Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 73 (1980)

Heft: 2: Symposium alpine geotraverses with special emphasis on the Basel-Chiasso profile : Lausanne, 4-5 October 1979

Artikel: Die geothermischen Verhältnisse der Schweizer Geotraverse im Abschnitt Basel-Luzern

Autor: Rybach, Ladislaus / Bodmer, Philippe

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-164969

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: 21.08.2025

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

Eclogae geol. Helv.	Vol. 73/2	Seiten 501-512	7 Textfiguren und 2 Tabellen	Basel, Juli 1980

Die geothermischen Verhältnisse der Schweizer Geotraverse im Abschnitt Basel-Luzern[1])

Von LADISLAUS RYBACH und PHILIPPE BODMER[2])

ABSTRACT

The geothermal field along the Swiss Geotraverse between Basel and Luzern. Geothermal information available for the section Basel-Luzern has been compiled, with emphasis on deep drillhole data. Corrections were applied to account for effects of mud circulation. Temperature-depth curves in the northern Alpine Foreland exhibit a common feature: below about 400 m depth they form straight lines. The temperature field is characterized by a general decrease of the geothermal gradient from the Rhinegraben/Jura area across the Molasse basin towards the Alps (from about 35 °C/km at Basel to < 20 °C/km at Luzern).

The paleogeothermal conditions have been investigated by means of coalification studies (measurement of vitrinite reflectivity R_m). Cuttings from the drillholes Küsnacht 1 and Hünenberg 1 in the Molasse basin revealed low degree of coalification (< 0.6% R_m) and only a slight increase of coalification with depth (< 0.008% R_m/100 m). These data suggest a low-temperature geothermal regime which apparently prevailed since the deposition of the Molasse sediments. Like today's geothermal gradient, the paleogradient decreases towards the Alps as well.

ZUSAMMENFASSUNG

Die geothermischen Messwerte des Bereichs Basel-Luzern wurden kompiliert; die wichtigsten Daten stammen aus Tiefbohrungen. Falls nicht nach genügend langer Zeit gemessen, wurden die Formationstemperaturen auf Effekte der Spülungszirkulation korrigiert. Charakteristisches Merkmal der Temperatur-Tiefenkurven ist deren recht geradliniger Verlauf unterhalb etwa 400 m. Das Temperaturfeld zwischen Basel und Luzern ist gekennzeichnet durch eine generelle Abnahme des geothermischen Gradienten gegen den Alpenrand von etwa 35 °C/km (Basel) auf < 20 °C/km (Luzern).

Die Bestimmung des Inkohlungsgrades von kohligen Bestandteilen der Molasse-Sedimente erlaubt wertvolle Rückschlüsse auf die zeitliche Entwicklung der geothermischen Verhältnisse im nördlichen Alpenvorland. Spülproben aus den Tiefbohrungen Küsnacht 1 und Hünenberg 1 ergaben niedrige Inkohlungswerte (< 0,6% R_m) sowie eine auffallend geringe Inkohlungszunahme mit der Tiefe (< 0,008% R_m/100 m). Dies spricht für ein durchwegs niedrigtemperiertes paläogeothermisches Regime im Schweizer Molassebecken seit der Ablagerung der Sedimente. Wie der «Aktuogradient» nimmt auch der paläogeothermische Gradient gegen die Alpen hin ab.

1. Einleitung

Die Untersuchungen, über deren Resultate hier berichtet wird, stehen im Rahmen des Arbeitsprogramms der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission sowie eines Arbeitsauftrags des Bundesamts für Energiewirtschaft. Sie bezwek-

---

[1]) Mitteilung Nr. 283 aus dem Institut für Geophysik der ETH Zürich.

[2]) Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich (Schweiz).

ken die Erfassung des Temperaturfeldes bis in Tiefen, welche mit Tiefbohrungen erreicht werden können ($\leqslant$ 10 km), und dienen als Planungsgrundlage für Vorhaben wie unterirdische Speicherung von Kohlenwasserstoffen, Reservehaltung und Bewirtschaftung von Trink- und Brauchwasser, Lagerung von radioaktiven Abfällen in geologischen Formationen und nicht zuletzt für die Nutzung von geothermischen Energieträgern wie tiefliegende Aquiferen (KRÜSI et al. 1978; RYBACH et al. 1979, 1980). Die Erkenntnisse sind jedoch auch für das Temperaturfeld in grösseren Tiefen von ausschlaggebender Bedeutung.

Geologisch gesehen liegt das Untersuchungsgebiet im nördlichen Alpenvorland; die Schweizer Geotraverse durchquert im Abschnitt Basel–Luzern die folgenden geologisch-tektonischen Einheiten: a) Rheingraben, b) Tafeljura, c) Faltenjura, d) ungestörte Molasse, e) subalpine (aufgeschobene) Molasse. Das kristalline Grundgebirge taucht mehr oder weniger gleichmässig geneigt unter die Alpen ab; ebenso nimmt die Mächtigkeit der Molasse-Sedimente gegen den Alpenrand hin zu.

2. Datenkompilation und -verarbeitung

Die systematische Erfassung und Auswertung geothermischer Daten der Schweiz hat rasch gezeigt, dass die wertvollsten Informationen aus *Tiefbohrungen* stammen. Solche Bohrungen wurden mehrheitlich für Untersuchungen betreffend Kohlenwasserstoff-Exploration oder -Lagerhaltung abgeteuft und stehen in der Regel nur für eine relativ kurze Zeit offen, da sie nach Abschluss der Untersuchungsarbeiten (z. B. Formationstest) verfüllt werden müssen. Trotzdem gelang es in mehreren Fällen, mit einer Thermistor-Apparatur *kontinuierliche Temperaturlogs* zu messen. Diese liefern nebst der Temperatur-Tiefenkurve $T(z)$ auch den Gradientenlog $\nabla T(z)$; letzterer gibt wichtige Hinweise auf eventuelle hydrologische Störeffekte wie z. B. Wassereintritte in der gemessenen Strecke. Figur 1 zeigt das Beispiel eines kontinuierlichen Temperaturlogs, gemessen in der Tiefbohrung Ruppoldsried BE.

Grösstenteils sind jedoch Erdölbohrungen in die Datenkompilation einbezogen worden, welche vor einigen Jahren abgeteuft und wieder verfüllt wurden. Daten aus Tiefbohrungen stehen fast ausschliesslich aus dem Gebiet des nördlichen Alpenvorlandes zur Verfügung; deshalb wurde das Schwergewicht der Arbeiten auf dieses Gebiet gelegt, was sich auch wegen der eingangs erwähnten Zielsetzungen angesichts der grossen Bevölkerungsdichte im Mittelland aufdrängt.

Die Datenerfassung und -interpretation wurde auch auf Tiefbohrungen im französischen und deutschen Grenzgebiet ausgedehnt. Gegenwärtig stehen Daten aus insgesamt 52 Tiefbohrungen zur Verfügung (davon 32 aus der Schweiz), bei einer mittleren Bohrtiefe von 1450 m. Die Datensammlung wird ständig nachgeführt.

Aus Erdölbohrungen stehen in der Regel nur punktuelle Temperaturdaten zur Verfügung (im Laufe der Bohrarbeiten in verschiedenen Tiefen an der jeweiligen Bohrlochsohle gemessene, sogenannte *BHT*-Werte; *B*ottom *H*ole *T*emperature). Sie sind in der Regel von Effekten des Bohrvorgangs (z. B. Zirkulation der Bohrspülung) mehr oder weniger stark gestört und bedürfen einer entsprechenden *Korrektur.*

Ein Beispiel für die Ermittlung der ungestörten Formationstemperaturen (durch Korrektur der *BHT*-Werte) ist im nachfolgenden gegeben (Tiefbohrung Treycova-

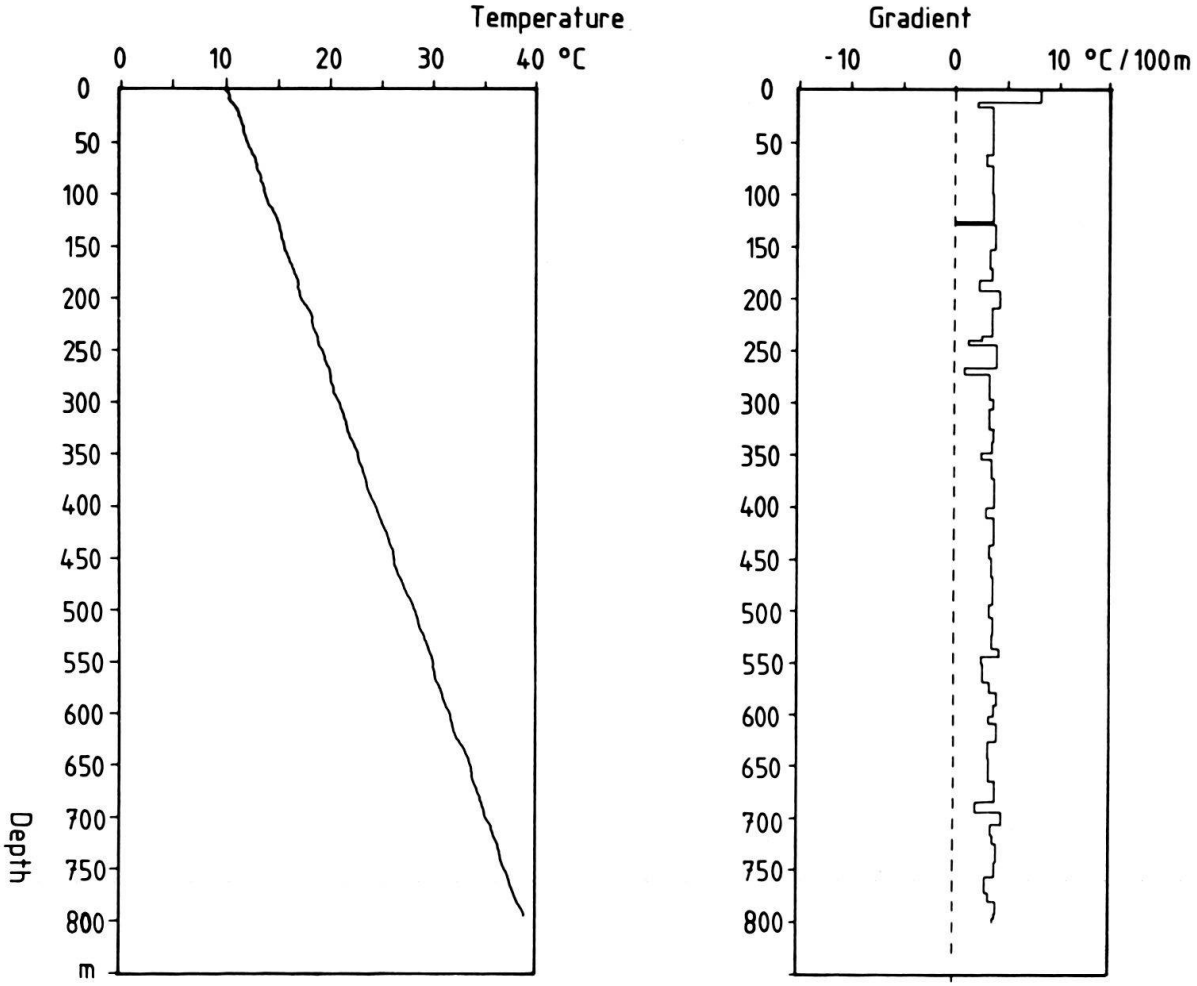

Fig. 1. Beispiel einer kontinuierlichen Temperaturmessung (Bohrung Ruppoldsried BE, Temperaturlog nach 12 Wochen Stillstandszeit aufgenommen). Die gleichmässige Zunahme der Temperatur mit der Tiefe (links) schliesst hydrologische Störeffekte aus. Der mehr oder weniger konstante Temperaturgradient (rechts) spricht für konstante Wärmeleitfähigkeit der durchbohrten Gesteine.

Example of a continuous temperature log (drillhole Ruppoldsried BE; logging performed after 12 weeks of equilibration time). The regular increase of temperature with depth (left) implies that convective disturbances are absent. The more or less constant temperature gradient (right) suggests constant thermal conductivity.

gnes VD). Für die Korrektur standen Temperaturwerte zur Verfügung, welche anlässlich verschiedener Schlumberger-Sondenfahrten an der jeweiligen Bohrlochsohle gemessen wurden, sowie weitere, für die Korrektur notwendige Daten wie Dauer der Spülungszirkulation, Stillstandszeiten usw. Die Korrektur wurde nach der Methode von LACHENBRUCH & BREWER (1959) durchgeführt. Die Resultate sind in Tabelle 1 und in den Figuren 2 und 3 gegeben. Die Korrekturen sind grösstenteils beträchtlich.

3. Besonderheiten der Temperatur-Tiefenkurven im nördlichen Alpenvorland

Die kontinuierlich gemessene Temperatur-Tiefenkurve der Bohrung Ruppoldsried BE (Fig. 1) zeigt einen auffallend geradlinigen Verlauf. Ähnliche Verhältnisse

wurden auch bei anderen Bohrungen angetroffen: Tschugg BE, Treycovagnes VD (nach Korrektur, vgl. Fig. 3), Essertines VD (hier standen Temperaturmessungen anlässlich von Formationstests zur Verfügung, welche, nach hinreichend langer Beruhigungszeit gewonnen, die ungestörte Formationstemperatur recht genau wiedergeben).

Der bemerkenswert geradlinige Verlauf der $T(z)$-Kurven deutet darauf hin, dass der geothermische Gradient innerhalb des durch die Bohrung erfassten Tiefenbereichs jeweils recht konstant ist. Dieses Verhalten wurde sowohl bei Bohrungen festgestellt, welche mehrheitlich Molassegesteine durchteufen, als auch bei Bohrungen durch mesozoische Gesteine. Detaillierte Messungen der Wärmeleitfähigkeit an Gesteinsproben aus Molasse und Mesozoikum liegen zwar erst punktuell vor; der über weite Strecken konstante Temperaturgradient (vgl. auch die $T(z)$-Werte von Essertines in Fig. 4) scheint jedoch darauf hinzudeuten, dass die erwähnten Gesteine im Mittel recht konstante Wärmeleitfähigkeitswerte aufweisen. Eine signifikante Zunahme der Wärmeleitfähigkeit mit der Tiefe, welche in Sedimentgesteinen wiederholt beobachtet wurde (siehe z. B. WERNER & FUCHS 1977; BALLING 1979), ist deshalb in den Molassegesteinen des Mittellandes sowie im darunterliegenden Mesozoikum nicht zu erwarten.

Die erwähnte Geradlinigkeit der $T(z)$-Kurven tritt jedoch erst unterhalb von etwa 400 m Tiefe auf. Dies kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden (Oberflächeneinflüsse, hydrologische Störungen wie konvektiver Wärmetransport durch Wasserzirkulation, Tiefenabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit). Offenbar ist aber dieser Befund für das Gebiet des nördlichen Alpenvorlandes charakteristisch. Möglicherweise wird der Kurvenverlauf in grösseren Tiefen eine leichte Krümmung

Tabelle 1: *Ausgangsdaten für die Bestimmung der ungestörten Formationstemperatur (Korrektur des Spülungszirkulations-Effektes). Bohrung Treycovagnes 1 VD, BHT-Werte gemessen in 2395 m Tiefe.*

Schlumberger-Sonde	Gemessene Temperatur (BHT) (°C)	Stillstands-zeit DT (min)	Zirkulations-zeit TK (min)	$\frac{TK + DT}{DT}$
SP / ISFL	76.0	600.	1055.	2.76
BHC / CNL	79.0	820	1055.	2.29
CALIPER	84.0	1125.	1055.	1.94
CST	85.0	1330.	1055.	1.79

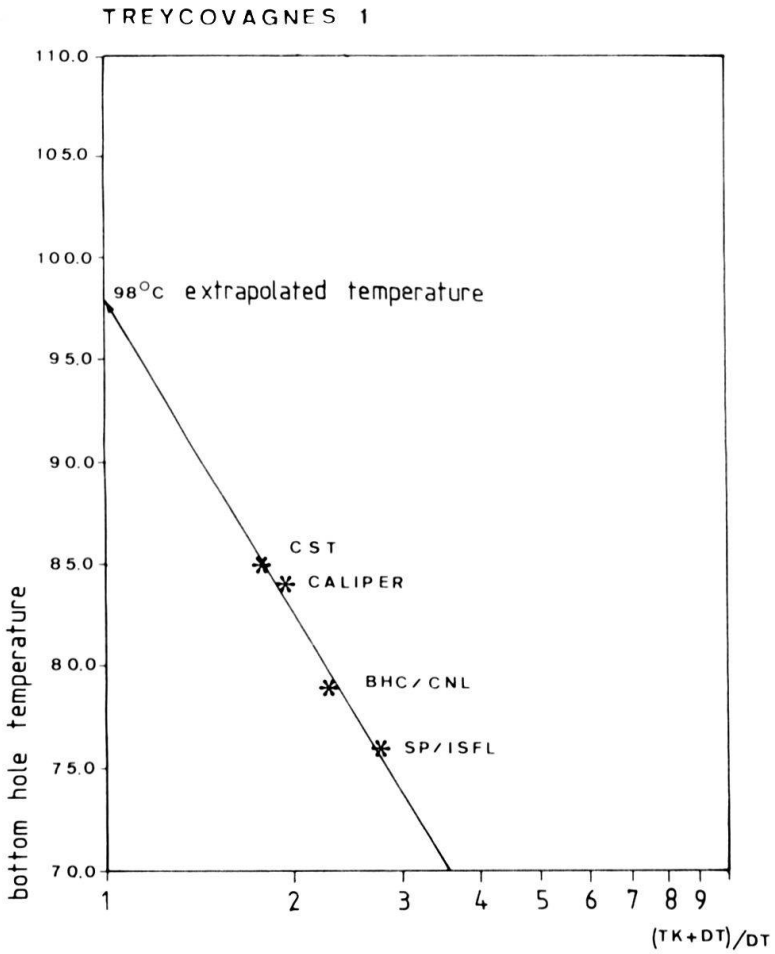

Fig. 2. Bestimmung der Formationstemperatur durch Korrektur des Spülungszirkulations-Effektes. Sterne: *BHT*-Werte (°C), gemessen anlässlich verschiedener Schlumberger-Messfahrten auf der 2395-m-Sohle (Daten aus Tab. 1). Extrapolation der Ausgleichsgeraden auf $(TK+DT)/DT=1$ ergibt die ungestörte Formationstemperatur.

Correction of Bottom Hole Temperature (BHT) for effects of drilling mud circulation. Data from Table 1. Stars: BHT values measured (maximum thermometer readings in °C) with different Schlumberger tools at 2395 m depth. Extrapolation of the best fit line to $(TK+DT)/DT=1$ yields undisturbed formation temperature.

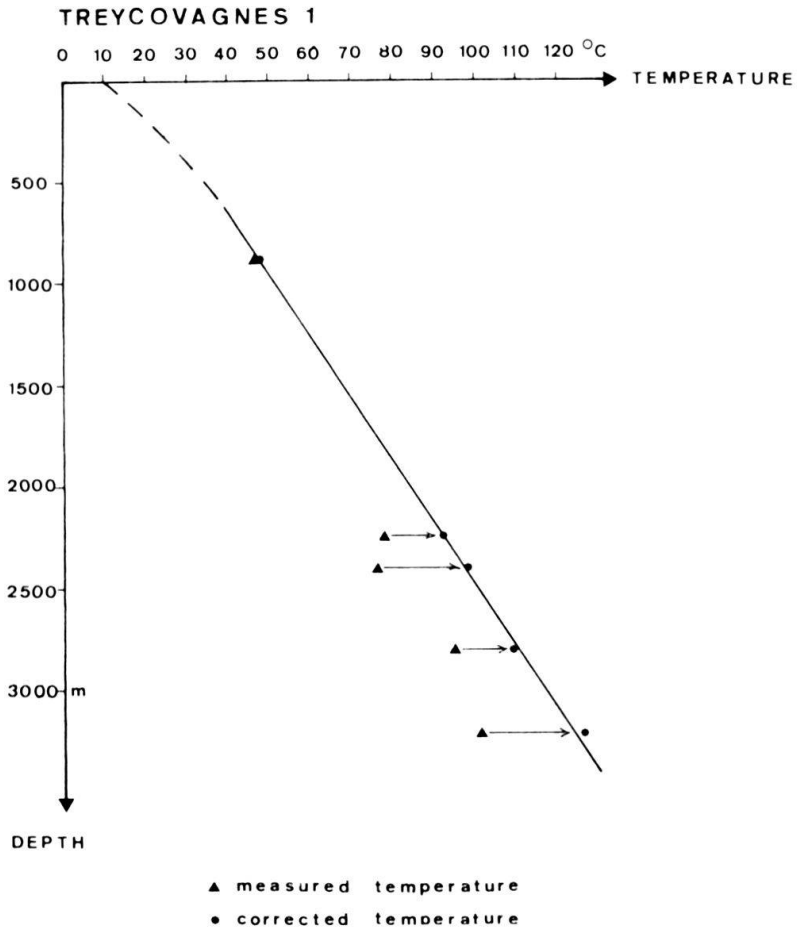

Fig. 3. Beträchtliche Korrekturen (Spülungszirkulations-Effekt) waren notwendig für die Bohrung Treycovagnes 1 VD. Oberflächentemperatur ~10 °C.

Substantial corrections had to be applied to the BHT data of the Treycovagnes 1 VD drillhole. Surface temperature ~10 °C.

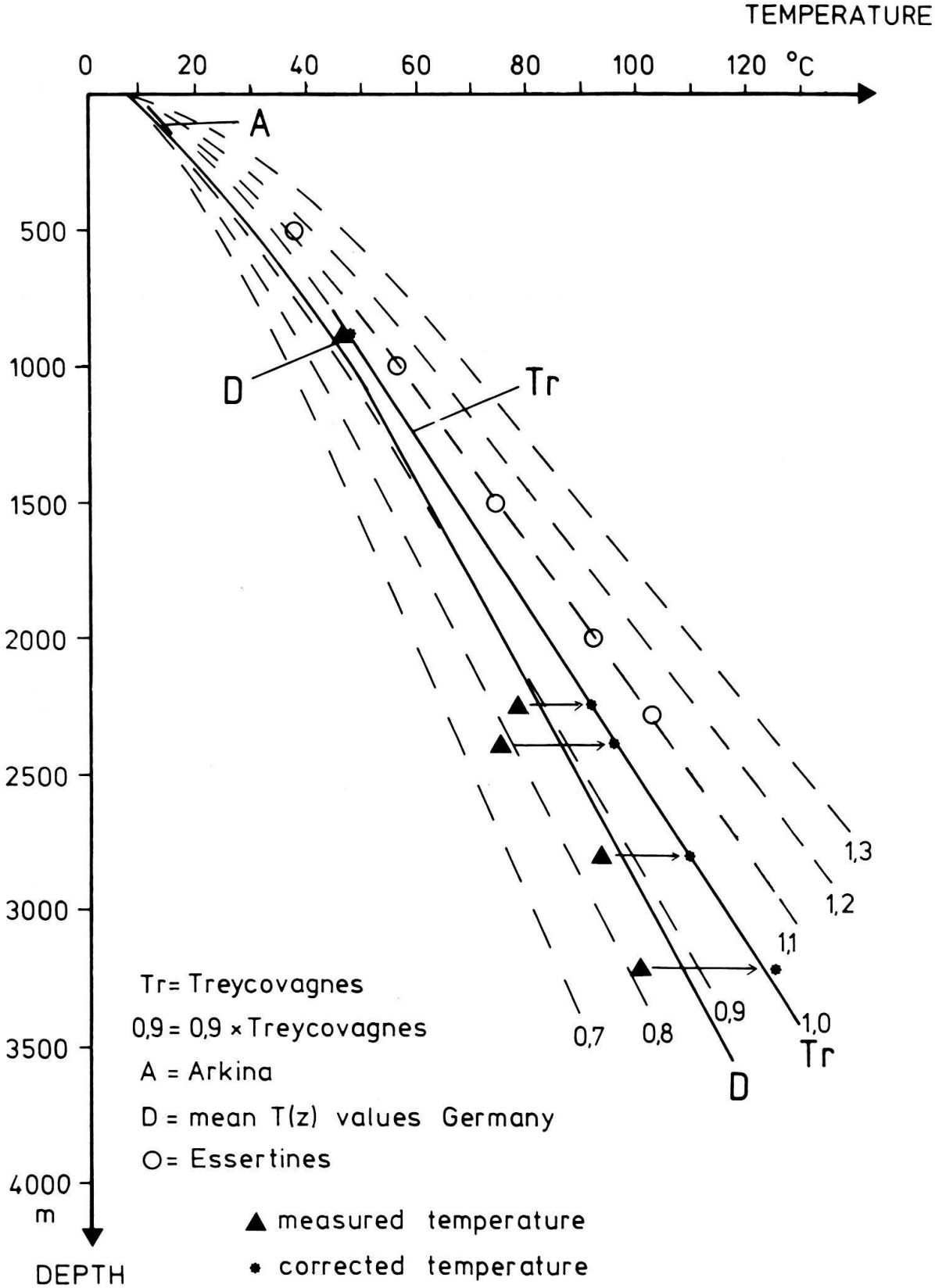

Fig. 4. Kurvenschar zur Ergänzung lückenhafter Daten (Details siehe Text). Arkina: Messungen in der Bohrung Arkina VD.

Master curves for temperature extrapolations (see text). Arkina: measurements performed in the hole Arkina VD.

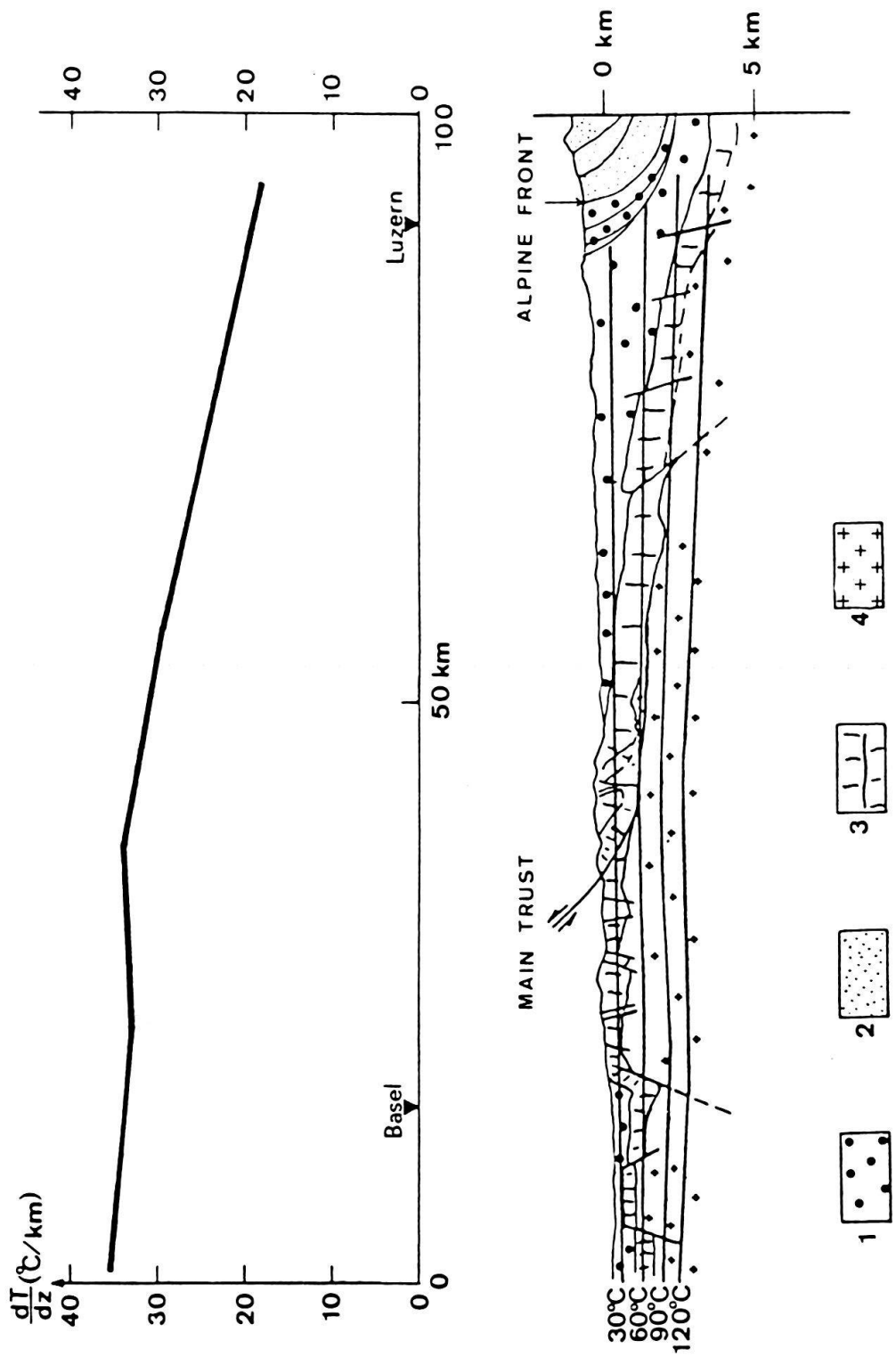

Fig. 5. Verlauf der Isothermen und des geothermischen Gradienten im Profil Basel-Luzern. *1* = Tertiäre Sedimente (Molassebecken, Rheingraben), *2* = Helvetikum, *3* = mesozoische Sedimente, *4* = Grundgebirge (Kristallin).

Isotherms and geothermal gradient in the section Basel-Luzern. 1 = Tertiary sediments (Molasse basin, Rhinegraben), 2 = Helvetic nappes, 3 = Mesozoic formations, 4 = crystalline basement.

aufweisen (Abnahme des Temperaturgradienten mit der Tiefe), wie dies z.B. in Deutschland beobachtet wurde (HAENEL 1977); Beobachtungen in entsprechenden Tiefen liegen aus der Schweiz jedoch nicht vor.

Der konstante Temperaturgradient unterhalb etwa 400 m deutet darauf hin, dass unterhalb dieser Tiefe schwerwiegende hydrologische Effekte ausgeschlossen werden können. Für die Ergänzung von lückenhaften Temperaturdaten in weiteren Bohrungen aus dem Molassebecken wurde eine Kurvenschar konstruiert (Fig. 4), mit konstanten Faktoren (0,7–1,3) um die $T(z)$-Kurve der Bohrung Treycovagnes herum. Damit kann aus 1–2 Temperaturwerten der dazugehörige geothermische Gradient abgeschätzt werden (vgl. STEGENA 1976).

4. Das Temperaturfeld und der Verlauf des geothermischen Gradienten zwischen Basel und Luzern

Aufgrund der zur Verfügung stehenden geothermischen Daten im Bereich der Schweizer Geotraverse Basel–Chiasso wurden die 30 °C-, 60 °C-, 90 °C- und 120 °C-Isothermen konstruiert (Fig. 5). Obwohl Figur 5 vertikal überhöht ist, zeigt der Verlauf der Isothermen nur ein schwaches Abfallen und Auseinanderrücken gegen den Alpenrand (Fig. 5, unten).

Deutlicher werden die Verhältnisse, wenn man aus den Isothermen den geothermischen Gradienten berechnet und die Werte entlang dem Profil Basel–Luzern aufträgt (Fig. 5, oben). Demnach ist das Temperaturfeld im Bereich der Geotraverse gekennzeichnet durch eine generelle Abnahme des geothermischen Gradienten von etwa 35 °C/km in der Region Basel auf etwa 20 °C/km in der Gegend von Luzern. Ein kleines Zwischenmaximum scheint in der Nähe der Tafeljura/Faltenjura-Hauptüberschiebung vorzuliegen; dies steht möglicherweise mit aufwärtsmigrierendem Warmwasser in Zusammenhang. Jedenfalls findet man in unmittelbarer Nähe der Hauptüberschiebung zahlreiche Quellen mit erhöhten Temperaturen.

Bezüglich des obenerwähnten Verlaufs des geothermischen Gradienten kann, solange noch keine Wärmeflusswerte vorliegen, nur eine vorläufige *Interpretation* gegeben werden. Es ist durchaus denkbar, dass die Abnahme des Gradienten gegen den Alpenrand bedingt ist durch eine entsprechende Wärmeflussabnahme in dieser Richtung; schlüssig kann diese Frage jedoch erst beantwortet werden, wenn ausreichende Information über die Wärmeleitfähigkeitsverteilung der Gesteine im nördlichen Alpenvorland vorliegt (ein entsprechendes Vorhaben, die Erstellung eines Wärmeleitfähigkeitskatalogs schweizerischer Gesteine, wurde im Rahmen des Arbeitsprogramms der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission kürzlich in Angriff genommen). Sicherlich beeinflusst die positive geothermische Anomalie des Oberrheingrabens (siehe z.B. WERNER et al. 1978) in der Region von Basel den Verlauf des geothermischen Gradienten ebenfalls. Schliesslich ist es möglich, dass die Topographie der Oberfläche des kristallinen Grundgebirges (im dargestellten Abschnitt der Geotraverse in Figur 5 gekennzeichnet durch ein generelles, flaches Abtauchen gegen Südosten) den Verlauf der Isothermen und damit auch denjenigen des geothermischen Gradienten beeinflusst (Näheres hierüber siehe in RYBACH et al. 1980). Sehr wahrscheinlich spielen alle drei erwähnten Faktoren eine Rolle, ihr

Einfluss auf die geothermischen Verhältnisse lässt sich beim gegenwärtigen Kenntnisstand jedoch noch nicht näher spezifizieren.

5. Die paläogeothermischen Verhältnisse

Der Diagenesegrad eines Gesteins samt seinen kohligen Gemengteilen erlaubt Rückschlüsse auf die geothermische Beanspruchung, welcher das Gestein im Laufe seiner Geschichte ausgesetzt war. Die Bestimmung des Inkohlungsgrades von kohligen Bestandteilen der Molasse-Sedimente ergibt deshalb Hinweise auf die zeitliche Entwicklung der geothermischen Verhältnisse im nördlichen Alpenvorland.

Der Inkohlungsgrad wird durch Messung der Vitrinit-Reflexion bei einer Wellenlänge von 546 nm mittels Photometermikroskops (in Ölimmersion) be-

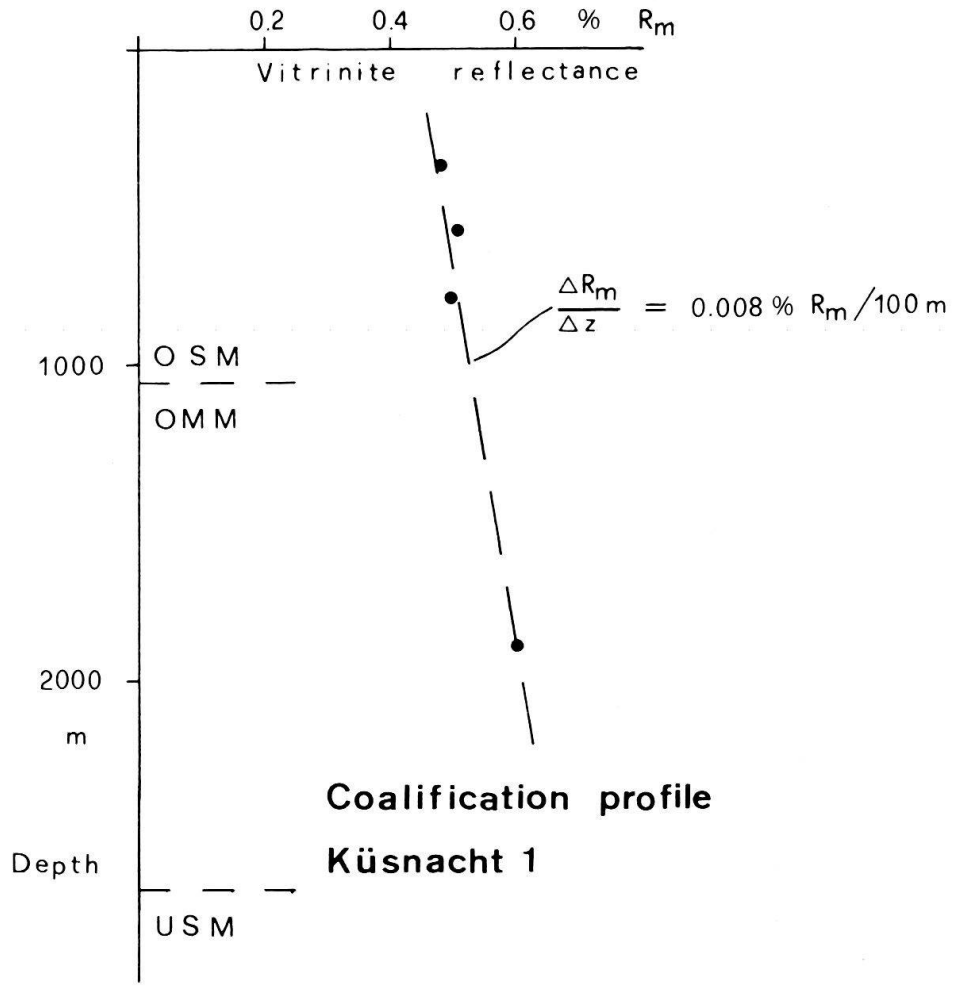

Fig. 6. Das Inkohlungsprofil der Bohrung Küsnacht 1 ZH ist charakterisiert durch niedrige Inkohlungswerte (<0,6% R_m) sowie durch ebenfalls niedrigen Inkohlungsgradienten. *USM* = Untere Süsswassermolasse, *OMM* = Obere Meeresmolasse, *OSM* = Obere Süsswassermolasse.

The coalification profile of the drillhole Küsnacht 1 ZH displays low coalification (vitrinite reflectance <0.6% R_m) and only a slight increase of coalification with depth. USM = Lower Freshwater Molasse (Upper Oligocene and Lower Miocene), OMM = Upper Marine Molasse (late Lower Miocene), OSM = Upper Freshwater Molasse (Middle and early Upper Miocene).

stimmt. Die Messungen wurden von Frau Dr. M. Teichmüller (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, BRD) ausgeführt. Für den Grad der Inkohlung ist der R_m-Wert in Prozenten (mittlere Vitrinit-Reflexion, berechnet aus 50 Einzelmessungen) massgebend. Erste, orientierende Bestimmungen wurden im Rahmen eines Arbeitsauftrags des Bundesamts für Energiewirtschaft an einer Anzahl von Molassegesteinen (Spülproben und Bohrkerne aus schweizerischen Erdölbohrungen) durchgeführt.

Die Resultate fügen sich recht gut in das bislang bekannte Bild der Inkohlungsverhältnisse im Molassebecken Süddeutschlands (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER 1975; JACOB & KUCKELKORN 1977). Zunächst ist der allgemein niedrige Grad der Inkohlung festzuhalten: 0,4–0,6% R_m für alle untersuchten Proben aus den Bohrungen Küsnacht 1, Hünenberg 1 und Pfaffnau Süd 1. Dieser Inkohlungsbereich entspricht dem «Matt-Glanzbraunkohle-Stadium» (nach TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER 1977) in den betrachteten Molasse-Sedimenten (Obere Süsswassermolasse [OSM] - Obere Meeresmolasse [OMM] - Untere Süsswassermolasse [USM], vgl. Fig. 6). Ähnliche Inkohlungswerte wurden aus den Bohrungen Anzing 3 und Miesbach 1 aus der Deutschen Vorlandmolasse beschrieben (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER 1975; JACOB & KUCKELKORN 1977; Lage der erwähnten Bohrungen siehe in Figur 7). Auch aus der ungefalteten Molasse (Untere Süsswassermolasse) im Genfersee-Querschnitt werden von Oberflächenproben ähnlich niedrige R_m-Werte erwähnt (0,37 ± 0,08%; KÜBLER et al. 1979).

Aufschlussreich ist auch der Verlauf des Inkohlungsgrades mit der Tiefe (Inkohlungsgradient $\Delta R_m/\Delta z$; meist in % R_m pro 100 m angegeben). In den Bohrungen Küsnacht 1 (Fig. 6) und Hünenberg 1 wurden die Werte 0,008% R_m/100 m bzw.

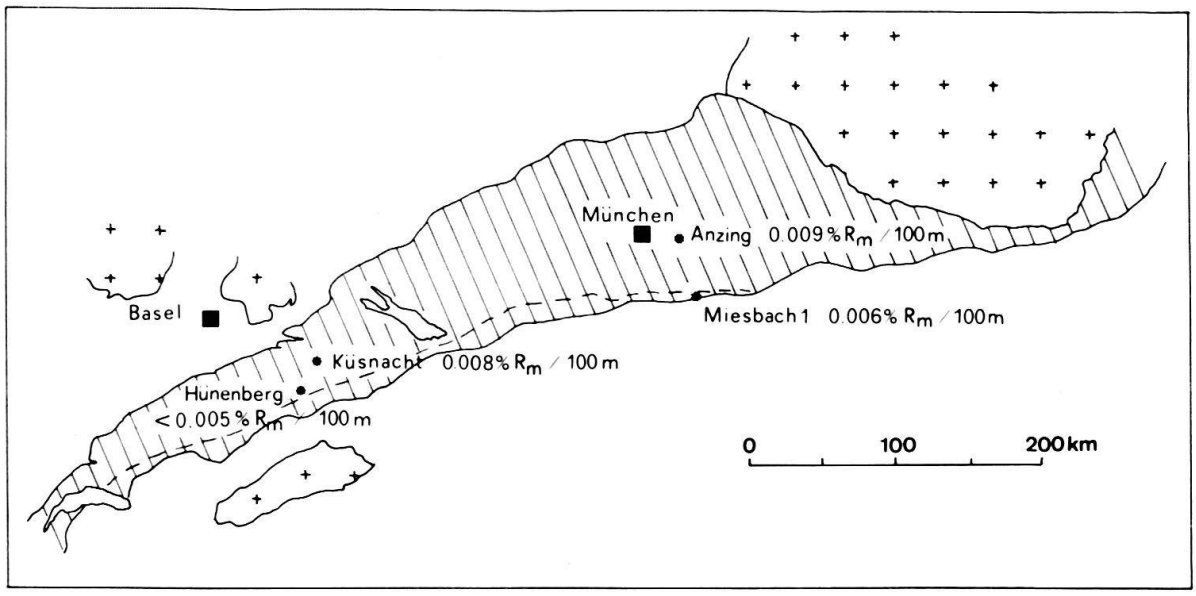

Fig. 7. Niedrige Inkohlungsgradienten herrschen vor in der Molasse des nördlichen Alpenvorlandes. Daten aus Tabelle 2. Gestrichelte Linie: Grenze autochthone/allochthone Molasse.

The Molasse basin in the northern foreland of the Alps is characterized by low coalification gradients which appear to decrease towards the Alps. Dashed line: limit of autochthonous/allochthonous Molasse. Further data of the drillholes (stars) see in Table 2.

Tabelle 2: *Aktuogradient und Inkohlungsgradient im nördlichen Alpenvorland (Molassebecken). Lage der Bohrungen siehe Figur 7.*

Bohrung	Untersuchter Tiefenbereich (m)	Aktuogradient ∇T (°C/km)	Inkohlungsgradient $\Delta R_m / \Delta z$ (% R_m /100m)
Anzing 3	0 - 2630	22.8 **	0.009 *
Miesbach 1	0 - 5738	23.5 **	0.006 **
Kuesnacht 1	365 - 1885	26.8	0.008
Huenenberg 1	430 - 1580	22.7	< 0.005

*) Daten aus TEICHMUELLER & TEICHMUELLER (1975)

**) Daten aus JACOB & KUCKELKORN (1977)

$<0{,}005\%$ $R_m/100$ m gefunden. Leider reicht die Datendichte für eine Bestimmung des geothermischen Paläogradienten nach der Methode von BUNTEBARTH (1978, 1979) nicht aus. Nimmt man jedoch in erster Näherung eine ähnliche Versenkungsgeschichte der betrachteten Molasse-Sedimente in den Bohrungen Küsnacht 1 und Anzing 1 an, so ergibt sich auch für Küsnacht 1 ein recht niedriger Paläogradient (etwa 20-25 °C/km, vgl. BUNTEBARTH 1979).

Auch ein Vergleich mit den Aktuogradienten (= geothermischer Gradient heute) ist aufschlussreich (Tab. 2). Bei niedrigen Aktuogradienten scheint der Inkohlungsgradient gegen den Alpenrand hin abzunehmen, sowohl in der Deutschen als auch in der Schweizer Vorlandmolasse (Fig. 7).

Die vorliegenden, wenn auch noch lückenhaften Resultate sprechen für ein durchwegs niedrigtemperiertes paläogeothermisches Regime im Schweizer Molassebecken seit der Ablagerung der Sedimente; das paläogeothermische Bild entspricht in grossen Zügen den heutigen geothermischen Verhältnissen (vgl. auch TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER 1975). Weitere Inkohlungsuntersuchungen wären einerseits an Molassegesteinen (Erfassung möglicher lateraler Unterschiede entlang der Achse des Molassebeckens sowie in einem Profil quer zu den Alpen hin) sowie an mesozoischen Gesteinen bestimmt aufschlussreich.

6. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die geothermischen Verhältnisse des nördlichen Alpenvorlandes im Bereich der Geotraverse durch regelmässig verlaufende Temperatur-Tiefenkurven (recht konstanter geothermischer Gradient im Tiefenabschnitt 400-3000 m) gekennzeichnet sind. Das Temperaturfeld im Ab-

schnitt Basel-Luzern ist geprägt durch ein generelles Abtauchen der Isothermen gegen die Alpen, bei einer Abnahme des geothermischen Gradienten von etwa 35 °C/km (bei Basel) auf etwa 20 °C/km (bei Luzern). Die Inkohlungsdaten sprechen für ein durchwegs niedrigtemperiertes geothermisches Regime im Schweizer Molassebecken seit der Ablagerung der Sedimente.

Verdankungen

Wir danken dem Konsortium Untertagespeicher und Herrn Dr. L. Hauber (Basel) für die Ermöglichung unserer Temperaturmessungen in den Tiefbohrungen Ruppoldsried BE und Tschugg BE. An der Bestimmung der Formationstemperaturen in der Erdölbohrung Treycovagnes VD war Herr H.R. Krüsi (Zürich) massgebend beteiligt; die dafür notwendigen Daten wurden auf verdankenswerte Weise von Herrn J.-P. de Loriol, Exploration Manager (Shell Département Exploration), vermittelt, wofür auch insbesondere der Jura Vaudois Pétrole SA (Shell und Swisspetrol) Dank gebührt. Ferner danken wir Frau Dr. M. Teichmüller (Krefeld, BRD) für die Durchführung der Inkohlungsbestimmungen sowie Herrn Dr. U.P. Büchi für die Bereitstellung geeigneter Proben.

LITERATURVERZEICHNIS

BALLING, N. (1979): *Subsurface temperatures and heat flow estimates in Denmark.* In: ČERMÁK, V., & RYBACH, L. (Ed.): *Terrestrial Heat Flow in Europe* (p. 161-171). - Springer, Heidelberg.

BUNTEBARTH, G. (1978): *The degree of metamorphism of organic matter in sedimentary rocks as a paleogeothermometer, applied to the Upper Rhine Graben.* - Pure and appl. Geophys. *117*, 83-91.

— (1979): *Eine empirische Methode zur Berechnung von paläogeothermischen Gradienten aus dem Inkohlungsgrad organischer Einlagerungen in Sedimentgesteinen mit Anwendung auf den mittleren Oberrhein-Graben.* - Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal. *27*, 97-108.

HAENEL, R. (1977): *Betrachtungen zum Temperaturfeld im Oberrheingraben.* - Ber. Nr. 78941, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

JACOB, H., & KUCKELKORN, K. (1977): *Das Inkohlungsprofil der Bohrung Miesbach 1 und seine erdölgeologische Interpretation.* - Erdöl-Erdgas-Z. *93*, 115-124.

KRÜSI, H.R., BODMER, PH., & RYBACH, L. (1978): *Sammlung, Kompilation und Interpretation geothermischer Daten in der Schweiz; Schlussbericht.* - Eidg. Amt für Energiewirtschaft, Bern (unveröffentlicht).

KÜBLER, B., PITTION, J.-L., HEROUX, Y., CHAROLLAIS, J., & WEIDMANN, M. (1979): *Sur le pouvoir réflecteur de la vitrinite dans quelques roches du Jura, de la Molasse et des Nappes préalpes, helvétiques et penniques (Suisse occidentale et Haute-Savoie).* - Eclogae geol. Helv. *72*, 347-373.

LACHENBRUCH, A.H., & BREWER, M.C. (1959): *Dissipation of the temperature effect in drilling a well in Arctic Alaska.* - Bull. U.S. geol. Surv. *1083-C*, 73-109.

RYBACH, L., HÄNNY, J., & WERNER, W. (1979): *Possibilités et limites de l'utilisation de l'énergie géothermique en Suisse.* - Rev. tech. Sulzer *4*, 141-150.

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.

STEGENA, L. (1976): *The variation of temperature with depth in the Pannonian Basin.* In: ÁDÁM, A. (Ed.): *Geoelectric and Geothermal Studies* (p. 425-438). - Akadémiai Kiadó, Budapest.

TEICHMÜLLER, M., & TEICHMÜLLER, R. (1975): *Inkohlungsuntersuchungen in der Molasse des Alpenvorlandes.* - Geologica bavar. *73*, 123-142.

— (1977): *Coalification studies in the Alps.* In: CLOSS, H., ROEDER, D., & SCHMIDT, K. (Ed.): *Alps, Apennines, Hellenides* (p. 49-55). - Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

WERNER, D., & FUCHS, K. (1977): *Exploration and interpretation of the geothermal anomaly in the Rhine Graben.* In: *Seminar on Geothermal Energy* (Vol. I, p. 189-206). - Comm. Europ. Communities, Bruxelles.

WERNER, D., FUCHS, K., PARINI, M., SATTEL, G., SCHROTH, G., & DOEBL, F. (1978): *Exploration and interpretation of the strongly anomalous temperature field underneath the Rhine graben.* - Publ. Europ. Communities, Bruxelles.