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

Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure

Band: 49 (1983)

Heft: 116

Artikel: Der Tiefenverlauf der seismischen Geschwindigkeiten in den Molassesedimenten des schweizerischen Mittellandes

Autor: Büchi, U.P. / Bodmer, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-207413

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. 49, Nr. 116, April 1983, S. 3 – 13

Der Tiefenverlauf der seismischen Geschwindigkeiten in den Molassesedimenten des schweizerischen Mittellandes

von U. P. BÜCHI[1] und Ph. BODMER[2]

Zusammenfassung

Eine Interpretation der Zunahme der seismischen Geschwindigkeit mit der Tiefe in 10 Tiefbohrungen im Molassebecken aufgrund von Resultaten aus Geophonversenkmessungen hat gezeigt, dass in den obersten 600 m durchwegs zwei scharfe Diskontinuitäten beobachtet werden können. Zwischen und ausserhalb dieser Bereiche steigt die seismische Geschwindigkeit in erster Näherung linear an. Die obere Diskontinuitätszone (zwischen Zone 1 und 2) zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen West- und Ostschweiz, sonst lassen die stark unterschiedlichen absoluten Geschwindigkeiten keine Korrelation mit der Geologie oder der geographischen Lage der Bohrungen erkennen.

Der beobachtete Tiefenverlauf der seismischen Geschwindigkeiten wurde als Folge von Dekompaktionen in Kombination mit bedeutenden Schwankungen des Grundwasserspiegels, bedingt durch starke Hebungen und Vereisungen, gedeutet.

Die geologischen und morphologischen Tatsachen vermögen in verschiedenen Fällen den Tiefgang der Geschwindigkeitszonen 1 und 2 zu beeinflussen, wobei sich gewisse Trends abzeichnen.

Auf ein ähnliches Tiefenverhalten anderer Parameter wie Porosität, Permeabilität, Dichte, Wärmeleitfähigkeit etc. wurde hingewiesen.

Figuren und Tabelle

Lageplan der Bohrungen (siehe Nr. 7, 8, 9, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 23)		Figur 1	Seite 5
Geschwindigkeitskurven in den obersten 675 m der Explorationsbohrung	Kreuzlingen	Figur 2	Seite 9
	Berlingen	Figur 3	Seite 9
	Lindau	Figur 4	Seite 10
	Küsnacht	Figur 5	Seite 10
	Hünenberg	Figur 6	Seite 11
	Boswil	Figur 7	Seite 11
	Pfaffnau	Figur 8	Seite 12
	Pfaffnau Süd-1	Figur 9	Seite 12
	Chapelle sur Moudon	Figur 10	Seite 13
	Savigny	Figur 11	Seite 13
Zonengrenzen	Tab. 1		Seite 7

[1] Dr. U. P. BÜCHI, Bodenacherstrasse 79, 8121 Benglen
[2] Dr. Ph. BODMER, Forchstrasse 191, 8704 Herrliberg

Einleitung

Im Rahmen der geophysikalischen Vermessung der schweizerischen Erdölbohrungen (Periode 1958–1965) wurden Geophonversenkmessungen durchgeführt, deren Resultate aus den obersten 600 m in dieser Arbeit dargestellt und interpretiert werden.

Wie aus *Figur 1* hervorgeht, verteilen sich die betrachteten Bohrungen relativ gleichmässig über das Mittelland hinweg. Die durchgeführten Geophonversenkmessungen liefern einen Durchschnittswert der seismischen Geschwindigkeit des Untergrundes zwischen dem Sprengpunkt an der Erdoberfläche und den im Bohrloch angebrachten Geophonen. Die Berechnung der wahren Geschwindigkeiten aus den Scheingeschwindigkeiten bedarf in Analogie zu seismischen Oberflächenmessungen einer modellbezogenen Interpretation.

Die geologischen Fakten sind den Publikationen U. P. BÜCHI et al. (1965 a und b) und K. LEMCKE et al. (1968) entnommen.

Resultate

Die Geschwindigkeitsprofile für die einzelnen Bohrungen sind in den *Figuren 2–11* dargestellt; die Werte sind bereits korrigiert und stellen wahre Geschwindigkeiten dar. Anlass zu der vorliegenden Publikation ergab die Beobachtung, dass alle Profile, unabhängig von Unterschieden in Lithologie, Stratigraphie und geographischer Lage, grosse Ähnlichkeiten aufweisen. Entgegen der Erwartung, dass die seismische Geschwindigkeit infolge steigenden Druckes und Kompaktionsgrades mit der Tiefe stetig zunimmt, können in allen Bohrungen Zonen mit nahezu konstantem Geschwindigkeitsgradient festgestellt werden, getrennt durch Diskontinuitätszonen in scharf abgegrenzten Bereichen (starke Krümmung der Kurven). In erster Annäherung können die Tiefenverläufe der Geschwindigkeiten in drei scharf abgrenzbare Zonen (s. *Fig. 2–11 und Tabelle 1*) eingeteilt werden:

Zone I: (Verwitterungszone)

In den obersten 20–30 m steigt die seismische Geschwindigkeit stark und geradlinig an. Der Geschwindigkeitsgradient ist bei den einzelnen Bohrungen sehr unterschiedlich, bewirkt jedoch in den meisten Fällen einen Geschwindigkeitsanstieg von rund 500 auf 1500 m/sec.

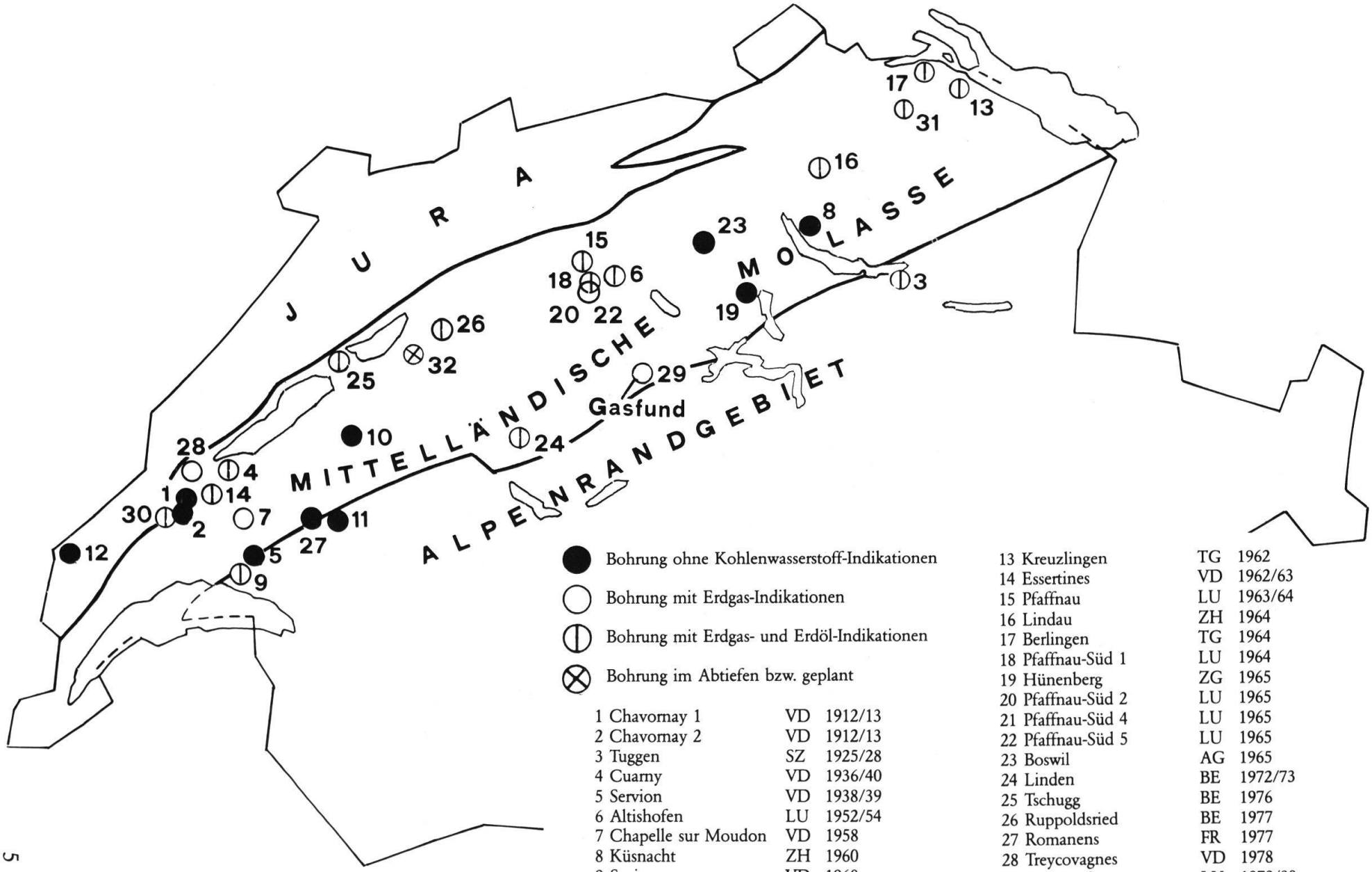
Zone II: (Intermediäre Zone)

Der Übergang von Zone I zu Zone II ist gekennzeichnet durch einen scharfen Knick im Geschwindigkeitsprofil. Zudem beobachtet man in diesem Grenzbereich einen deutlichen Unterschied zwischen Bohrungen der Ostschweiz (Kreuzlingen, Berlingen, Lindau, Küsnacht, Hünenberg, Boswil, *Figuren 2–7*) und denjenigen der Zentral- und Westschweiz (Pfaffnau, Pfaffnau Süd-1, Chapelle-sur-Moudon, Savigny, *Figuren 8-11*). Im Osten des Molassebeckens ist der Kurvenverlauf beidseits der Knickpunkte in ca. 30 m Tiefe praktisch geradlinig, während im Westen der Gradient von Zone II kaum kleiner ist als in der Verwitterungsschicht; die Kurve ist jedoch nach unten verschoben (S-förmige Kurve in der Übergangszone.

Zone III: (Tiefenbereich)

Die dritte Zone ist wiederum durch einen scharfen Knick von der mittleren getrennt. Die Kurve verläuft nahezu geradlinig und weist gegenüber den oberen Zonen einen geringen Geschwindigkeitsgradienten auf.

Die schweizerischen Aufschlussbohrungen 1912–1982



● Bohrung ohne Kohlenwasserstoff-Indikationen

○ Bohrung mit Erdgas-Indikationen

◐ Bohrung mit Erdgas- und Erdöl-Indikationen

⊗ Bohrung im Abtiefen bzw. geplant

1	Chavornay 1	VD	1912/13
2	Chavornay 2	VD	1912/13
3	Tuggen	SZ	1925/28
4	Cuarny	VD	1936/40
5	Servion	VD	1938/39
6	Altishofen	LU	1952/54
7	Chapelle sur Moudon	VD	1958
8	Küsnacht	ZH	1960
9	Savigny	VD	1960
10	Courtion	FR	1960
11	Sorens	FR	1960/61
12	Mont Risoux	VD	1961
13	Kreuzlingen	TG	1962
14	Essertines	VD	1962/63
15	Pfaffnau	LU	1963/64
16	Lindau	ZH	1964
17	Berlingen	TG	1964
18	Pfaffnau-Süd 1	LU	1964
19	Hünenberg	ZG	1965
20	Pfaffnau-Süd 2	LU	1965
21	Pfaffnau-Süd 4	LU	1965
22	Pfaffnau-Süd 5	LU	1965
23	Boswil	AG	1965
24	Linden	BE	1972/73
25	Tschugg	BE	1976
26	Ruppoldsried	BE	1977
27	Romanens	FR	1977
28	Treycovagnes	VD	1978
29	Entlebuch	LU	1979/80
30	Eclépens	VD	1981
31	Herdern	TG	1981/82
32	Hermrigen	BE	Juli 1982

Fig. 1 Lageplan der Bohrungen (7, 8, 9, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 23)

Für die dargestellten Resultate aus den schweizerischen Erdölbohrungen wurde eine Auswertung der seismischen Geschwindigkeiten vorgenommen, deren Ergebnisse in den *Figuren 2–11* dargestellt sind.

Kleinräumige, beispielsweise lithologisch bedingte Abweichungen der interpretierten Daten wurden bewusst vernachlässigt und die Kurve geglättet, um damit die Effekte von Verwitterung und Dekompaktion zu erhalten.

Generell zeigen die Auswertungen, dass die Absolutwerte bezüglich Tiefe, seismischer Geschwindigkeit und Gradienten für alle Bohrungen individuelle Werte aufweisen, die Kurvenverläufe sind jedoch von grosser Ähnlichkeit. In der Ostschweiz finden an beiden Übergangszonen (Knickpunkte) sprunghafte Änderungen des Geschwindigkeitsgradienten statt, in der Westschweiz nur im Übergang zwischen Zone II und III. Im S-förmigen Kurventeil verbleibt die seismische Geschwindigkeit innerhalb einem Tiefenintervall von rund 20 m praktisch konstant, um hernach im Vergleich mit der Ostschweiz viel stärker anzusteigen.

Geologische und morphologische Beeinflussungskriterien

Die lokalen geologischen und morphologischen Verhältnisse beeinflussen teilweise den Tiefgang der Geschwindigkeitszonen. Obwohl nur relativ wenige Bohrungen zur Auswertung gelangten und die geologischen und morphologischen Beeinflussungsfaktoren recht komplex sind, können doch einige wesentliche Trends festgestellt werden.

Die Grenze zwischen Zone 1 und 2 ist bei grösserer Quartärmächtigkeit identisch mit der Molassefelsoberfläche, wie in den Bohrungen Savigny, Chapelle-sur-Moudon und Küsnacht. In den anderen Bohrungen verläuft die Zonengrenze innerhalb der Molasse.

Der Tiefgang der Zone 1 weist einen zunehmenden Trend vom Südrand ($<$ 20 m) zum Nordrand ($\geq$ 30 m) des Molassebeckens auf, entsprechend der Abnahme der diagenetischen Verfestigung der Molassesedimente generell bzw. der Zunahme der Porositäten in den Sandsteinen.

Die Tiefenlage der Grenze zwischen Zone 2 und 3 scheint durch nachstehende Faktoren beeinflusst zu werden:

- Abnahme der diagenetischen Verfestigung von Süd nach Nord; z. B. untiefe Lage der Grenze in Savigny und Hünenberg, tiefe Lage in der Nähe des Nordrandes des Beckens in Pfaffnau und Pfaffnau Süd. Dieser Faktor scheint dominanter zu sein als die generelle Geschwindigkeitsabnahme im stratigraphischen Profil von unten nach oben (siehe hierzu J. LOHR, 1967).
- Die Lage der Bohrung in bezug auf die morphologischen Verhältnisse kann bis zu einem gewissen Mass ebenfalls den Tiefgang der Zone 2 beeinflussen. In Bohrungen wie z. B. Pfaffnau-Süd, Boswil und Küsnacht, die nahe am Steilabfall eines Höhenplateaus liegen, kann die Tiefenlage der Grenze zwischen Zone 2 und 3 200 m erreichen.

Interpretation

Die naheliegendste Erklärung für die starken Variationen der seismischen Geschwindigkeit in den obersten 100–200 m der vermessenen Bohrungen ist auf die Dekompaktion des Gesteinsgefüges zurückzuführen. Die Stärke dieses Oberflächeneffektes erlaubt die Annahme, dass diese Dekompaktion auf das Öffnen von Klüften (Sekundärporosität) und höchstens untergeordnet auf eine Vergrösserung der Primärporosität zurückzuführen ist.

Als Hauptursache für die Druckentlastung, welche zur Öffnung von Klüften geführt haben mag, lässt sich grundsätzlich die Erosion vor und während der letzten Eiszeit lokal in

Kombination mit der Druckentlastung nach Rückzug der würmeiszeitlichen Gletscher betrachten. Allerdings erklärt dieser Effekt nicht immer die Beobachtung von scharfen Diskontinuitätszonen. Als plausibelste Ursache werden zusätzlich episodische Absenkungen des Grundwasserspiegels infolge starker Hebungsraten mitgespielt haben. Die Veränderung des Porendruckes führte zu einem Differenzdruck zwischen Formation bzw. eingeschlossenen Poren und den offenen Poren und Klüften, was eine Lockerung des Gesteinsgefüges vor allem im Bereich von Schwächezonen zur Folge hatte.

Schlussfolgerungen

Der Oberflächeneffekt auf die seismische Geschwindigkeit hat wichtige Konsequenzen auf die seismische Exploration im Molassebecken vor allem im oberflächennahen Bereich.

Die Bestimmung der seismischen Geschwindigkeit an der Erdoberfläche (Seichtbohrungen, oberflächennahe Profile oder anhand von Oberflächenproben im Labor) ist für grössere Tiefenbereiche nicht repräsentativ.

Die grossen Unterschiede der Tiefenabhängigkeit der seismischen Geschwindigkeiten in den verschiedenen Bohrungen (absolute Werte) zeigen, dass die Oberflächeneffekte örtlich sehr variabel sind, und dass deshalb aufgrund des heutigen Kenntnisstandes keine allgemeingültige Korrekturformel zur Extrapolation von Oberflächenwerten in grössere Tiefen hinunter vorgeschlagen werden kann.

Aufgrund der starken Abhängigkeit der seismischen Geschwindigkeit von anderen geologischen und physikalischen Parametern wie Porosität, Permeabilität, Gesteinsdichte, Wärmeleitfähigkeit etc. muss angenommen werden, dass auch bei diesen Grössen ähnliche Tiefenabhängigkeiten bestehen.

In verschiedenen Bohrungen wurde unterhalb von 400 m ein konstanter Temperaturgradient festgestellt, weshalb ab dieser Tiefe im Mittelland schwerwiegende hydrologische Effekte auszuschliessen sind (L. RYBACH und Ph. BODMER, 1980, L. RYBACH et al. 1980).

Der nicht konstante Temperaturverlauf oberhalb 400 m wird auf verschiedene Ursachen wie z. B. Oberflächeneinflüsse, hydrologische Störungen wie konvektiver Wärmetransport durch Wärmezirkulation und Tiefenabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit zurückgeführt (Ph. BODMER 1982).

Für den konvektiven Wärmetransport dürfte vor allem der bis 200 m mächtigen Dekompaktionszone grosse Bedeutung zukommen.

Zonengrenzen *Tabelle 1*

Figur	Bohrung	Zone I m	Zone II m	Zone III m
2	Kreuzlingen	0 – 25	25 – 125	unter 125
3	Berlingen	0 – 25	25 – 75	unter 75
4	Lindau	0 – 30	30 – 150	unter 150
5	Küsnacht	0 – 45	45 – 200	unter 200
6	Hünenberg	0 – 12.5	12.5 – 100	unter 100
7	Boswil	0 – 25	25 – 175	unter 175
8	Pfaffnau	0 – 30	30 – 150	unter 150
9	Pfaffnau Süd-1	0 – 40	40 – 200	unter 200
10	Chapelle-sur-Moudon	0 – 12.5	12.5 – 100	unter 100
11	Savigny	0 – 16	16 – 100	unter 100

Zum Schluss ist es uns eine angenehme Pflicht, der Swisspetrol und ihren Beteiligungsgesellschaften SAdH, LEAG, SEAG und ihrem ausländischen Partner BEB den Dank für die zur Verfügung gestellten Unterlagen und die Bewilligung der Veröffentlichung von Resultaten der Erdölforschung auszusprechen.

Literaturverzeichnis

BODMER, Ph. (1982): Beiträge zur Geothermie der Schweiz. — Diss. ETH-Zürich

BÜCHI, U. P., HOFMANN, F., WIENER, G. (1965 a): Neue Erkenntnisse im Molassebecken aufgrund von Erdöltiefbohrungen in der Zentralschweiz und in der Ostschweiz. — Eclogae geol. Helv. Vol. 58/1.

BÜCHI, U. P., LEMCKE, K., WIENER, G., ZIMDARS, J. (1965 b): Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. — Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 32, Nr. 82, p. 7–38.

LEMCKE, K., BÜCHI, U. P., WIENER, G. (1968): Einige Ergebnisse der Erdölexploration auf die mittelländische Molasse der Zentralschweiz. — Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 35, Nr. 87, p.15–34.

LOHR, J. (1967): Die seismischen Geschwindigkeiten in der Ostschweiz. — Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 34, Nr. 85, p. 29–38.

RYBACH, L., BÜCHI, U. P., BODMER, Ph., KRÜSI, H. R. (1980): Die Tiefengrundwässer des schweizerischen Mittellandes aus geothermischer Sicht. — Eclogae geol. Helv. Vol. 73/1.

RYBACH, L., BODMER, Ph. (1980): Die geothermischen Verhältnisse der Schweizer Geotraverse im Abschnitt Basel - Luzern. — Eclogae geol. Helv. Vol. 73/2.

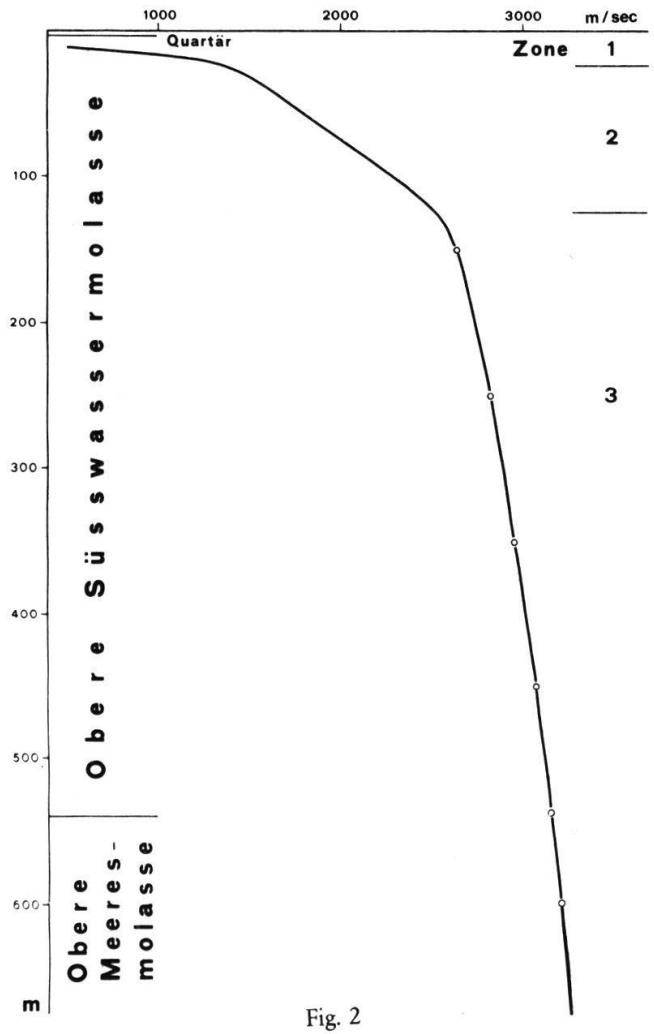

Kreuzlingen / TG
1000
2000
3000
m/sec
Quartär
Zone
1
2
3
100
200
300
400
500
600
m
Obere Süsswassermolasse
Obere Meeres-molasse

Fig. 2

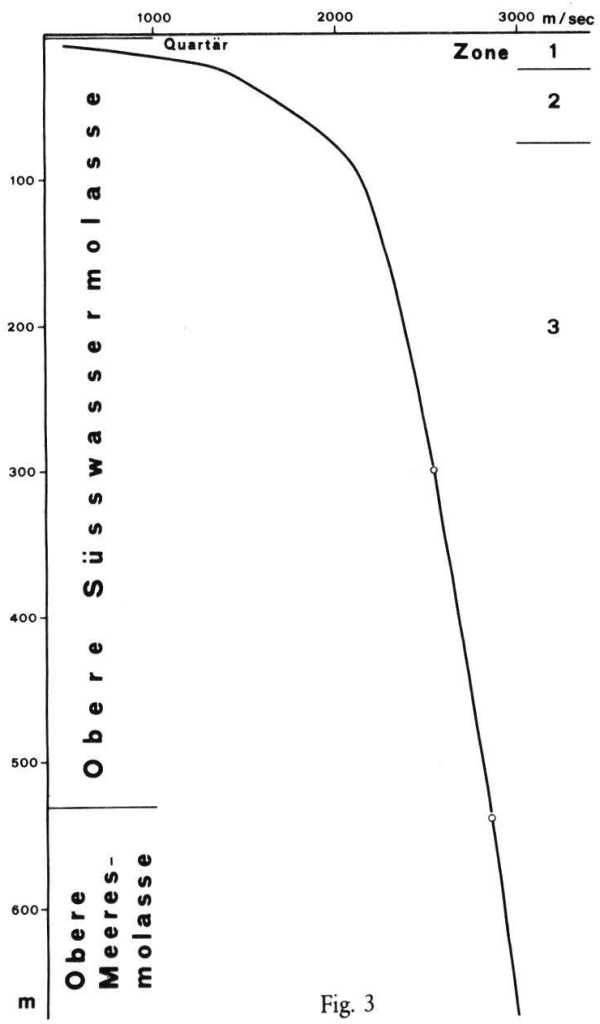

Berlingen / TG
1000
2000
3000
m/sec
Quartär
Zone
1
2
3
100
200
300
400
500
600
m
Obere Süsswassermolasse
Obere Meeres-molasse

Fig. 3

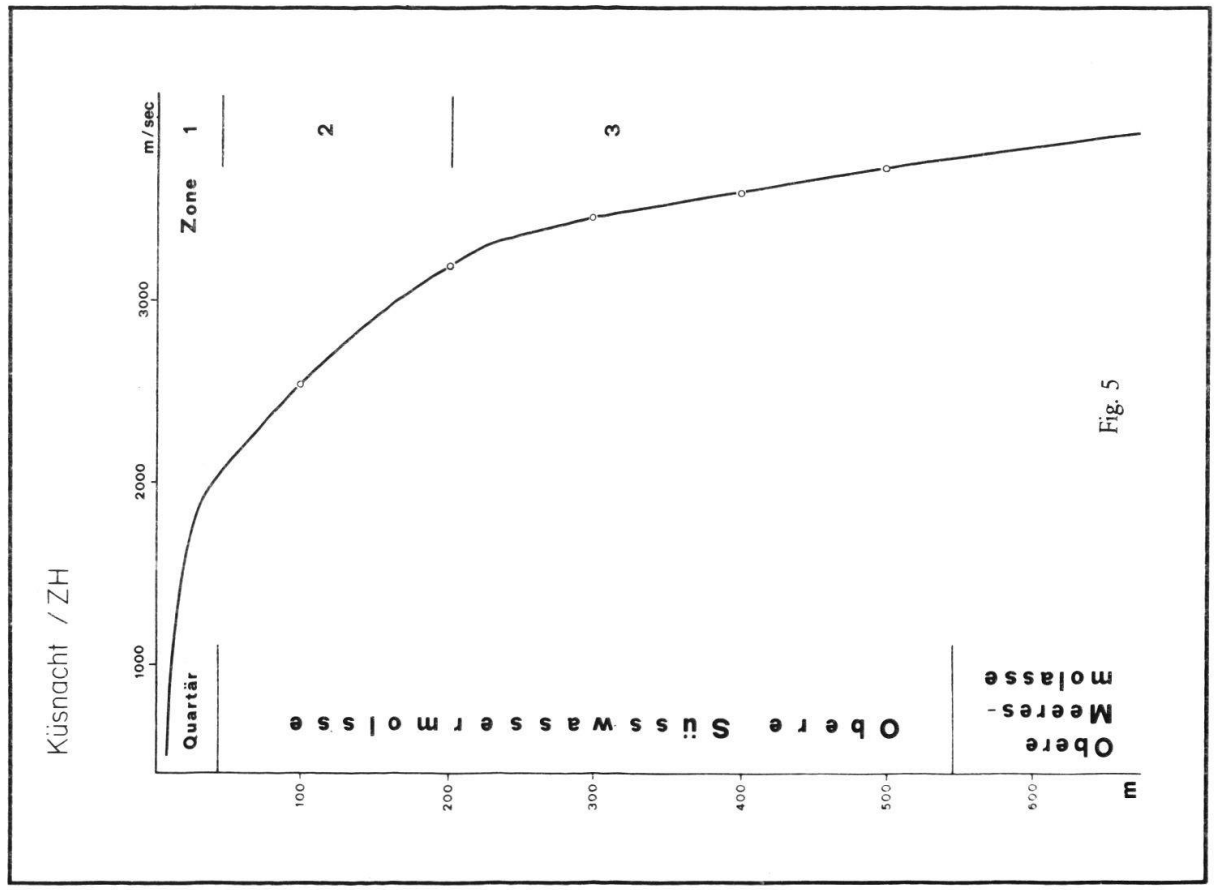

Küsnacht / ZH
m/sec
1000
2000
3000
Zone 1
2
3
Quartär
Obere Süsswassermolasse
Obere Meeres-molasse
100
200
300
400
500
600
m

Fig. 5

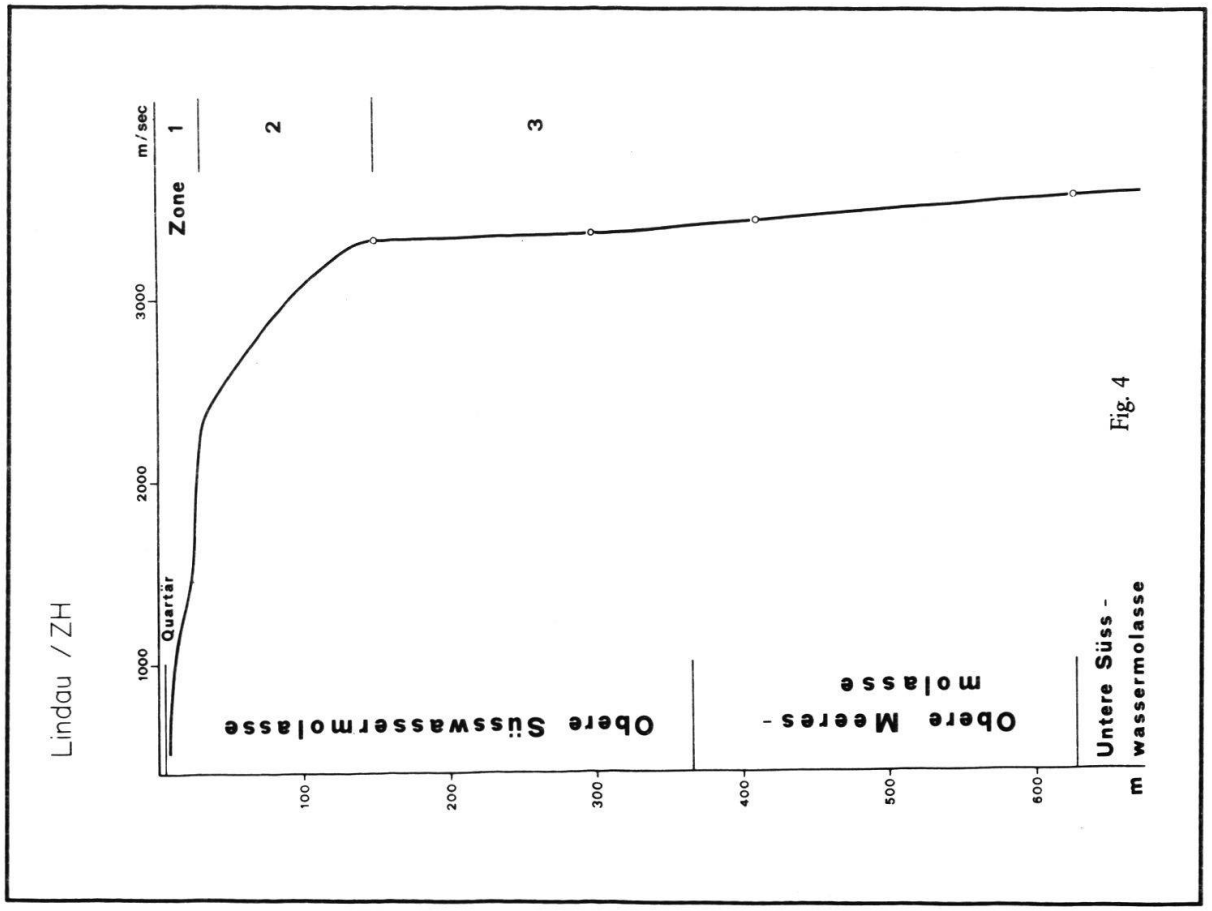

Lindau / ZH
m/sec
1000
2000
3000
Zone 1
2
3
Quartär
Obere Süsswassermolasse
Obere Meeres-molasse
Untere Süss-wassermolasse
100
200
300
400
500
600
m

Fig. 4

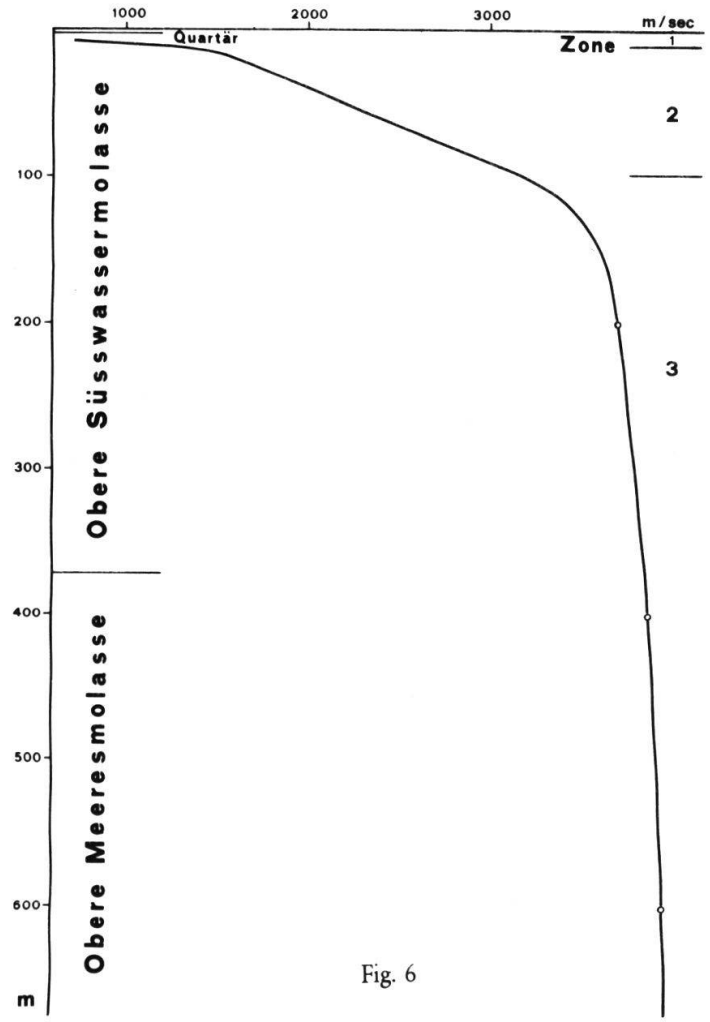

Hünenberg / LU
1000
2000
3000
m/sec
Quartär
Zone
1
2
3
Obere Süsswassermolasse
Obere Meeresmolasse
100
200
300
400
500
600
m

Fig. 6

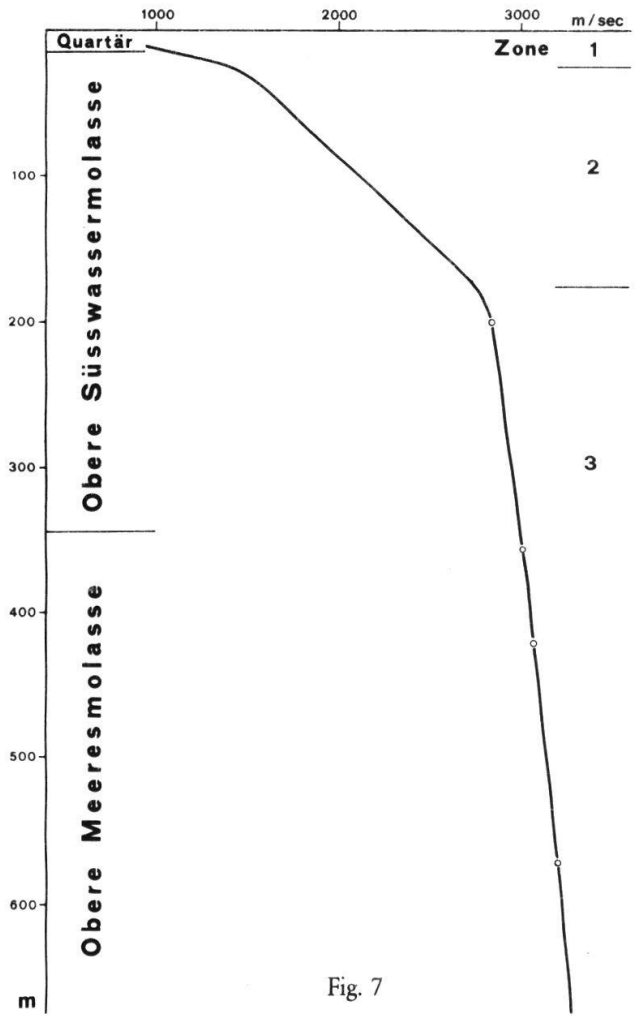

Boswil / AG
1000
2000
3000
m/sec
Quartär
Zone
1
2
3
Obere Süsswassermolasse
Obere Meeresmolasse
100
200
300
400
500
600
m

Fig. 7

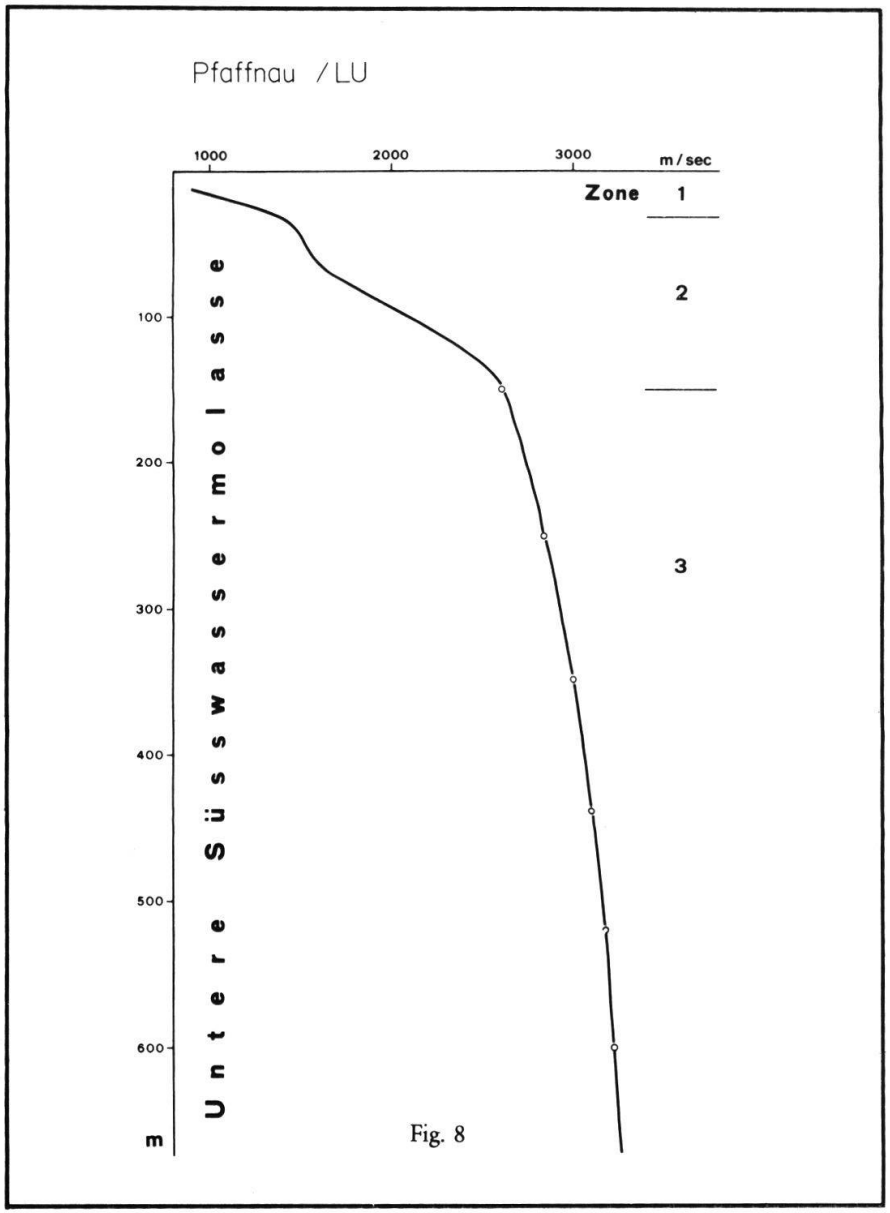

Pfaffnau /LU
1000
2000
3000
m/sec
Zone
1
2
3
100
200
300
400
500
600
m
Untere Süsswassermolasse

Fig. 8

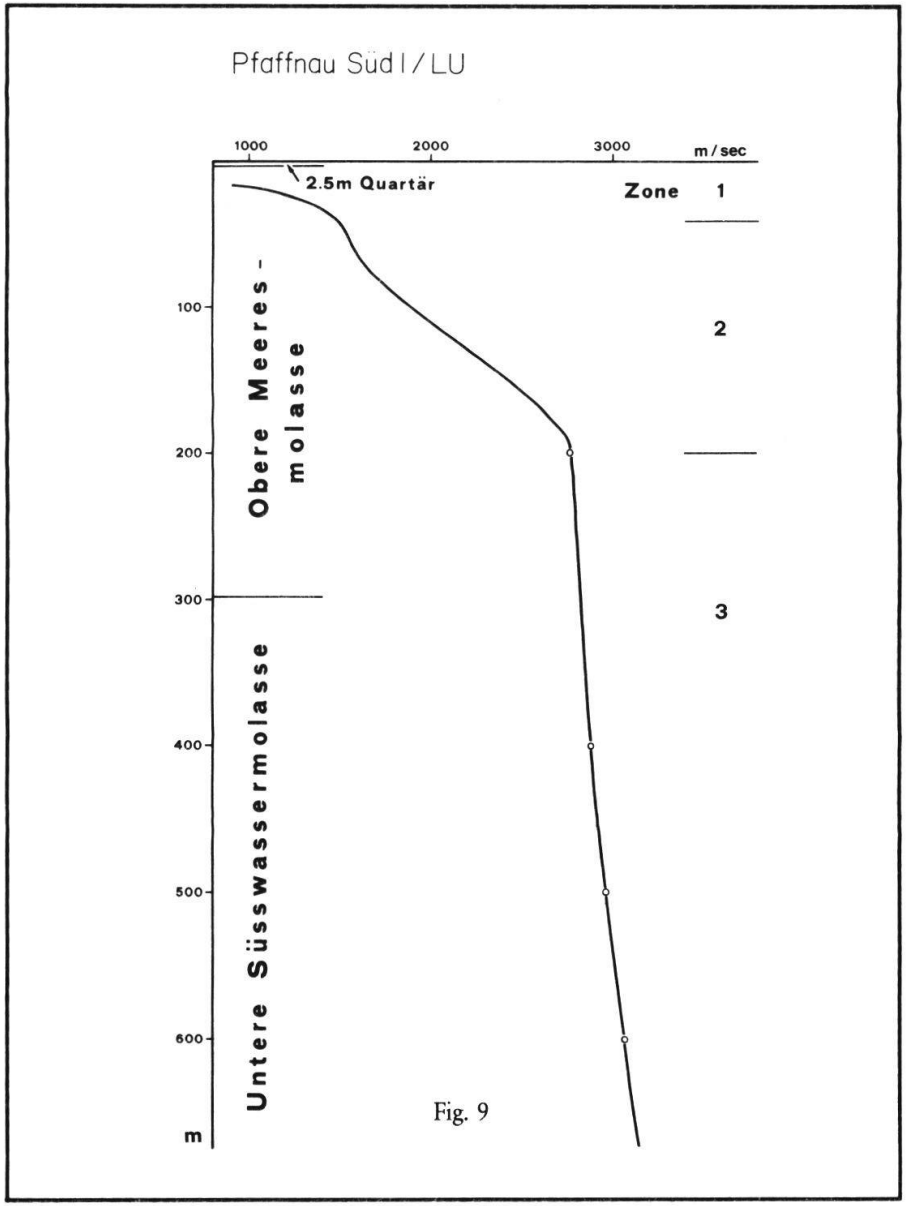

Pfaffnau Süd I/LU
1000
2000
3000
m/sec
2.5m Quartär
Zone
1
2
3
100
200
300
400
500
600
m
Obere Meeres-molasse
Untere Süsswassermolasse

Fig. 9

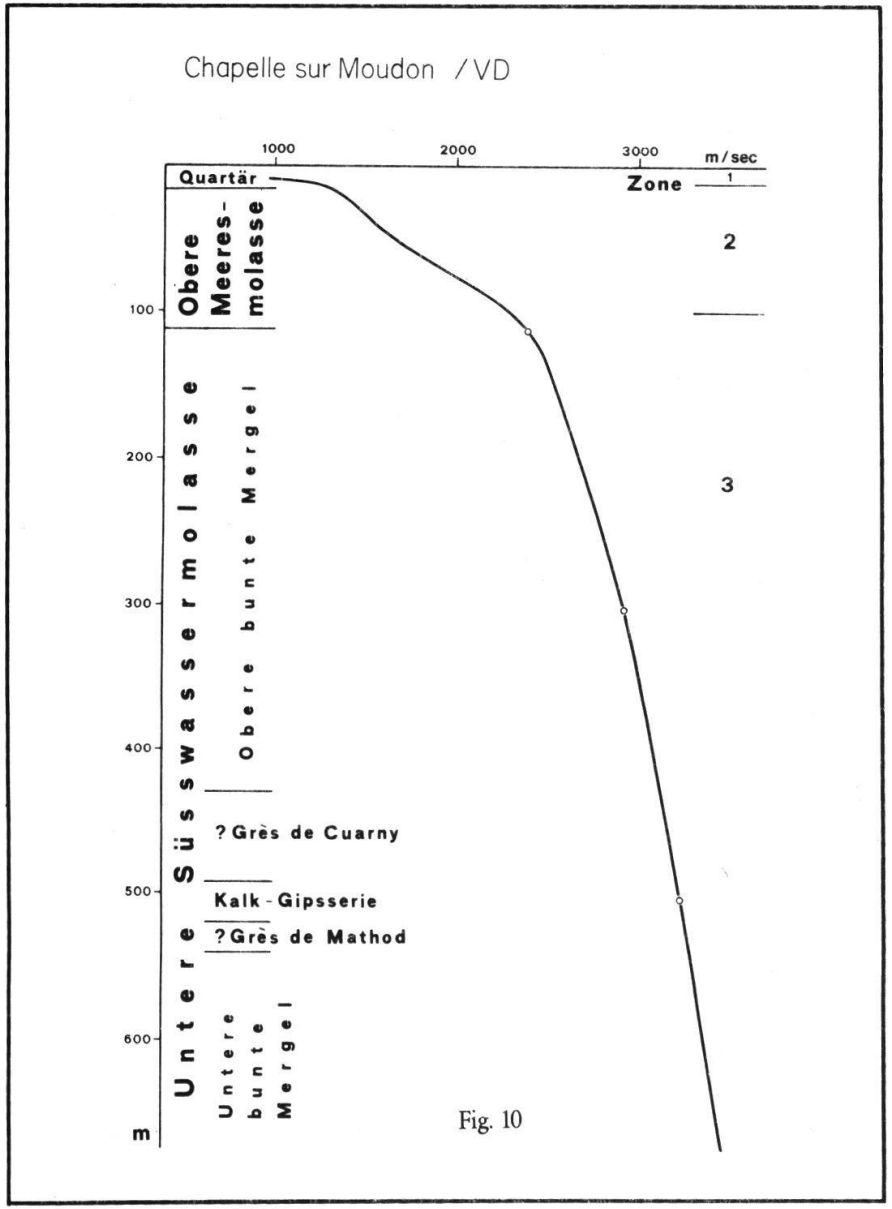

Chapelle sur Moudon / VD
1000
2000
3000
m/sec
Quartär
Zone
1
2
3
Obere Meeres-molasse
Untere Süsswassermolasse
Obere bunte Mergel
? Grès de Cuarny
Kalk - Gipsserie
? Grès de Mathod
Untere bunte Mergel
100
200
300
400
500
600
m

Fig. 10

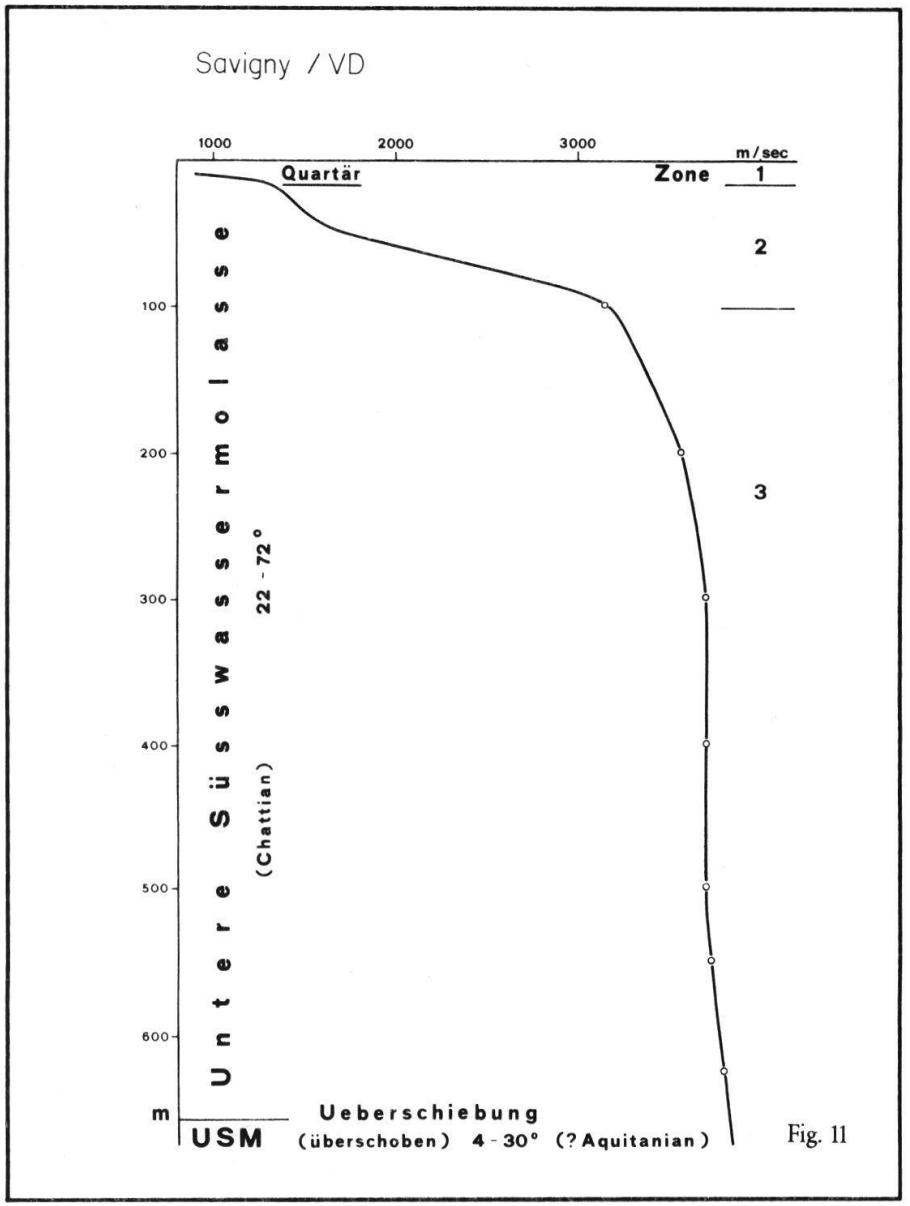

Savigny / VD
1000
2000
3000
m/sec
Quartär
Zone
1
2
3
Untere Süsswassermolasse
22 - 72°
(Chattian)
100
200
300
400
500
600
m
USM
Ueberschiebung
(überschoben) 4 - 30° (? Aquitanian)

Fig. 11