

## Temperaturmessungen in Erdölbohrungen der Molassezone Oberösterreichs \*\*)

Von BRUNO KUNZ \*)

Mit 7 Abbildungen, 1 Tabelle und 1 Tafel

### Inhalt

#### Zusammenfassung — Summary

1. Einleitung
2. Elektrische Bohrlochmessungen
3. Druckmessungen in Ölsonden
4. Vertikaler Temperaturverlauf
5. Die Gasfelder
6. Der Westteil Oberösterreichs
7. Die laterale Temperaturverteilung in 1000 m Tiefe
8. Literatur

### Zusammenfassung

Bei den Druckmessungen in produzierenden Erdölsonden wird die wahre Gebirgstemperatur der Lagerstätte gemessen. Bei den elektrischen Bohrlochmessungen wird die Temperatur der Spülung auf der Sohle des Bohrloches gemessen, welche niedriger ist als die Gebirgstemperatur. Der Unterschied zwischen beiden beträgt im 2100 m tiefen Ölfeld Voitsdorf durchschnittlich 18° C. Im 1000 m-Bereich ist die Differenz ca. 12—14° C. Eine Ausnahme stellt das Ölfeld Ried dar, wo die Differenz beträchtlich größer ist. Ein anderes Verhalten zeigen die Gasfelder. Bei diesen werden auch bei den Druckmessungen zu niedrige Temperaturen gemessen. Im Ostteil des Untersuchungsgebietes konnte eine einheitliche Temperaturabhängigkeit von der Tiefe festgestellt werden. Im Westteil treten verschiedene Abweichungen von dieser Regel auf. Eine besonders markante Anomalie höherer Temperatur zeigte sich bei der Tiefbohrung Geinberg 1 in der NW-Ecke des Untersuchungsgebietes. Die Isothermenkarte für 1000 m Tiefe zeigt eine durch das ganze Gebiet Ost—West streichende Mulde tiefster Temperaturen, welche mit einer größeren Wärmeleitfähigkeit der Sedimente im Vergleich zu der des Kristallins und der des Flysches erklärt wird.

### Summary

The pressure surveys in producing oil wells establish the true formation temperature of the reservoir. The electrical well logs measure the temperature of the drilling fluid on the bottom of the borehole, which is lower than the formation temperature. The difference between the two is on an average 18° C in the 2,100 m deep Voitsdorf oil field. In the 1,000 m range, the

\*) Anschrift des Verfassers: Titl. ao. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Bruno Kunz, Institut für Geophysik der Technischen Universität Wien, Gußhausstr. 27—29, A-1040 Wien.

\*\*) Gekürzte Fassung eines Vortrages, gehalten in der Geologischen Gesellschaft in Wien am 26. März 1976.

difference is abt. 12—14° C. An exception is the Ried oil field where the difference is considerably greater. The gas fields show a different behaviour. There, also the pressure surveys record temperature that are too low. In the eastern part of the area investigated, the temperature was found to depend on the depth throughout. The western part indicated various deviations from this rule. A particularly distinct anomaly of higher temperature was observed in the deep well Geinberg 1 in the NW corner of the area investigated. The isothermal chart for a depth of 1,000 m shows a trough of minimum temperatures, which strikes from east to west throughout the area, and which is explained by a greater thermal conductivity of the sediments as compared with the one of the Crystalline and of the Flysch.

## 1. Einleitung

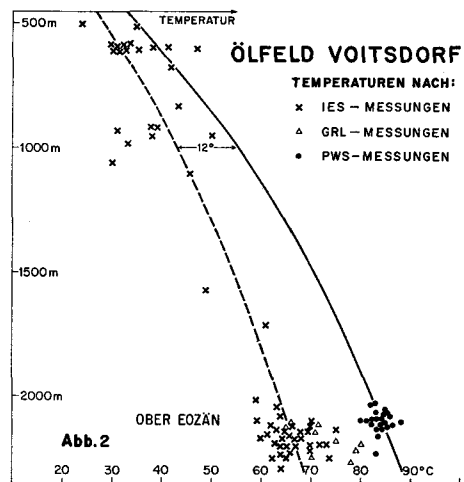
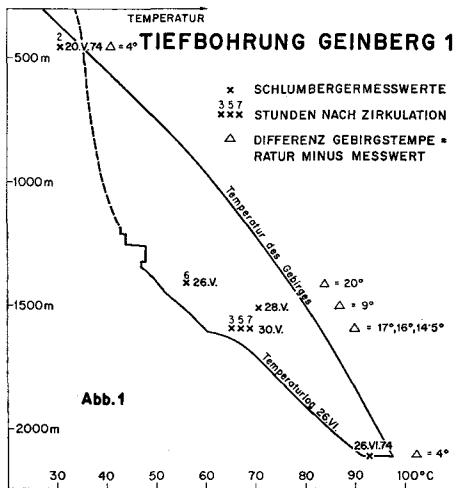
Die Rohöl-Aufsuchungs Gesellschaft m.b.H. (RAG) hat in den letzten 20 Jahren an die 250 Tiefbohrungen in Oberösterreich niedergebracht, in denen die üblichen elektrischen Bohrlochmessungen durchgeführt worden sind. Die hiezu verwendeten Meßsonden der Fa. Schlumberger Meßverfahren sind mit einem Maximumthermometer ausgestattet, von welchem nach durchgeführter Messung die höchste Temperatur abgelesen wird, die im Bohrloch angetroffen wurde. Diese am Kopf der Diagramme festgehaltenen Temperaturdaten wurden in einer Studie verwertet, welche im Auftrage der RAG über die geothermischen Verhältnisse der Molassezone Oberösterreichs angefertigt wurde und deren wesentliche Ergebnisse hiemit der Öffentlichkeit vorgelegt werden. Lediglich von zwei Tiefbohrungen (Geinberg 1 und Maria Schmolln 1) liegt auch das Ergebnis eines Temperaturlogs vor.

## 2. Elektrische Bohrlochmessungen

Da die Temperatur der Erde mit der Tiefe zunimmt, kann man annehmen, daß die abgelesene Maximaltemperatur diejenige ist, welche auf der Bohrlochsohle angetroffen wurde. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Meßsonde allseits von Bohrspülung umgeben ist, so daß das Thermometer weder direkt noch indirekt mit dem Gebirge in Berührung kommt. Gemessen wird also die Temperatur der Spülung, welche während des Bohrvorganges auf weite Strecken von der Temperatur des Gebirges abweicht. So lange die Spülung zirkuliert, ist ihre Temperatur im oberen Teil des Bohrloches höher, im unteren Teil niedriger als die Gebirgstemperatur.

Vor Beginn einer Bohrlochmessung muß das Bohrgestänge aus dem Bohrloch gezogen werden, und damit wird die Spülungszirkulation stillgelegt. Von diesem Moment an beginnt sich ein Temperatúrausgleich zwischen Spülung und Gebirgsformation anzubahnen, so daß die Temperaturdifferenz um so kleiner wird, je länger der Stillstand des Spülungsumlaufes gedauert hat. Verschiedene Autoren haben versucht, eine Beziehung zwischen Bohrlochtiefe, Dauer des Spülungsstillstandes und Temperaturdifferenz herzustellen, um die Gebirgstemperatur auf Sohle aus der gemessenen Maximaltemperatur mathematisch oder graphisch berechnen zu können (z. B. EDWARDSON et al., 1962; HEDEMAN, 1967). Keines dieser Korrekturverfahren erwies sich zur Aufbereitung der vorliegenden Meßdaten geeignet, und zwar deshalb, weil von der überwiegenden Mehrzahl der Messungen keine Angaben über die Dauer des Spülungsstillstandes vorliegen. In den wenigen Fällen, wo sie verzeichnet sind, ist die Streuung der Meßwerte so groß, daß mit einer rechnerischen Bearbeitung kein brauchbares Ergebnis zu erzielen war.

Ein Beispiel für die Unzulänglichkeit der Temperaturdaten aus Bohrlochmessungen sind die Ergebnisse der Tiefbohrung Geinberg 1 (Abb. 1). Die Temperaturdifferenz schwankt hier zwischen 4° C (Tiefe der Sohle bei 451 m und bei 2106 m Tiefe) und 20° C (Sohle in 1416 m Tiefe). Es ist keine eindeutige Beziehung zur Bohrlochtiefe oder zur Dauer des Spülungsstillstandes zu erkennen. Vermutlich spielt die Permeabilität der Gebirgsformation auf Sohle eine entscheidende Rolle. Bei guter Durchlässigkeit dürften größere Mengen Spülungs-Filtrat in die Formation eindringen, wodurch die Temperatur in der Umgebung des Bohrloches weitgehend und für längere Zeit herabgesetzt wird. Dazu kommt noch die abschirmende Wirkung des Filterkuchens. Die Folge ist eine große Temperaturerniedrigung. Bei schlechter Permeabilität dagegen dürfte sich die ursprüngliche Temperatur schneller wieder herstellen, so daß nur eine geringe Temperaturdifferenz bei der Messung auftritt. Im Falle Geinberg dürfte die recht gute Messung in 2106 m Tiefe auf heißes Thermalwasser zurückzuführen sein, das unter Überdruck stehend einen Teil der Spülung von der Sohle verdrängt hat.



### 3. Druckmessungen in Ölsonden

Zur Beurteilung einer Lagerstätte werden in den Produktionssonden fallweise Fließ- und Schließ-Druckmessungen durchgeführt. Sie haben für unsere Zwecke den Vorteil, daß dabei nicht die Temperatur einer umgelaufenen Spülung, sondern die des Öles gemessen wird, das nur in einer Richtung von unten nach oben fließt bzw. geflossen ist. Das Öl hat beim Eintritt in die Förderrohre die Temperatur der Formation, aus welcher das Öl zufließt. Da aber eine Ölförderung nur dann möglich ist, wenn eine Druckentlastung stattfindet, so ist diese bei gasesättigten Lagerstätten mit einer Expansion des Gasanteiles verbunden, welche eine Abkühlung bewirkt, welcher Effekt nur bei einer Fließdruckmessung, nicht aber bei einer Schließdruckmessung eintritt. Daher wird man bei einer solchen Sonde im ersteren Fall eine niedrigere Temperatur messen als im zweiten Fall. Darauf hat schon HÜGEL (1942) hingewiesen. Bei den Ölsonden in Oberösterreich tritt aber ein gegenteiliger Effekt

Sonde	V 1	V 2	V 3
Tiefe AS	2090 m	2122 m	2080 m
Tiefe NN	1627 m	1659 m	1631 m
Zahl der Messungen	16	16	14
Mittelwert d. Temperatur	82,52° C	83,28° C	82,66° C
höchster Meßwert	83,5° C	84,5° C	84,5° C
tiefster Meßwert	81° C	82° C	81° C
mittlerer Fehler	± 0,73° C	± 0,73° C	± 1,12° C
Zahl der S-Messungen	5	5	4
mittlere Temperatur aus S	81,76° C	82,90° C	81,62° C
Zahl der F-Messungen	11	11	10
mittlere Temperatur aus F	82,86° C	83,45° C	83,07° C
Differenz zwischen S und F	1,10° C	0,55° C	1,45° C

Tab. 1: Gemessene Temperaturen bei Fließdruck-(F) und Schließdruck-(S) Messungen in 3 Sonden des Ölfeldes Voitsdorf.

auf, wie an dem Beispiel der drei ältesten Sonden des Feldes Voitsdorf (Tab. 1) gezeigt wird. In diesen Olsonden wurde im Laufe der Jahre eine beträchtliche Anzahl Messungen durchgeführt. Die erzielte Genauigkeit ist beachtlich, wenn man bedenkt, daß die Genauigkeit der verwendeten Thermometer mit  $\pm 1^\circ \text{C}$  angegeben wird. Die Temperatur schwankt um  $83^\circ \text{C}$  und ist im Mittel höher, je tiefer die Lagerstätte liegt.

Wir haben es in Voitsdorf mit einer untersättigten Lagerstätte zu tun, bei welcher die Gasentlösung in etwa 1600 m Tiefe, also 500 m über dem Meßpunkt eintritt, so daß die damit verbundene Abkühlung auf die Messung keinen Einfluß hat.

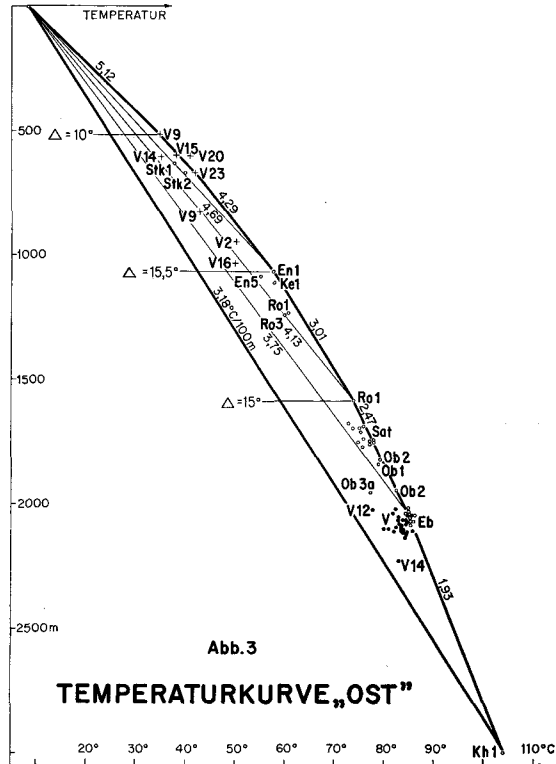
Bei den Fließdruckmessungen erhalten wir praktisch die Temperatur der Lagerstätte, weil das Öl auf seinem kurzen Weg zum Meßgerät keine Möglichkeit hat, sich abzukühlen. Bei den mehrere Tage dauernden Schließdruckmessungen nimmt die in den Rohren stillstehende Ölsäule die Temperatur der Umgebung an. Da das Meßgerät einige Meter über der Perforationsstrecke abgesetzt wird, so ist hier die Temperatur etwas niedriger. So kann man die kleine Differenz zwischen F- und S-Messungen erklären. Wegen des geringen Unterschiedes zwischen den beiden Meßverfahren wurden diese für die weiteren Betrachtungen nicht getrennt verarbeitet, sondern aus allen Druckmessungen einer Sonde der Mittelwert genommen.

Vergleicht man die Meßergebnisse der elektrischen (IES) Bohrlochmessungen mit denen der (PWS) Druckmessungen (Abb. 2) des Voitsdorfer Feldes, so zeigen erstere eine sehr große Streuung mit einem Mittelwert, der um  $18^\circ \text{C}$  niedriger liegt als der Mittelwert der letzteren, welche mit geringer Streuung eng beisammen liegen. Dazwischen sind die Ergebnisse von Gamma Ray Logs (GRL) eingetragen, die im bereits verrohrten, aber noch nicht produzierenden Bohrloch durchgeführt werden. Zeichnet man die den beiden Meßarten ent-

sprechende Temperatur-Tiefe-Kurve, so nimmt die Differenz nach oben ab und beträgt in 1000 m Tiefe etwa  $12^{\circ}\text{C}$ . Das gibt uns die Möglichkeit, bei einer hinreichend großen Anzahl benachbarter Bohrlöcher, durch Addition eines der Tiefe entsprechenden Korrekturbetrages zum Mittelwert der Bohrlochmessungen die wahrscheinlichste Gebirgstemperatur zu berechnen. Dieses Verfahren wurde überall dort angewendet, wo keine repräsentativen Druckmeßdaten zur Verfügung standen, wie z. B. bei den Gasfeldern.

#### 4. Vertikaler Temperaturverlauf

Die in der Umgebung von Voitsdorf liegenden Ölfelder sind um so seichter, je weiter man gegen Norden oder Osten fortschreitet. Geordnet nach der Tiefe ihrer Lagerstätte gilt folgende Reihenfolge: Oberaustall, Sattledt, Rohr, Engenfeld-Kematen, Stadtkirchen. Wenn man die Temperatur dieser Felder in Abhängigkeit von der Tiefe aufträgt, so liegen sie auf einer Kurve, die wir Temperaturkurve „Ost“ genannt haben, weil sie nur für den Ostteil des Untersuchungsgebietes Gültigkeit hat (Abb. 3). In der Nähe der Erdoberfläche



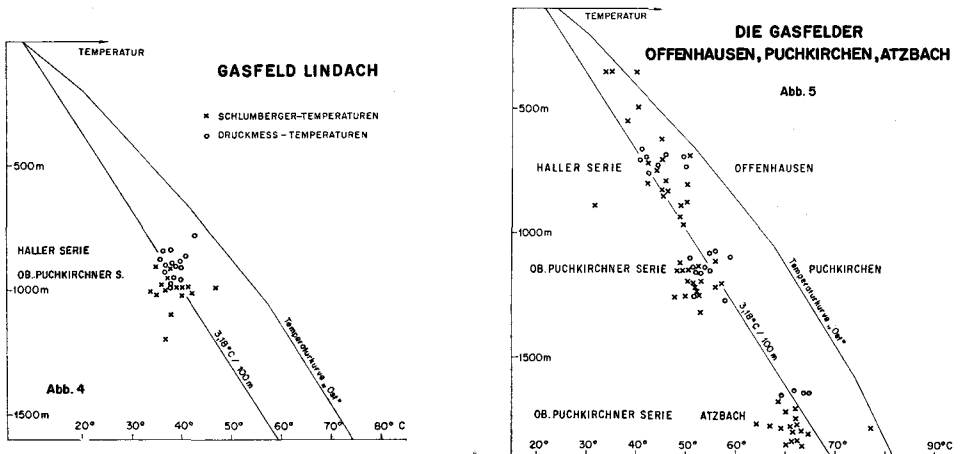
bis etwa 500 m Tiefe nimmt die Temperatur mit einem Gradienten von  $5,12^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  zu, so daß die Temperatur bis etwa  $10^{\circ}\text{C}$  höher ist, als es dem Normalwert von  $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  entsprechen würde. Mit zunehmender Tiefe wird zwar der Gradient schrittweise kleiner, da er aber bis etwa 1000 m mit  $4,29^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  noch immer größer ist als der Normalwert, so nimmt auch der Temperaturüberhang auf über  $15^{\circ}\text{C}$  zu. Erst ab 1600 m nähert sich die

Kurve dem Normalwert, den sie bei 3000 m erreicht (Kirchham 1:  $104^{\circ}\text{C}$ ).

Im Westteil des Untersuchungsgebietes herrschen keine so einheitlichen Verhältnisse. Es war daher nicht möglich eine analoge Temperaturkurve „West“ zu konstruieren.

## 5. Die Gasfelder

Was die elektrischen Bohrlochmessungen anbelangt, besteht zwischen dem Verhalten von Öl- und Gasfeldern kein prinzipieller Unterschied, weil das Meßergebnis in keiner Weise davon abhängig ist, ob die Poren des Gebirges mit Wasser, Öl oder Gas gefüllt sind. Anders ist es bei den Druckmessungen, bei denen ein stark unterschiedliches Verhalten feststellbar ist. Beispielsweise ist beim Gasfeld Lindach (Abb. 4) kein nennenswerter Unterschied zwischen



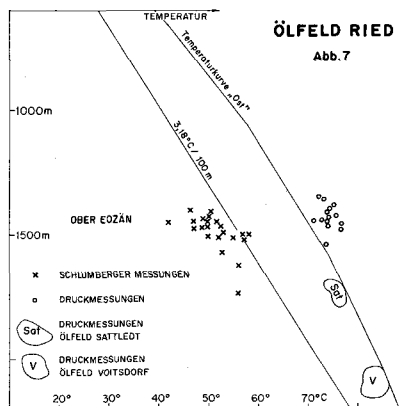
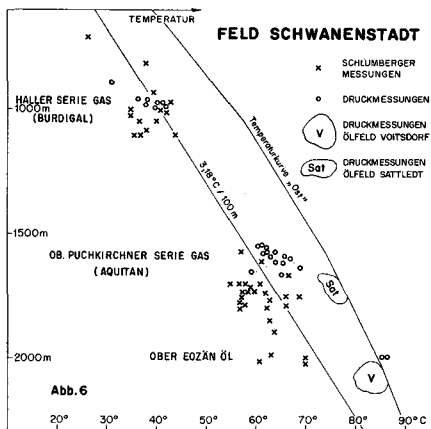
den Ergebnissen der beiden Meßverfahren zu verzeichnen. Wie zu erwarten, liegen die Bohrlochmeßwerte um etwa  $15^{\circ}\text{C}$  im Mittel tiefer als die wahrscheinliche Gebirgstemperatur. Aber auch die Druckmeßwerte liegen zu tief, wenn auch nur um ca.  $12^{\circ}\text{C}$ . Das heißt aber, dieses Ergebnis entspricht nicht dem der Ölfelder, wo wir mit den Druckmessungen praktisch die wahre Gebirgstemperatur ohne Abstriche messen können. Weitere Beispiele für dieses Verhalten lieferten die Gasfelder Offenhausen, Puchkirchen, Atzbach (Abb. 5) und Schwanenstadt (Abb. 6), bei denen dieser Effekt mehr oder weniger deutlich auftritt.

Allerdings darf nicht verschwiegen werden, daß dieses merkwürdige Verhalten der Gasfelder anscheinend nur für unseren Raum typisch ist. Im Jeanerette Gasfeld von South Louisiana hat PEDRO (1969) die Beobachtung gemacht, daß sich nach nur 24 Stunden Einschließung der Sonden die ursprüngliche Temperatur wieder eingestellt hat und bei Druckmessungen ermittelt werden konnte. In 3000 m Tiefe fand er die Druckmeßwerte durchschnittlich um  $15^{\circ}\text{C}$  höher als die der elektrischen Logmessungen. Erstere streuten innerhalb von  $10^{\circ}\text{C}$ , letztere im engen Bereich von nur  $3^{\circ}\text{C}$ . Diese Beobachtungen stimmen sehr gut mit unseren Erfahrungen an Ölsonden überein, treffen aber nicht bei unseren Gassonden zu.

Das Beispiel Schwanenstadt ist besonders lehrreich, weil es erkennen läßt, daß die Temperaturdifferenzen der Druckmeßwerte von Faktoren abhängen müssen, die bisher zu wenig oder überhaupt nicht in Betracht gezogen wurden. In 1000 m Tiefe (Burdigal) liegen die Druckmeßergebnisse mitten in den Bohrlochmeßwerten. Ein systematischer Unterschied ist nicht gegeben. In 1600 m Tiefe (Aquitan) tritt zwischen beiden Meßverfahren eine deutliche Differenz auf: Die Druckwerte sind höher, sie liegen fast alle rechts von der Normalgradientenlinie. Die Bohrlochmeßwerte dagegen liegen in der Mehrzahl links davon. In 2000 m Tiefe befindet sich eine kleine Ollagerstätte. Wie erwartet ist hier die Differenz zwischen beiden Verfahren groß, nämlich  $16^{\circ}\text{C}$  und mehr.

### 6. Der Westteil Oberösterreichs

Im NW-Teil des Untersuchungsgebietes befindet sich das alte Ölfeld Ried im Innkreis. Hier ist eine sehr markante Trennung der verschiedenen Meßwerte zu verzeichnen, wobei die Bohrlochmessungen eine relativ kleine Streuung aufweisen (Abb. 7). Abweichend vom Verhalten der Ölfelder des



Ostteiles beträgt die Differenz der beiden Mittelwerte hier in 1500 m Tiefe ca.  $25^{\circ}\text{C}$ , ist also um etwa  $10^{\circ}\text{C}$  höher als dort. Außerdem zeigt sich, daß die Rieder Lagerstätte wesentlich wärmer ist, als der Temperaturkurve „Ost“ entsprechen würde. Das ist um so überraschender, als das SE davon liegende Burdigalfeld Schwanenstadt, unter Berücksichtigung der üblichen Abweichung der Bohrlochmessungen, kälter sein dürfte. Damit ist illustriert, daß sich der Westteil etwas anders verhält als der Osten und daß sich der Temperaturverlauf hier nicht mit einer Kurve beschreiben läßt, die für weite Teile gültig ist.

### 7. Die laterale Temperaturverteilung in 1000 m Tiefe

Es wurde versucht, aus den Meßdaten eine Karte der Temperaturverteilung in 1000 m Tiefe zu konstruieren. In den seltensten Fällen liegen Messungen gerade in dieser Tiefe vor. Daher mußte die hier herrschende Temperatur durch Interpolation ermittelt werden. Dabei wurde getrachtet, möglichst solche Meßwerte heranzuziehen, welche in der Nähe der 1000 m-Marke ober- und unterhalb derselben gelegen sind. In den meisten Fällen waren das Bohrloch-

meßwerte, zu deren Ergebnis dann  $12^{\circ}\text{C}$  addiert wurde. Bei den Öl- und Gasfeldern konnte die Genauigkeit dadurch wesentlich erhöht werden, daß das Mittel aus sämtlichen Sonden eines Feldes genommen wurde. Das gleiche Verfahren wurde auch bei Einzelsonden angewendet, die nicht fündig geworden sind. Trotz großer Ungenauigkeit dieser Werte konnte damit das Bild in den Teilen ergänzt werden, in denen sich keine Felder befinden (Tafel 1).

Die höchsten Temperaturen treten entlang des Transgressionsrandes der Molasse über das Kristallin im Norden auf. Gegen Süden nimmt die Temperatur bis zu einer Ost-West streichenden Mulde tiefster Temperaturen ab. Innerhalb der Mulde ist eine Temperaturabnahme von Ost nach West zu verzeichnen. In beiden Erscheinungen spiegelt sich die Tiefe des Molassebeckens wieder. Von dieser Mulde gegen Süden nimmt die Temperatur wieder gegen den Überschiebungsrand des Flysches zu, obwohl hier das Becken noch tiefer wird. Die Temperaturmulde befindet sich also nicht im tiefsten Teil des asymmetrisch gebauten Beckens, sondern nördlich davon ungefähr in der Mitte desselben. Genau die gleiche Beobachtung hat RYBACH (1975) in der Schweiz gemacht, wo er auf Grund von Bohrlochmessungen in Tiefbohrungen zu dem Ergebnis kam, daß man die niedrigsten Temperaturwerte im zentralen Teil des Molassebeckens findet, wobei der Anstieg gegen Nordosten ausgeprägter ist, als die Zunahme gegen Südwesten. Über die Ursache dieser Erscheinungen stellt er nur Vermutungen an: „Weitere Untersuchungen müssen abklären, worauf dieses Verteilungsbild zurückzuführen ist.“ Diese Bemerkung kann nur unterstrichen werden. Trotzdem sei eine Erklärung aus geophysikalischer Sicht ohne die notwendigen Untersuchungen hier angeboten. Falls die Wärmeleitfähigkeit des kristallinen Grundgebirges und die des Flysches kleiner ist als die der Sedimente des Molassebeckens, dann müssen bei überall gleichem Wärmefluß die Isothermalflächen in der Molasse größere Abstände haben als nördlich und südlich davon. Da aber von einer geologischen Einheit zur anderen ein kontinuierlicher Temperaturübergang stattfinden muß, so sind diese Flächen an beiden Rändern gegen oben gebogen, wobei der überschobene Flysch eine geringere Wirkung hat, als das Kristallin. Dazu kommt noch der Umstand, daß die Aufbiegung zum Flysch zum Teil unter diesem verborgen liegt, wenn die Molasse mächtiger ist als dieser — ein Umstand, der bei Hocheck in Erscheinung tritt, wo die Temperaturmulde sichtlich unter den Flysch hineinstreicht. Das ist eine geophysikalische Erklärung. Selbstverständlich kann man auch geologische Ursachen ins Auge fassen, für die aber der Autor als Geophysiker nicht zuständig ist.

## 8. LITERATUR

- EDWARDSON, M. J. et al.: Calculation of Formation Temperature Disturbances Caused by Mud Circulation. — Journ. of Petr. Techn. 416—426, Apr. 1962.
- HEDEMANN, H.-A.: Geologische Auswertung von Temperaturdaten aus Tiefbohrungen. — Erdöl und Kohle **20**, 337—343, Mai 1967.
- HÜGEL, H.: Druck- und Temperaturmessungen in Erdölbohrungen... — Oel und Kohle **31**, 919—937, August 1942.
- PEDRO JAM L. et al.: Subsurface Temperature in South Louisiana. — Am. Assoc. Petr. Geol. Bull. **53**, 2141—2149, Oct. 1969.
- RYBACH, L.: Geothermik. Allgemeine und angewandte Aspekte. Antrittsvorlesung an der ETH Zürich. Neue Zürcher Zeitung, 47—48. 2. April 1975.



# ISOTHERMEN IN 1000m TIEFE DER MOLASSE OBERÖSTERREICHS

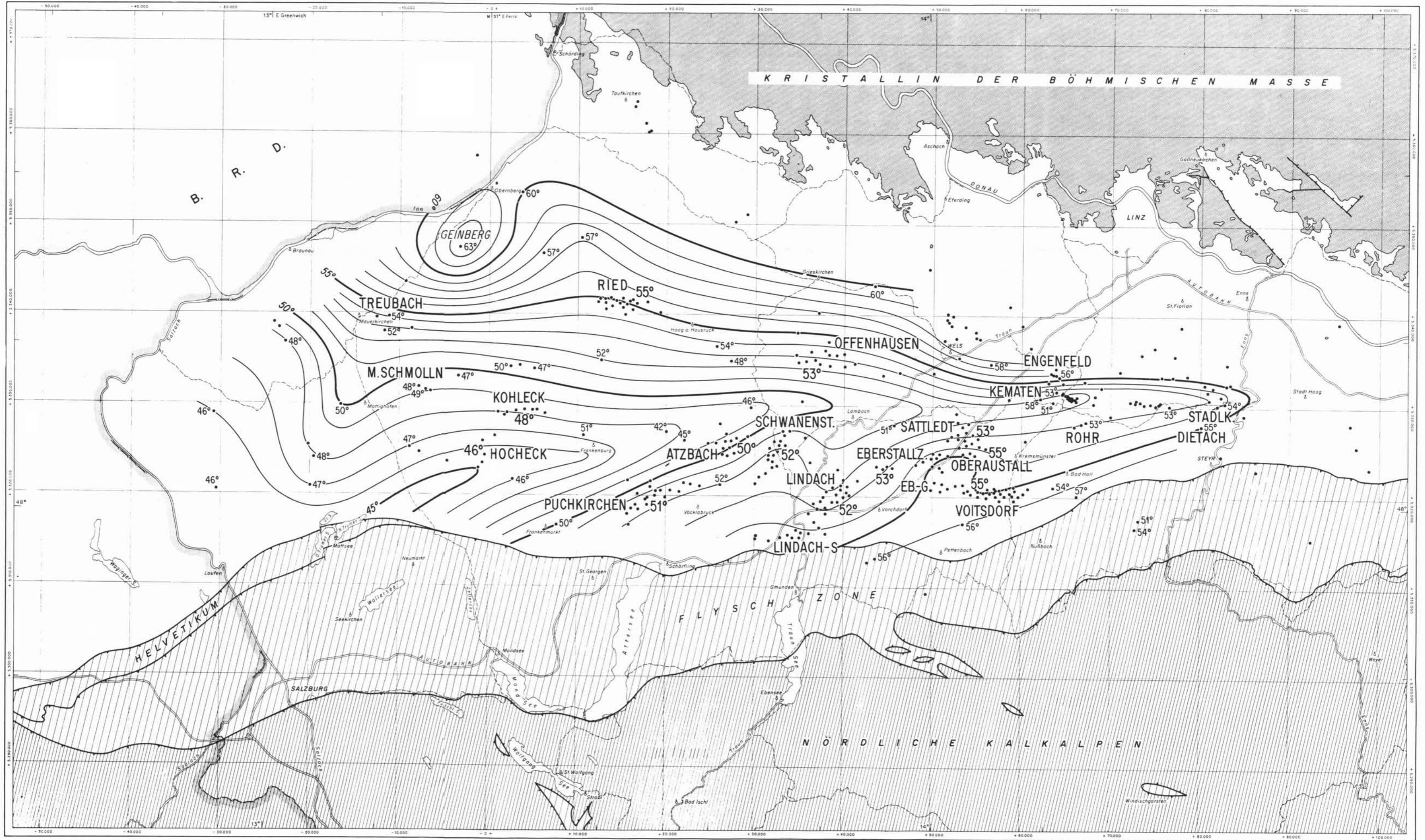


Abb. 8