik der autochthonen und parautochthonen Schuppenregion östlich des Aaretales, besonders im Gental. Eclogae geol. Helv., 34/1.

ROHR, K. (1926): Stratigraphische und tektonische Untersuchung der Zwischenbildungen am Nordrande des Aarmassivs (zwischen Wendenjoch und Wetterhorn). Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 57, 7 + 62 S., 5 Taf., 7 Abb.

SCABELL, W. (1926): Beiträge zur Geologie der Wetterhorn-Schreckhorn-Gruppe (Berner Oberland). Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 57/3, 8 + 62 S., 21 Abb.

SCHAUB, H. (1951): Stratigraphie und Paläontologie des Schlierenflysches mit besonderer Berücksichtigung der paleocaenen und untereocaenen Nummuliten und Assilinen. Schweiz. Palaeontol. Abh., 68, 230 S., 9 Taf., 336 Abb., 1 Tab.

SCHIDER, R. (1913): Geologie der Schrattenfluh im Kanton Luzern. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 43, 6 + 30 S., 23 Abb., 1 geol. Karte, 1 Profiltaf.

SCHLANKE, S., HAUBER, L. & BÜCHI, U.P. (1978): Lithostratigraphie und Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Tschugg 1 und Ruppoldsried 1 (Berner Seeland). Eclogae geol. Helv., 71/2, 409-425, 4 Abb., 2 Tab., Basel.

SCHOOP, R. (1981): Entlebuch 1, eine vielversprechende Alpenrandbohrung. Swisspetrol Geschäftsber. 1980, 5-8, 1 Abb., Zürich.