Temperaturmessungen in Erdölbohrungen der Schweiz

Autor(en): **Vollmayr, Theodor**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **49 (1983)**

Heft 116

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-207414

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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

http://www.e-periodica.ch

Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., Vol. 49, Nr. 116, April 1983, S. 15 – 27

Temperaturmessungen in Erdölbohrungen der Schweiz

mit 7 Abbildungen

von Theodor VOLLMAYR*

Zusammenfassung

Im schweizerischen Mittelland besteht gewöhnlich in den obersten 500 – 800 m ein hoher Temperaturgradient. Darunter ist der Gradient im Tertiär niedrig. Im Mesozoikum ist der Durchschnittsgradient wieder etwas höher. Der Knick im Temperaturverlauf an der Tertiärbasis wird sowohl auf absteigende Porenwasserbewegung während der postpontischen Heraushebung und wohl gleichzeitig im Malmkarst aufsteigende Wässer, wie auf verschiedene Leitfähigkeit zurückgeführt. Die noch rezent vorhandene Hebungstendenz dürfte während des Quartärs von Absenkungszeiten im Südteil des Beckens unterbrochen gewesen sein. Als Grund für die Grösse des Gradienten in der Nähe der Oberfläche wird die Kappung des tertiären Temperaturfeldes durch die postpontische Erosion vermutet.

Summary

The temperature in the Swiss Midland increases rapidly with depth near the surface. Below that zone the temperature gradient within the Tertiary sediments is only approx. 25° C/km. In the Mesozoics the gradient increases again, but only moderately. It is supposed that both the ascending pore fluids during the sedimentation phase and the descending pore filling during a postpontian uplift phase were deviated in the Malmkarst in a northward direction, thus causing the change in the temperature gradient at base Tertiary. The conductivities differing in the Tertiary and the Mesozoics cause an effect in the same sense. The uplifting phase was interrupted – possibly several times – during Quaternary, probably because of the repeatedly prograding and retreating glaciers in the southern part of the basin.

Einleitung

Beim Vermessen und Testen der auf der Suche nach Kohlenwasserstoffen in der Schweiz niedergebrachten Bohrungen fielen zahlreiche Daten über das rezente Temperaturfeld des explorierten Gebietes an, deren Aufarbeitung und Interpretation vom Verfasser seit mehreren Jahren systematisch betrieben wurden. Da diese Unterlagen auch von direkt energiepolitischem Interesse sind, werden sie hier publiziert. Für die Genehmigung zur Veröffentlichung bedanke ich mich bei den Firmen, in deren Auftrag die Bohrungen niedergebracht wurden, besonders bei BEB Brigitta und Elwerath Betriebsführungsgesellschaft, Swisspetrol, SEAG, LEAG, BEAG, Elf-Aquitaine, BOMIN, SAdH und Swissgas. Wintershall AG ist die Genehmigung zur Aufnahme einer Vergleichsbohrung aus dem süddeutschen Alpenvorland zu verdanken. Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. BETZ, Explorationsmanager der BEB Hannover.

*) Dr. Th. VOLLMAYR, BEB Gewerkschaften Brigitta und Elwerath Betriebsführungsgesellschaft mbH, Riethorst 12, D-3000 Hannover 51

Sammlung und Verarbeitung der Daten

Die hier referierten Bohrungen liegen im schweizerischen Mittelland oder nahe dessen Rand im Norden oder Süden.

Die meisten Temperaturmessungen in diesen Bohrungen sind mit Maximalthermometern während der elektrischen Bohrlochmessungen in der jeweils bis dahin erreichten Teufe gemessen worden. Die Thermometer werden gewöhnlich zwischen Kabel und Kopf der Sonde angebracht, befinden sich also ca. 5–10 m über der Bohrlochssohle. Bei jedem Einfahren mit einer neuen Sonde bis zur Sohle und nachfolgender Messung ergibt sich so ein Temperaturwert für die Spülung an der Bohrlochssohle zur Zeit des Abhebens der Sonde von der Sohle. Diese Temperatur hängt ab von der Länge der Spülungszirkulationszeit in der Messteufe und von der Stillstandszeit der Spülung während der Messung. Denn während des Eindringens von Meissel oder Krone in die Bohrlochsbasis-Zone und während des anschliessend erfolgten Freispülens von Sohle wurde die Bohrlochssohle durch den von übertage kommenden Spülstrom gekühlt. Dabei wird die vom Bohrwerkzeug freigesetzte und in Wärme umgewandelte Energie in grösseren Teufen vollständig abgeführt und darüber hinaus die Temperatur des umgebenden Gebirges gesenkt. Werden die Stillstandszeiten der Spülung von Beendigung der Zirkulation bis zum Abheben der Mess-Sonde von Sohle und die zugehörigen Maximalthermometer-Werte für jede Messung sorgfältig festgehalten, so ergibt sich für jede Messreihe ein Temperaturaufbau, der in seinem Endast etwa einer Differentialgleichung 1. Ordnung nach der Zeit entspricht. Das Verhältnis von (Stillstandszeit und Zirkulationszeit): Stillstandszeit logarithmisch gegen die erreichte Temperatur aufgetragen ergibt im Endast also einen etwa geradlinigen Kurvenverlauf, dessen Durchstichspunkt durch die Temperatur-Achse, wo dieses Verhältnis 1 bzw. sein Logarithmus 0 wird, den extrapolierten Wert der Gebirgstemperatur in der Messteufe ergibt. Diese Methodik ist vielfach beschrieben und erfolgt völlig analog dem für Druckaufbau üblichen HORNER-Plot (HORNER 1951).

Bei der Durchführung des geschilderten Korrekturverfahrens ergaben sich die im folgenden aufgeführten Besonderheiten.

Die Zirkulationszeiten wurden den Bohrberichten entnommen. Bei Bohrungen ohne BEB-Beteiligung mussten sie geschätzt werden. Versuche mit verschiedenen Werten zeigten, dass der Einfluss auf die extrapolierten Temperaturwerte meist nicht allzu gross ist. Bei der als Zirkulationszeit gerechneten Bohrzeit wird nach Literaturangaben (z. B. RYBACH & BODMER 1980, S. 503) im allgemeinen nur die Bohrzeit des untersten Meters über der Bohrlochssohle gerechnet. Da die Mess-Sonden heute vielfach kombiniert sind und das Thermometer wegen der grösseren Sondenlänge heute im Schnitt meist höher über der erreichten Bohrlochssohle angebracht ist, wurde bei der vorliegenden Arbeit meist die Bohrzeit für die 2 – 3 m über der Sohle als Zirkulationszeit gerechnet; dazu kommt natürlich die Zeit des Spülens von Sohle. Zirkulationszeiten aus früherem Bohrvorgang etwa bei Kernen und nachfolgendem Nachbohren mit dem Meissel wurden etwa mit den Zwischenstillstandszeiten aufgerechnet, nie jedoch restlos. Nachbohren wurde während der letzten 10 m gerechnet.

Die Stillstandszeiten sind etwa seit Mitte der siebziger Jahre in den Diagrammköpfen festgehalten. Bei den älteren Messungen können sie mit einigem Anspruch auf Vertrauenswürdigkeit aus Messteufe, Mess-Strecke, Gesamtdauer der Messungen und einer im allgemeinen gleichbleibenden Abfolge rekonstruiert werden. Die Bohrlochstemperaturen würden auch bei den älteren der schweizerischen Bohrungen für jede einzelne Messung registriert. Nur bei einzelnen alten schweizerischen Bohrungen wie etwa Chapelle 1 liegt nur jeweils ein Temperaturwert für eine ganze Messreihe vor. Die niedrigste Temperatur, die in alten Bohrungen noch gemessen werden konnte, beträgt 30° C. Ausser den Temperaturmessungen bei den elektrischen Bohrlochsmessungen wurden auch die während der Teste aufgenommenen Temperaturdaten verwendet. Da die Ruhezeiten nach der Verrohrung und Zementation und bis zum Test z. T. sehr lang sind, können diese Daten in manchen Fällen als besonders zuverlässig angesehen werden.

Die Verarbeitung der Daten erfolgte halbautomatisch. Die Eingabe erfolgte im Dialogverfahren nach einem für den Hewlett-Packard-Tischrechner 9845 B geschriebenem Programm, das dazu dient, für jede Messreihe die Messpunkte im linear/logarithmischen Netz einzutragen und als Papierkopie zur Interpretation auszugeben. Das Resultat der von Hand vorgenommenen Extrapolation wird dann in den Rechner eingegeben, der nach Durchlaufen aller Messreihen eine Übersichtszeichnung über den Temperaturverlauf in der Bohrung ausgibt.

Die Interpretation der Daten von Hand und nicht mittels einer statistisch gefundenen Regressionsgeraden im linear/logarithmischen Netz erwies sich als angebracht, weil sorgfältig aufgenommene Daten neuer Bohrungen vielfach eine solche angenäherte Regressionsgerade nur in ihrem Hauptteil zeigen. In grösseren Tiefen geht dieser im Funktionsnetz mehr oder weniger linear erscheinende Hauptteil aus einem flacheren, gekrümmten Anfangskurvenast hervor (Fig. 1). Beschrieben ist dieser Effekt erstmals bei DOWDLE & COBB 1975 und weiterhin bei ROUX, SANYAL & BROWN 1980. Ein systematischer negativer Fehler bei der Interpretation kann so mindestens verringert werden.

In flachen Teufen liegen nur wenige Temperaturaufbau- oder -abbau-Kurven vor (Fig. 6). Die beim Bohrvorgang erzeugte Wärme scheint sich dort mit der Kühlung durch die Spülung vielfach die Waage zu halten. Da die Vorgänge hier offenkundig noch nicht ganz geklärt sind, wurden die Werte mit besonderer Vorsicht benutzt. Insbesondere wird für die flachen Teufen ein positiver systematischer Fehler bei der Korrektur erwogen.

Für die Temperaturaufbau-Kurve der Bohrung Herdern 1 von der Grenze zwischen Mesozoikum und Grundgebirge (Fig. 2) könnte man als ein Interpretationsmodell den Temperaturaufbau durch zwei Schichten mit verschiedener Wärmeleitfähigkeit heranziehen. Für den freundlichen Hinweis darauf, der sich auf ähnliche Druckaufbaukurven stützt, danke ich Herrn Dipl.-Ing. W. FRIEDRICH, BEB Hannover.

Regionale Gegebenheiten und Versuch einer Interpretation

Für die normale funtionelle Abhängigkeit der Temperatur von der Teufe wird die Bohrung Kreuzlingen 1 (Fig. 2) als Beispiel herangezogen. In den oberen 500 m besteht im schweizerischen Mittelland ein hoher Temperaturgradient. Darunter ist der Temperaturgradient erheblich niedriger, im Normalfall ca. 20–25°. Im Mesozoikum stellt sich wieder ein etwas höherer Gradient ein. Einem solchen in Abschnitte mit verschiedenen Gradienten gegliederten Temperaturverlauf widerspricht die von RYBACH & BODMER (1980) bei der Vermessung von Ruppoldsried gemachte Beobachtung, die nach 12 Wochen Stillstandszeit im verrohrten Loch bis zur Bohrlochssohle, d. h. durch die ganze USM und bis in den oberen Malm hinein einen praktisch konstanten Gradienten feststellten. Ausserdem ergaben in Essertines 1 während einer Druckstufenmessung in 20 m Abstand von nahe der Oberfläche bis in den höheren Keuper hinein gewonnene Temperaturdaten einen genau linearen Temperaturanstieg bis zur Sohle (Fig. 6); diese Daten wurden in den Steigrohren nach ca. halbjähriger Stillstandszeit gewonnen. Auch in Pfaffnau Süd 1 fügen sich die wohl weitgehend aufgebauten Temperaturwerte aus Casingtesten am besten in einen linearen Abfall zur Oberfläche ein. Vorsicht gegenüber den Messwerten aus geringer Teufe, welche bei den elektrischen Bohrlochsmessungen anfielen, ist demnach grundsätzlich angebracht. Eine mindestens ebenso grosse Vorsicht dürfte allerdings bei der Bewertung von Temperaturmessungen in verrohrten Bohrungen geboten sein; dies ergibt sich aus der genau linearen Abhängigkeit der Temperaturmesswerte von der Teufe in der komplettierten Bohrung Essertines 1 (Fig. 6). Auch stehen den in Pfaffnau Süd 1 (Fig. 3) sich in einen linearen Anstieg einfügenden Messungen bei Casing-Testen die während der Casing-Teste in Pfaffnau Süd 2, 4 und 5 (Fig. 3) gemessenen Werte entgegen; diese letzteren lassen auf eine nicht-lineare Teufenabhängigkeit der Temperatur schliessen. Demnach treffen die oben genannten Einwände, welche sich auf verrohrte Bohrungen bezogen, nicht zu und es ist der hohe Temperaturgradient in Oberflächennähe mindestens prinzipiell als real anzuerkennen. Systematische Fehler kleinerer Grössenordnung, d. h. im Bereich von einigen Grad Celsius, können jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Unterhalb der oberflächennahen Zone schliesst sich ein Bereich eines im ganzen Beckenquerschnitt bis zum Alpenrand fast konstanten Gradienten an. Für den Durchschnittsgradienten von der Oberfläche bis zur Basis Tertiär ergibt sich eine leichte Abnahme vom Jura zu

den Alpen hin, da der Anteil des niedrigeren tiefen Gradienten gegenüber dem oberflächennahen mit der zunehmenden Beckentiefe laufend zunimmt.

Die Vergrösserung des Gradienten im Mesozoikum gegenüber dem Tertiär ist besonders im nördlichen Teil des Beckens ausgeprägt; sie nimmt am Alpenrand gewöhnlich etwas ab. Möglicherweise ist jedoch der Gradient des Mesozoikums über den Gasfunden Entlebuch und Linden 1 gegenüber dem normalen Mesozoikumsgradienten, und zwar vermutlich wegen der Isolationswirkung des Gases, etwas erhöht.

Im westlichen Teil des deutschen Alpenvorlandes ist der Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Teufe prinzipiell ähnlich, wie oben für das schweizerische Mittelland beschrieben wurde (Fig. 1). Dagegen scheint in weiten Bereichen der deutschen Ostmolasse der erhöhte Gradientenanteil in Oberflächennähe zu fehlen, wenngleich eine Erhärtung dieser Aussage durch zuverlässige Werte neuer Bohrungen noch aussteht.

Zur Interpretation des heutigen Temperaturfeldes muss die Geschichte des Molassetroges herangezogen werden. Auf die Zeit der Sedimentation folgte die pontische Faltung, danach eine z. T. kräftige Heraushebung. Die Intensität beider Vorgänge nimmt vom Rand des Böhmischen Massivs zur Schweiz hin zu, besonders längs rechtslateraler Querverschiebungen. Bedeutsam scheint von solchen rechtslateralen Blattverschiebungen die Zone, welche die süddeutsche West- und Ostmolasse voneinander abtrennt, und die Zone des Bodensees. Die Westschweiz dürfte gegenüber der Ostschweiz eine in der Grössenordnung von 1000 m liegende, stärkere Hebung erfahren haben, wie aus der heutigen Höhenlage des Troges der Oberen Meeresmolasse (OMM) gefolgert werden kann (vgl. LEMCKE 1973, S. 35).

Während der Zeit der Sedimentation des Tertiärs führte die Wasserbewegung im Porenraum als Kompaktionsstrom nach oben. Dies ergibt sich aus der Salinitätsverteilung in der unteren Süsswassermolasse (USM). Die Salinitäten nehmen dort von unten nach oben ab (Fig. 1). Da die USM als fluvioterrestrische Bildung ursprünglich mit Süsswasser gefüllt war, muss eine unten stärker als oben erfolgte Zumischung von Salzwasser, also ein aufsteigender Kompaktionsstrom angenommen werden. Im hochpermeablen Malmkarst und in geringerem Umfang auch in den Sanden der OMM dürfte dabei der Kompaktionsstrom beckenauswärts nach Norden etwas abgeleitet worden sein. Dass dies nicht in höherem Masse geschah, dafür sorgten die antithetischen beckenparallelen Brüche, die den Strom und dessen Rückstau wieder in die Vertikale zwangen. Trotzdem verbleibt ein Teil des Stromes im Malmkarst in beckenauswärtiger Richtung.

Bei der regionalen postpontischen Hebung dürfte der Süden stärker angestiegen sein als der nördliche Beckenrand. Wiederum ergibt sich dabei ein nach Norden bzw. Nordwesten gerichteter Strom im Malmkarst, der als Drainage zum Vorfluter an der Donau bzw. Aare wirkte. Das Porenwasser stieg dabei ab, so dass der Vorgang mit dem Ausschütten eines Gefässes verglichen werden kann (vgl. LEMCKE & TUNN 1956 und LEMCKE 1976).

Während des Quartärs dürfte es zu partieller Stagnation der Hebung und zur Senkung im Südteil des Beckens gekommen sein. Dies wird aus den Süsswassereinbrüchen in der Nähe des Beckennordrandes gefolgert (Fig. 1). Die Senkung des alpennahen Beckenteils führte dabei zu einer Schrägstellung des Beckens, so dass zum hydrostatischen Ausgleich Süsswasser aus dem Donaugebiet angesaugt wurde. Zum Unterschied von der Senkung während der Sedimentation wurde dabei von oben nicht in gleichem Masse Wasser nachgeliefert wie die Senkung erfolgte; vielmehr war der Südteil des Beckens während dieser Zeit von Gletschern abgedeckt. Auch wurde k e i n oder wenn dann w e n i g Kompaktionswasser im Gestein mehr generiert, da durch die vorangegangene Hebungszeit die Gesteine weit über die ihrem Kompaktionszustand entsprechende Teufe herausgehoben waren. So kam es also bei im Süden aufsteigendem Porenwasserstrom am nördlichen Beckenrand nicht wie während der Sedimentation zu auf- und auswärtsführendem Wasserstrom im Malmkarst, sondern zu abwärtsführendem Süsswassereinbruch.

Dass der durchschnittliche Temperaturgradient im Mesozoikum grösser ist als derjenige des Tertiärs, wird sowohl als Folge der regionalen langandauernden postpontischen Hebung angesehen, wie auch als eine Folge der im Tertiär gegenüber dem Mesozoikum relativ hohen Wärmeleitfähigkeit; allerdings zeigten RYBACH & al. 1980 (S. 305), dass für das erste Modell eine viel zu hohe Wassergeschwindigkeit im abwärts gerichteten Porenwasserstrom nötig wäre. Die während des Quartärs zeitweise erfolgten partiellen Senkungen des Beckens sind dabei nur als Unterbrechungen der langfristigen heute noch anhaltenden Hebung anzusehen. In dem Sinne einer vorherrschend nach Norden bzw. Nordwesten gerichteten Strömung des Malmkarstwassers sprechen auch die Ergebnisse der Thermalbohrung Urach, wo sich die Wärmeanomalie als im wesentlichen auf das Mesozoikum beschränkt erwies. Dabei kann mit gutem Grund angenommen werden, dass die Bewegungen im Malmkarst z. T. wegsame Bahnen bevorzugen, wie sie sich etwa entlang von verschwammten Zonen (VOLLMAYR 1971, Fig. 11) ausbilden konnten.

Schwieriger zu deuten ist der hohe Temperaturgradient in Oberflächennähe. Hier ist auffällig, dass der normale, d. h. unterhalb der oberflächennahen Zone gelegene Tertiär-Temperaturgradient in seiner phantomisierten Verlängerung in der Schweiz und in der deutschen Westmolasse vielfach auf ca. 20–25°C an der Oberfläche zeigt. Denkbar ist es, hier die Wirkung von Hebung und Erosion zu vermuten, was hier vorgezogen wird. Eine andere Deutungsvariante ist es, die oberen 500–1000 m als durch spezielle Fliessbewegungen in der OMM während des Quartärs beeinflusst zu sehen, wie sie den Wasserbewegungen im Malmkarst analog wären.

Die Temperaturgradienten bis Basis Tertiär (Fig. 7) deuten eine Unstetigkeitszone in der Gegend von Linden 1 an. Unter der Voraussetzung, dass die zugrundeliegenden Daten genau genug sind, möchte man hier, wie weiter im Osten, eine rechtslaterale Blattverschiebungszone als Ursache der Unstetigkeit annehmen, obwohl augenscheinlich die linkslateralen Verschiebungen in der West- und Zentralschweiz überwiegen. Allerdings kann die gemachte Voraussetzung der Zuverlässigkeit der Unterlagen durchaus zu Unrecht angenommen worden sein.

Da es sich beim Temperaturfeld um ein dreidimensionales Phänomen handelt und ein eindimensionales Modell nur Näherungswerte liefert, ist an Blockgrenzen ein Verschwimmen der Temperaturgrenzen zu erwarten.

Literaturverzeichnis

DIETRICH, H.-G., HÄNEL, R., NETH, G., SCHÄDEL, K. & ZOTH, H. (1980): Deep investigation of the geothermal anomaly of Urach – International Seminar on the Results of EC Geothermal Energy Research, 2 d, Strasbourg, 1980, 253–266, 8 Abb.

DOWDLE, W. L. & COBB W. M. (1957): Static Formation Temperatur from Well Logs - An Empirical Method. – J. Petr. Techn., **27**, 1326–1330.

EDWARDSON, M. J., GIRNER, H. M., PARKINSON, H. R., WILLIAMS, C. D. & MATTHEWS, C. S. (1962): Calculation of Formation Temperature Disturbances Caused by Mud Circulation. – J. Petr. Techn., **14**, 416–426.

HOANG, V. T. & SOMERTON, W. H. (1981): Effect of variable thermal conductivity of the formations on the fluid temperature distribution in the well bore – Soc. Well log Analysts **22**. ann. logg. Sympos. **1**, L, Houston.

HORNER, D. R. (1951): Pressure build-up in wells. – Proc. 3. World Petr. Cong. The Hague, Sect. **2**, 503–521.

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

– (1976): Übertiefe Grundwässer im süddeutschen Alpenvorland. – Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., **42**, Nr. 103, 9–18, 4 Abb.

– (1981 a): Gedanken zur Schwefelanreicherung zwischen Neustadt a. d. Donau und Regensburg. – Schriftenreihe Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, H. **15**, 53–55, München.

– (1981 b): Die Thermal- und Schwefelwasservorkommen von Bad Gögging. 8.1. Erdgeschichtlicher Rahmen und Tektonik. – Schriftenreihe Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, H. **15**, 55–63, Abb. 26–30, München.

LEMCKE, K. & TUNN, W. (1956): Tiefenwasser in der süddeutschen Molasse und in ihrer verkarsteten Malmunterlage. — Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., **23**, Nr. 64, 35–56, 7 Abb., 2 Tab.

RAMEY, H. J. (1962): Wellbore heat transmission. — J. Petr. Tech., **14**, 428–435.

ROUX, B., SANYAL, S. K. & BROWN, S. L. (1980): An improved approach to estimating true reservoir temperature from transient temperature data. — Soc. Petrol. Engin. AIME 8888, 50. ann. Meet. Los Angeles.

RYBACH, L. & BODMER, Ph. (1980): Die geothermischen Verhältnisse der Schweizer Geotraverse im Abschnitt Basel – Luzern. — Eclogae geol. Helv., **73**/2, 501–512, 7 Abb., 2 Tab., Basel.

RYBACH, L., BÜCHI, U. P., BODMER, Ph. & KRÜSI, H. R. (1980): Die Tiefengrundwässer des schweizerischen Mittellandes aus geothermischer Sicht. — Eclogae geol. Helv., **73**/1, 293–310, 8 Abb., 1 Tab., Basel.

RYBACH, L. (1982): Die geothermischen Verhältnisse in der Schweiz. — Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. - Ing., **48**, Nr. 115, 23–34, 4 Abb., 3 Tab.

SCHOEPPEL, R. J. & GILERRANZ, S. (1966): Use of Well Log Temperatures to Evaluate Regional Geothermal Gradients. — J. Petr. Techn., **18**, 667–673.

VOLLMAYR, Th. (1971): Zur Geologie des Feldes Pfullendorf-Ostrach. — Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., **37**, Nr. 92, 1–20, 16 Abb.

Fig. 1 Bohrung Winzer 1:

1) Temperaturaufbaukurve in Teufe 1130 m.
2) Das Temperaturprofil zeigt – repräsentativ für viele Bohrungen in der süddeutschen Westmolasse – im Mesozoikum einen höheren Temperaturdurchschnittsgradienten als im Tertiär. In Oberflächennähe besteht wie im schweizerischen Mittelland ein hoher Temperaturgradient.
3) Widerstands- und Potentialkurve im Bereich der Unteren Süsswassermolasse. Die Potentialkurve schlägt im Sandbereich nach links aus, wenn das Porenwasser salziger ist als die Spülung, im umgekehrten Fall nach rechts, und zwar jeweils umso stärker je grösser der Unterschied ist. Man erkennt, dass in einem ersten Vorgang der ursprünglichen Süsswasserfüllung durch den aufsteigenden Kompaktion-Porenwasserstrom von unten nach oben abnehmend Salzwasser zugemischt wurde und dass später in die hochpermeablen Bausteinschichten, die unmittelbar dem Malm aufliegen, Süsswasser eingedrungen ist.

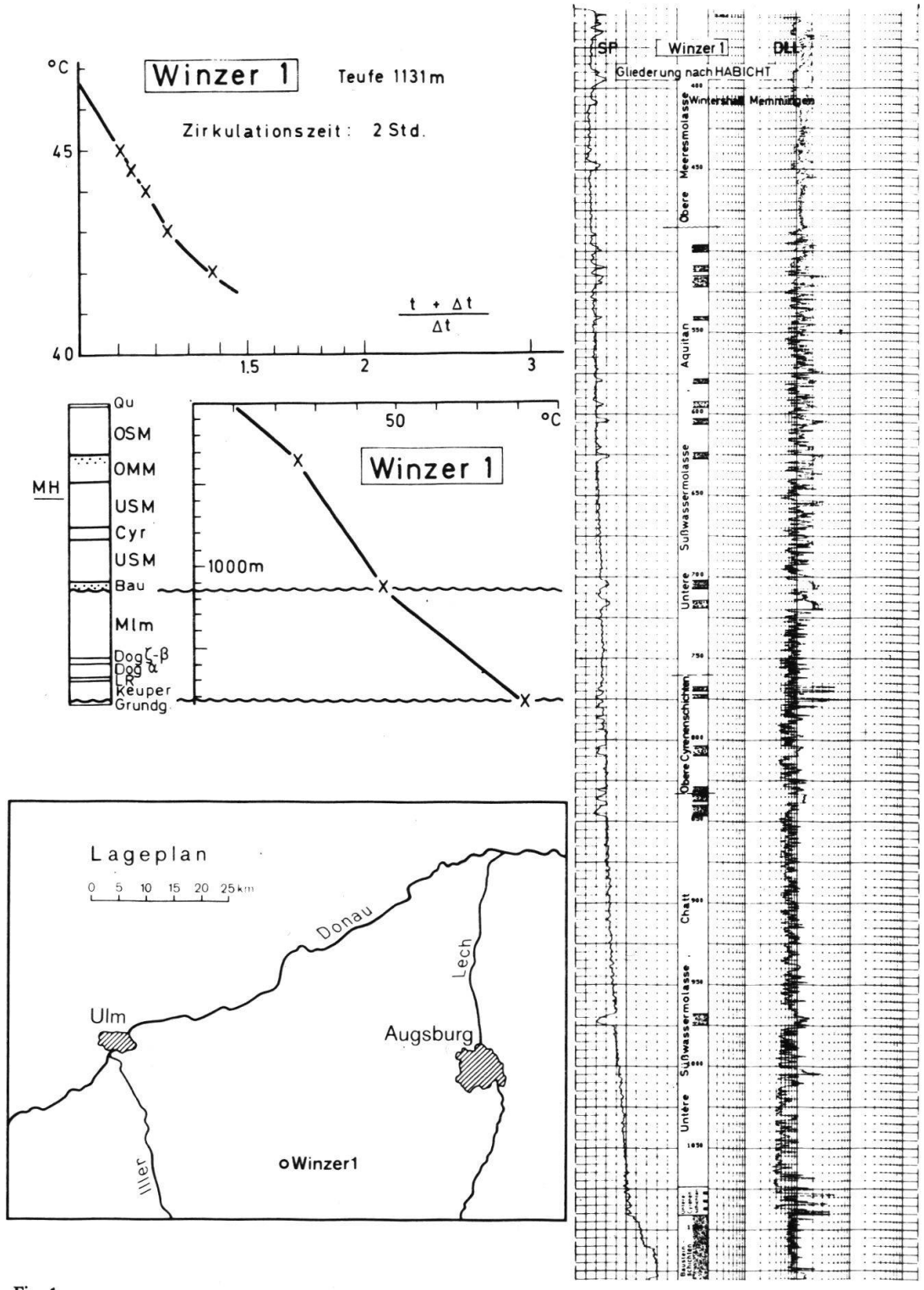
°C
Winzer 1
Teufe 1131m
Zirkulationszeit: 2 Std.
45
40
1.5
2
3
t + Δt / Δt
Qu
OSM
OMM
MH
USM
Cyr
USM
Bau
Mlm
Dog ζ-β
Dog α
Keuper
Grundg
50
°C
Winzer 1
1000m
Lageplan
0 5 10 15 20 25 km
Donau
Lech
Ulm
Augsburg
Iller
oWinzer1
SP
Winzer 1
DLL
Gliederung nach HABICHT
Obere Meeresmolasse
Aquitan
Süßwassermolasse
Untere
Obere Cyrenenschichten
Chatt
Süßwassermolasse
Untere

Fig. 1

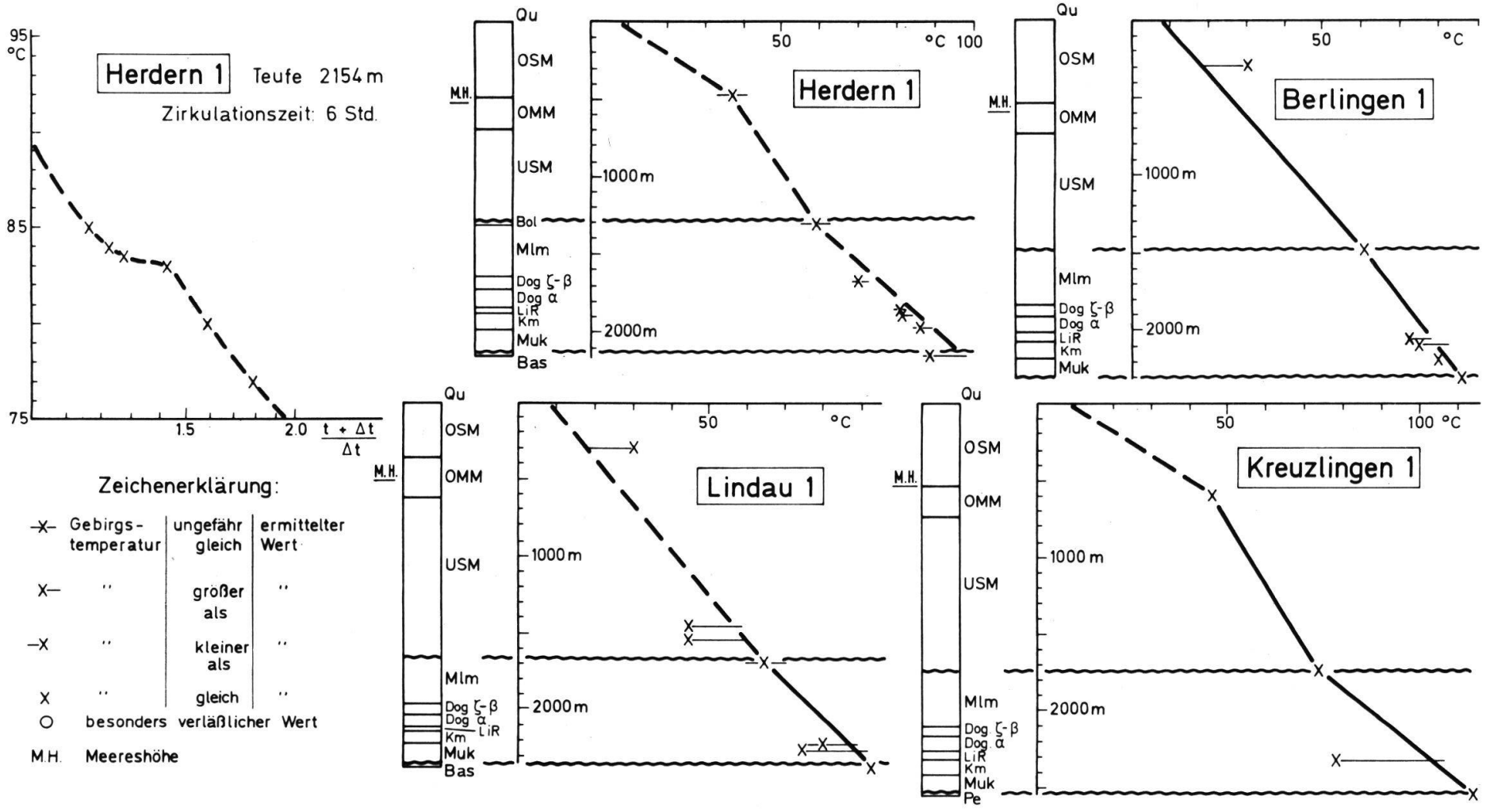

Fig. 2 Temperaturprofile der Bohrungen Berlingen 1, Kreuzlingen 1, Herdern 1 und Lindau 1 sowie Temperaturaufbau in Herdern 1, Teufe 2154 m

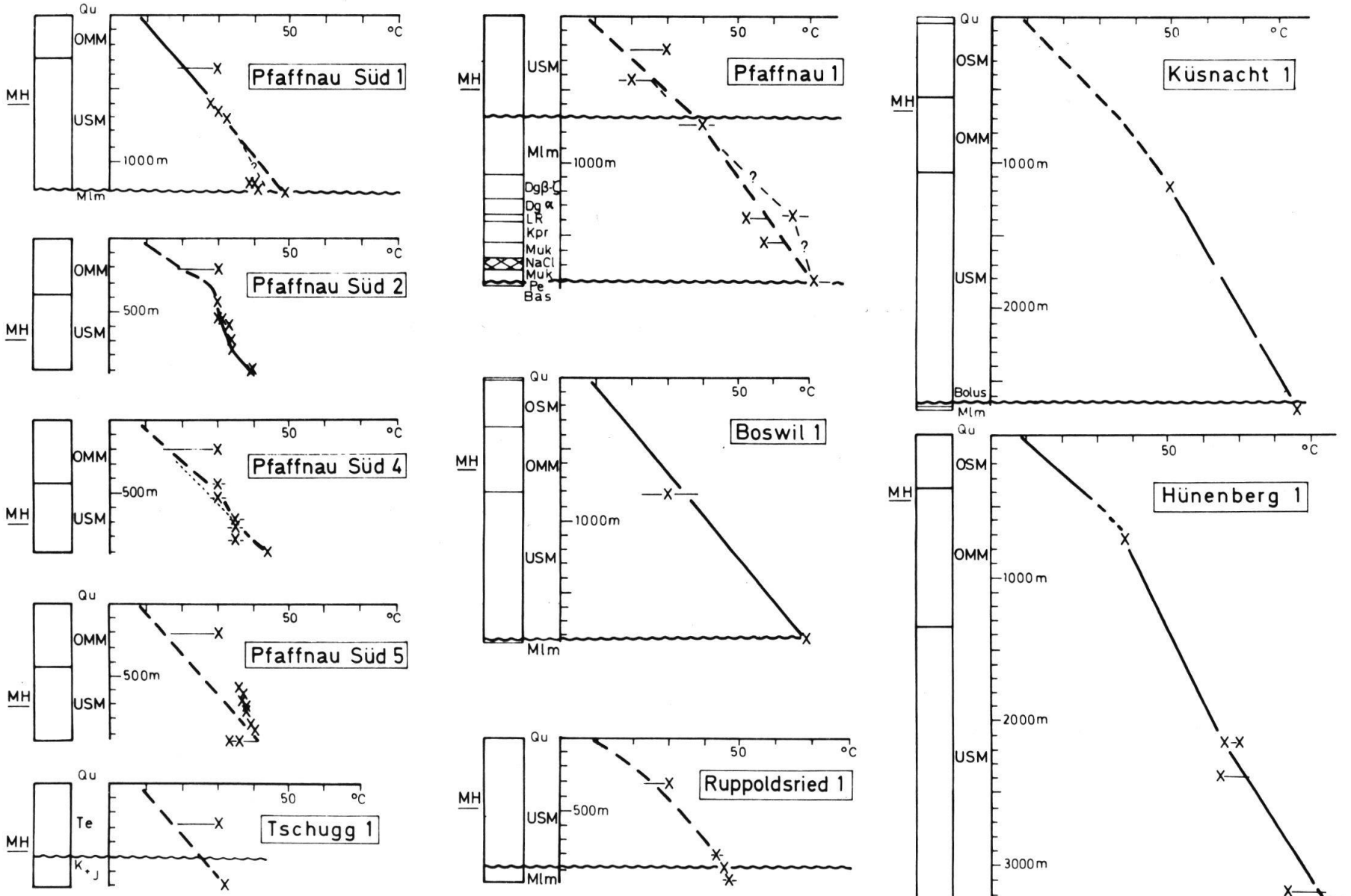

Fig. 3 Temperaturprofile der Bohrungen Küsnacht 1, Hünenberg 1, Boswil 1, Ruppoldsried 1, Tschugg 1, Pfaffnau 1, Pfaffnau Süd 1, 2, 4 und 5; Zeichenerklärung siehe Fig. 2

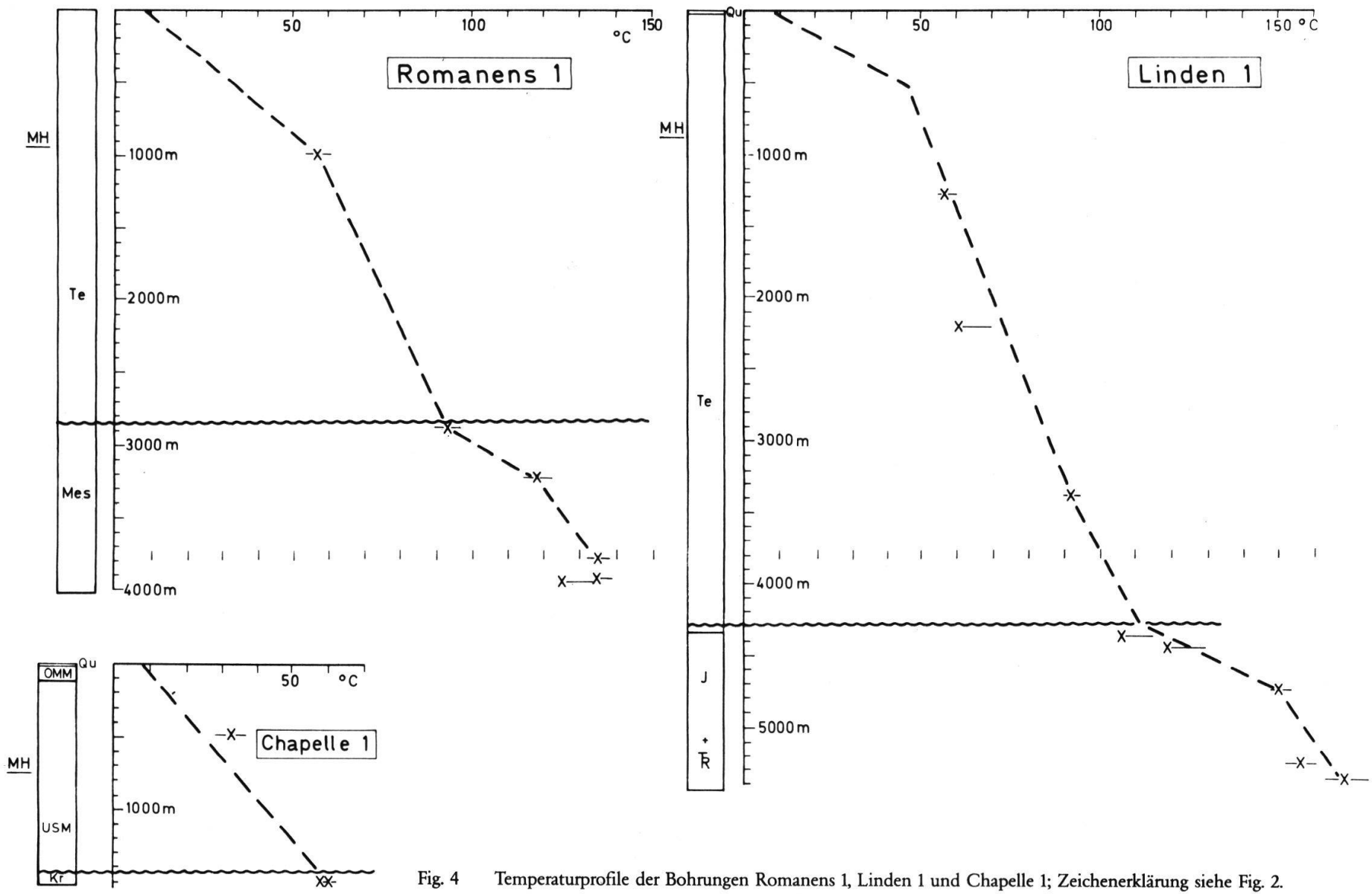

Fig. 4 Temperaturprofile der Bohrungen Romanens 1, Linden 1 und Chapelle 1; Zeichenerklärung siehe Fig. 2.

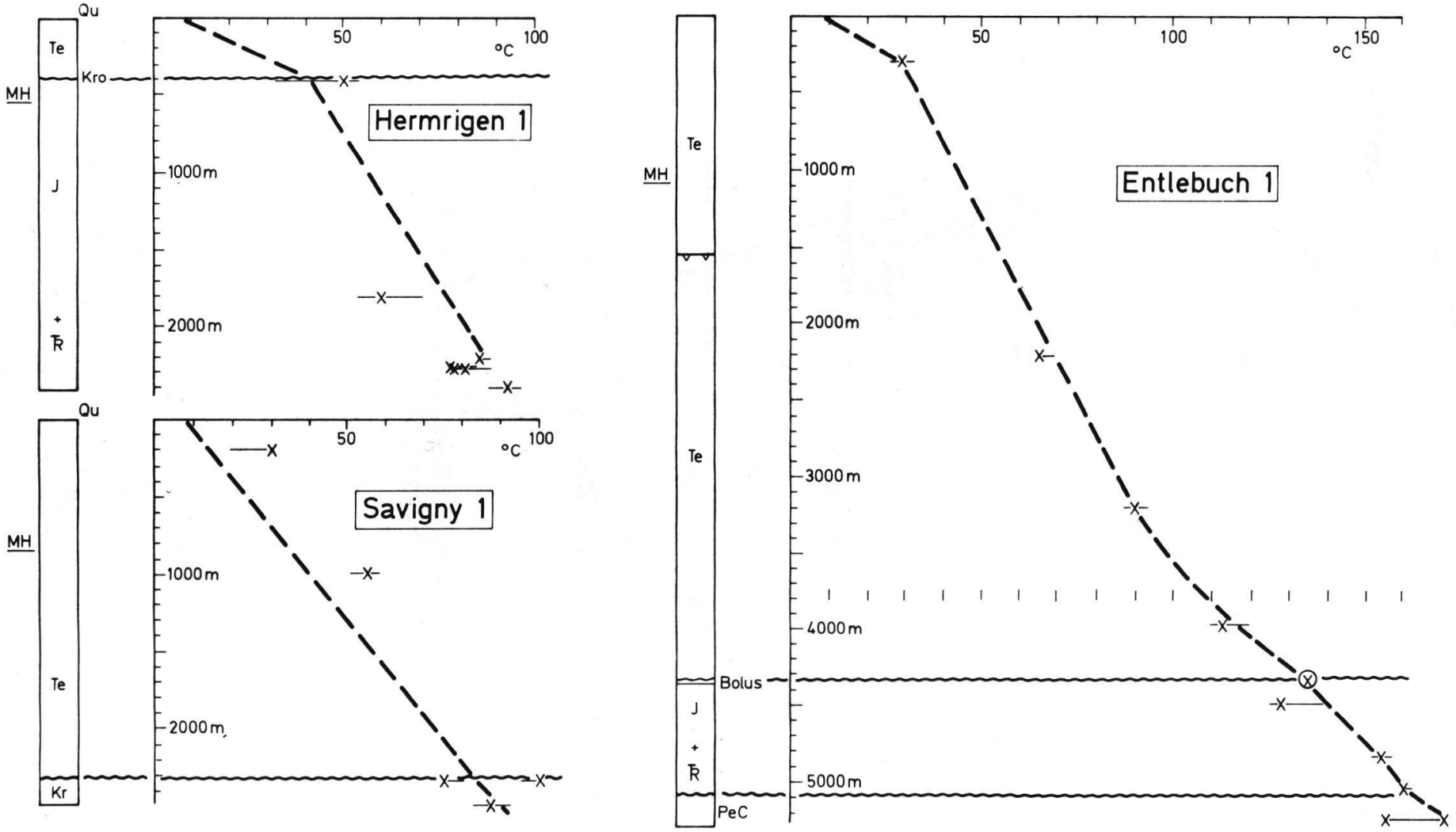

Fig. 5 Temperaturprofile der Bohrungen Hermrigen 1, Savigny 1 und Entlebuch 1; Zeichenerklärung siehe Fig. 2

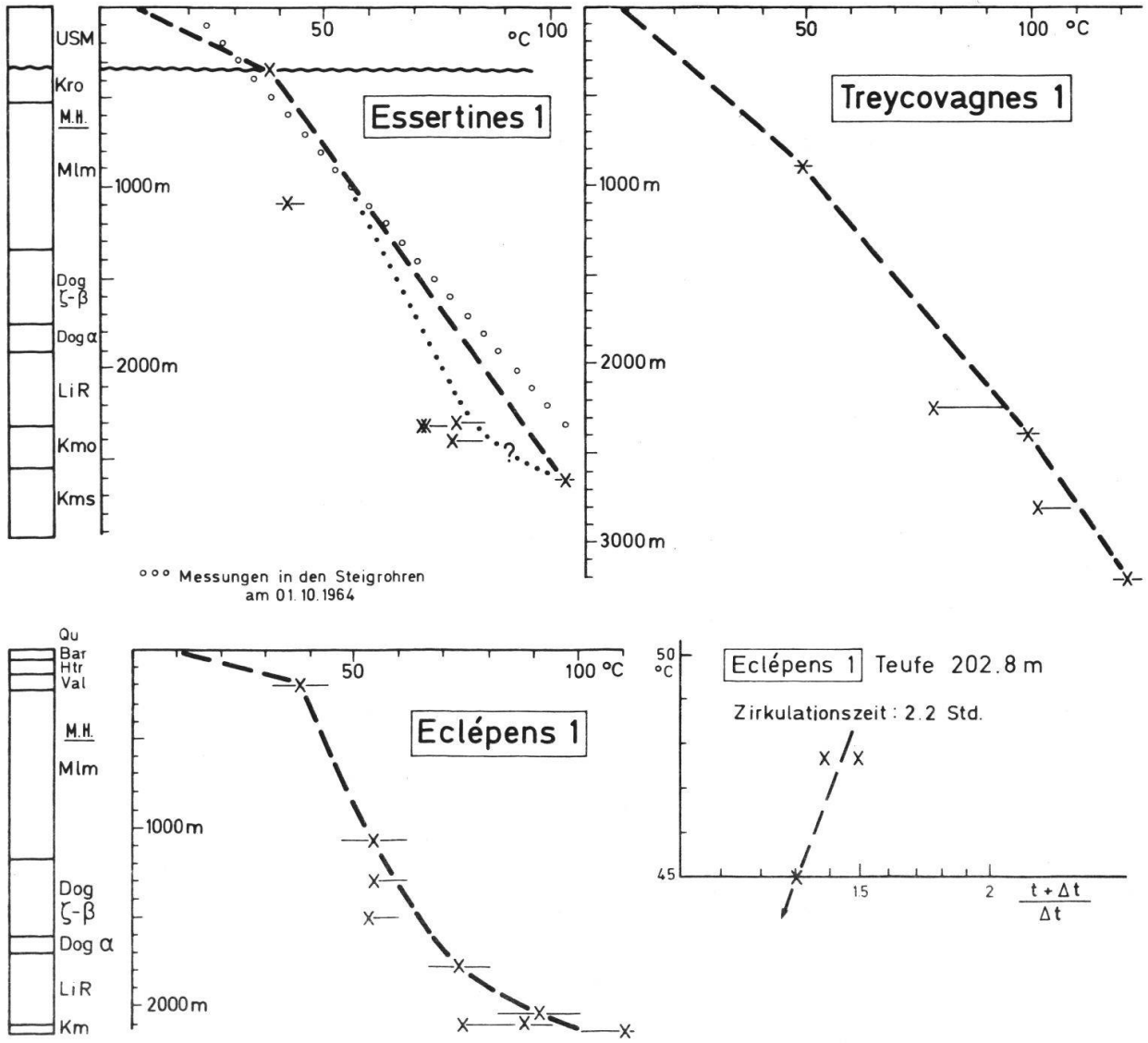

Fig. 6 Temperaturprofile der Bohrungen Essertines 1, Treycovagnes 1 und Eclépens 1; Temperaturaufbaukurve von Eclépens 1 in Teufe 202.8 m; Zeichenerklärung siehe Fig. 2.

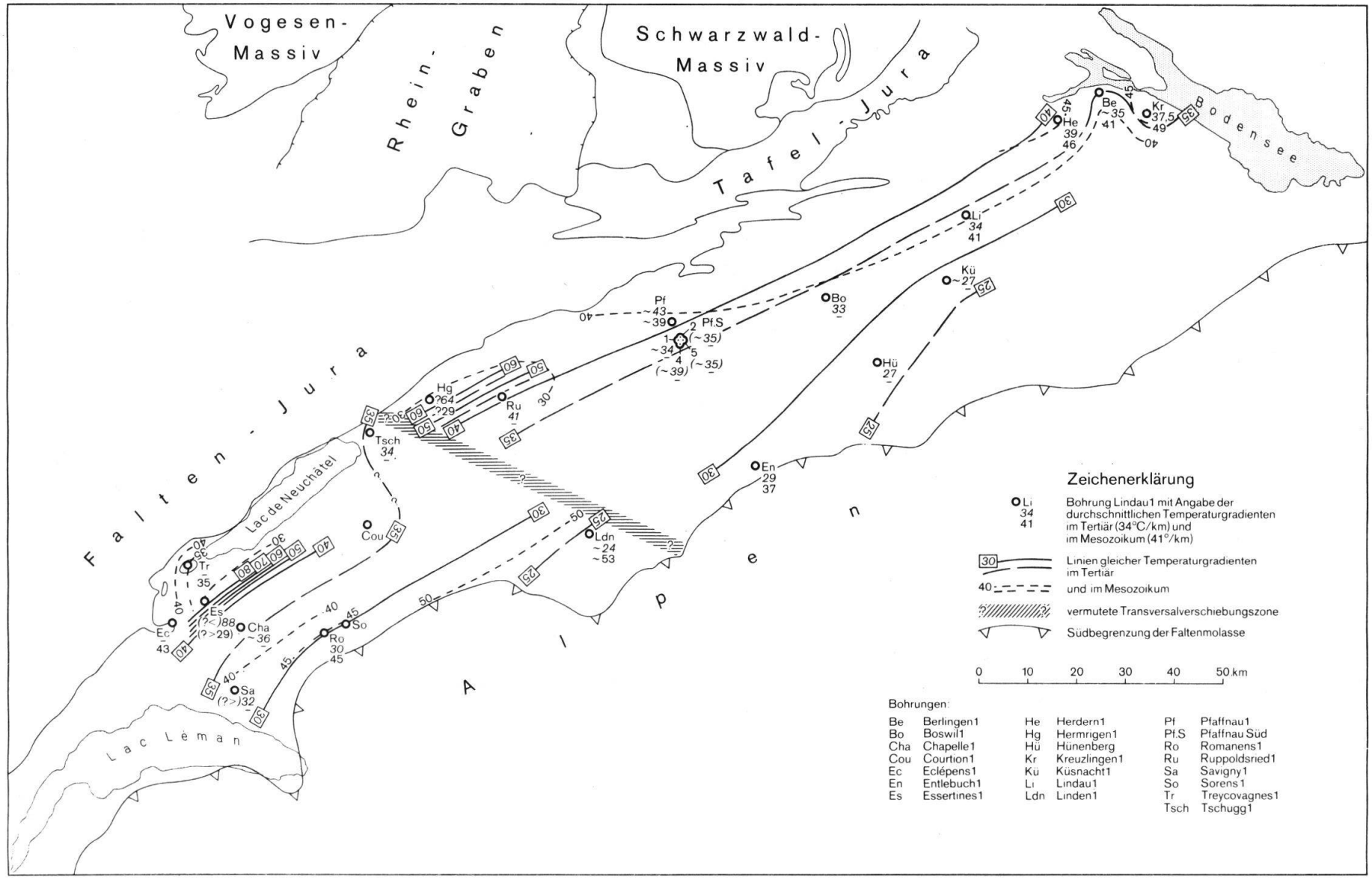

Fig. 7 Durchschnitt-Temperaturgradienten des Tertiärs und des Mesozoikums im schweizerischen Mittelland. Als durchschnittliche Jahrestemperatur wurde konstant 8° angenommen.