

**Projekt-Titel:** Geothermische Eigenschaften des Molassebeckens (Pilotstudie)  
**Projekt-Nr.:** 14'382  
**Auftraggeber:** Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW)  
**Beauftragter:** Geoform AG (im Namen der Forschungsgemeinschaft Polydynamics Ltd./  
 Prof. L. Rybach/Mengis+Lorenz AG/Geoform AG)  
**Datum:** 6. Dezember 1995

## Jahresbericht 1995

### Inhaltsverzeichnis

|                                                                   |   |
|-------------------------------------------------------------------|---|
| 1. Einleitung.....                                                | 2 |
| 2. Projektziele 1995.....                                         | 2 |
| 3. Ausgeführte Arbeiten und Ergebnisse.....                       | 3 |
| 3.1 Gesuche für Dateneinsicht und -verwendung.....                | 3 |
| Tiefenbrunnen (Thermalwasserbohrung).....                         | 3 |
| Bassersdorf (Geothermiebohrung).....                              | 3 |
| Weisch (Nagra-Bohrung).....                                       | 3 |
| Weggis (Geothermiebohrung).....                                   | 3 |
| 3.2 Literaturauswertung.....                                      | 3 |
| 3.3 Auswahl des Probenmaterials für Labormessung.....             | 4 |
| Proben aus der Unteren Süßwassermolasse.....                      | 4 |
| Proben aus der Oberen Meeresmolasse.....                          | 4 |
| 3.4 Auswertung der geophysikalischen Bohrlogs.....                | 5 |
| 3.5 Sensitivität Wärmeleitfähigkeitsmessung an Cuttingproben..... | 5 |
| 4. Perspektiven 1996.....                                         | 6 |
| Literaturverzeichnis.....                                         | 6 |

## 1. Einleitung

Das schweizerische Molasse Becken umfasst etwa 30% der Fläche der Schweiz und beherbergt die am dichtesten besiedelten Zonen (Fig. 1). Mit der zunehmenden Nutzung geothermischer Ressourcen werden auch detaillierte Kenntnisse über die geothermischen Eigenschaften des Untergrundes unabdingbar.

insbesondere bei der Planung und Dimensionierung von geothermischen Speicheranlagen, Sondenfeldern und tiefen Erdwärmesonden sind die Wärmeleitfähigkeit und -kapazität der durchteuften Gesteinsformationen die entscheidenden Grössen (HOPKIRK et al. 1994, GEOFORM 1994). Für die heute oft eingesetzte Simulation des thermischen Verhaltens des Untergrundes solcher Anlagen müssen stark vereinfachende Annahmen betreffend dieser Parameter gemacht werden.

Die Integration von verschiedenen neuen Forschungsentwicklungen der letzten Jahre erlauben heute diese Basis für die Schweiz zu schaffen. Dazu zu zählen ist insbesondere die Bestimmung der sedimentären Architektur mit Bohrlogs, die direkte Berechnung der geothermischen Eigenschaften mit geophysikalischen Bohrlochmessungen und Seismik oder die Messung der Wärmeleitfähigkeit an Cuttings-Proben im Labor bei fehlendem Kernmaterial.

Am 26. September 1995 wurde diese Pilotstudie (Auswertungen und Labormessungen an den Bohrungen Tiefenbrunnen und Bassersdorf) vom BEW bewilligt, mit einer Projektdauer vom 15. Oktober 1995 bis 1. März 1996.

## 2. Projektziele 1995

Folgende Teilziele wurden während diesen ersten zwei Monaten des Projektes verfolgt:

- Aufarbeitung der Schlüsselliteratur betreffend Methodik und Geologie
- Einholen der Bewilligungen zur Datenverwendung (Nagra und Stadt Zürich)
- Auswahl und Beprobung der Bohrungen Tiefenbrunnen und Bassersdorf
- Beginn der Labormessungen
- Digitalisieren und Aufarbeitung der geophysikalischen Bohrlogs
- Sensitivität von Wärmeleitfähigkeitsmessungen im Labor

Da das Einholen der notwendigen Bewilligungen (siehe unten) mehr Zeit als geplant in Anspruch nahm, kann mit den Labormessungen und Logauswertungen an den Bohrungen Bassersdorf und Tiefenbrunnen erst im Dezember begonnen werden.

### **3. Ausgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

#### **3.1 Gesuche für Dateneinsicht und -verwendung**

Für die Verwendung der geophysikalischen Bohrlogs von Tiefenbrunnen und Bassersdorf sowie die Beprobung der Untersuchungsintervalle musste bei den Dateneigentümern (Stadt und Kanton Zürich, respektive Nagra) ein Gesuch gestellt werden.

##### **Tiefenbrunnen (Thermalwasserbohrung)**

Am 15. November 1995 wurde uns freundlicherweise von Herrn B.-F. Iseli (Effretikon, Verwalter der Daten von Tiefenbrunnen) schriftlich mitgeteilt, dass die Wasserversorgung Zürich, als Eigentümerin der Bohrung, keine Einwände gegen die Datenverwendung hat. Von Herrn Iseli wurden uns anschliessend die geologischen Berichte (Gutachten Dr. U.P. Büchi Nr. 1094, 1282 und 1441) und die Kernproben zur Verfügung gestellt.

##### **Bassersdorf (Geothermiebohrung)**

Die meisten Daten der Bohrung Bassersdorf sind in einem technischen Bericht der Nagra (Blaser et al. 1994) publiziert und somit zugänglich. Um die Vorbereitungsarbeiten zeitlich zu reduzieren wurden mit einem Gesuch die digitalen Daten der geophysikalischen Bohrlogs und das Beprobungsrecht am Kernmaterial angefragt. Am 22. November 1995 wurde das Gesuch schriftlich und uneingeschränkt bewilligt.

##### **Weiach (Nagra-Bohrung)**

Sämtliche für das Projekt notwendige Daten der Bohrung Weiach sind publiziert (Matter et al. 1988). Eine Neubeprobung ist zur Zeit nicht vorgesehen.

##### **Weggis (Geothermiebohrung)**

Sämtliche für das Projekt notwendige Daten der Bohrung Weggis sind publiziert (Greber et al. 1994). Die Bohrung wurde bereits früher für die Durchführung von Sensitivitätsanalysen beprobt. Eine zusätzliche Beprobung ist zur Zeit nicht vorgesehen.

#### **3.2 Literaturauswertung**

Betreffend der Geologie und Geothermik des Tertiärs im Untersuchungsgebiet, speziell der Bohrungen Tiefenbrunnen und Bassersdorf, der Methodik von Labormessungen (Wärmeleitfähigkeit und -kapazität), der Berechnungsverfahren mit Bohrlogs sowie der bestehenden Fallbeispiele für Sensitivitätsabklärungen wurde die neuere Schlüsselliteratur kompiliert und aufgearbeitet (siehe Literaturverzeichnis).

### 3.3 Auswahl des Probenmaterials für Labormessung

In Anbetracht der geringen Anzahl der zu analysierenden Proben gilt es, einige repräsentative und dominante Lithologien zu beproben. Zudem sollten die ausgewählten Lithologien möglichst unterschiedliche geophysikalische und petrophysikalische Charakteristika besitzen. Dadurch wird eine Abschätzung der Varianz der verschiedenen Eigenschaften ermöglicht.

Aufgrund der uns zur Verfügung stehenden Proben und Logs stand eine Beprobung der Unteren Süsswassermolasse sowie der Oberen Meeresmolasse im Vordergrund (Fig. 2). Die Untere Meeresmolasse bildet nur untergeordnet den unteren Felsuntergrund (< 1km), und aus der Oberen Süsswassermolasse steht momentan kaum geeignetes Probenmaterial zur Verfügung. Der näheren Untersuchung der Oberen Süsswassermolasse, die aus geothermischer Sicht einen grossen Teil des zu nutzenden Felsuntergrundes bildet, ist jedoch in Zukunft Beachtung zu schenken.

Vorläufig sind Labormessungen an Kernproben und daraus künstlich gebrochenen Cuttings vorgesehen. Damit können die Messverfahren direkt miteinander verglichen werden und Unsicherheiten betreffend Nachfall und Bohrgutausschlammung müssen vorerst nicht berücksichtigt werden.

#### Proben aus der Unteren Süsswassermolasse

In der Unteren Süsswassermolasse sind die Architektur-Elemente *RG* (Rinnengürtel) und *UPS* (Überschwemmungsböden mit Paläoböden und Sümpfen) die relevanten Bausteine des Members. Diese beiden Elemente repräsentieren auch die beiden Extremolithologien Sandstein und Schlammstein, die die grössten Unterschiede in den geothermischen Eigenschaften aufweisen.

Der Bohrung Bassersdorf wurden am 30. November 1995 in Würenlingen folgende Proben entnommen:

| <u>Architektur-Element</u> | <u>Mittlere Tiefe (m)</u> | <u>Probennummer</u> |
|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| <i>RG:</i>                 | 602.75                    | BA-602.75           |
|                            | 762.26                    | BA-762.26           |
| <i>UPS:</i>                | 595.21                    | BA-595.21           |
|                            | 658.39                    | BA-658.39           |
|                            | 742.55                    | BA-742.55           |

#### Proben aus der Oberen Meeresmolasse

Die Obere Meeresmolasse wird durch zwei hauptsächliche Lithofaziestypen aufgebaut, unter wellendominierten Bedingungen abgelagerte Sandsteine (*WD*) sowie unter gezeiten-dominierten Bedingungen abgelagerte Sandsteine (*TD*). Erstere zeichnen sich durch eine sehr gute Sortierung sowie generell feinere Korngrössen (*vfS-fS*) aus. Letztere sind meist gut sortiert und gröber (*fS-mS*, *tw. crS*).

Der Bohrung Tiefenbrunnen wurden am 22. November 1995 in Effretikon folgende Proben entnommen (Angabe der mittleren Teufe in m):

---

| <u>Architektur-Element</u> | <u>Mittlere Tiefe (m)</u> | <u>Probennummer</u>    |
|----------------------------|---------------------------|------------------------|
| WD:                        | 591.93<br>657.91          | TI-591.93<br>TI-657.91 |
| TD:                        | 519.00                    | TI-519.00              |

### 3.4 Auswertung der geophysikalischen Bohrlogs

Da die digitalen Logdaten der Bohrungen Bassersdorf und Tiefenbrunnen erst seit einigen Tagen zur Verfügung stehen, konnte die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit an diesen zwei Schlüsselbohrungen noch nicht begonnen werden. Dies ist jedoch für Dezember und Januar vorgesehen.

Im Rahmen der Vorarbeiten konnten jedoch bereits die Logdaten der Zusatzbohrungen Weiach und Weggis bearbeitet werden. Dabei zeigt sich, dass je nach angewandter Methode beträchtliche Unterschiede in der berechneten Wärmeleitfähigkeit resultieren (siehe Beispiel Weggis, Fig. 3). Dies ist vorläufig darauf zurückzuführen, dass die Berechnungsmethoden für andere Lithologien und Untersuchungsgebiete kalibriert wurden. Die Ergebnisse der Labormessungen werden eine Verfeinerung der Methodik erlauben.

In der Bohrung Weiach ist bereits ein Vergleich von aus Bohrlogs berechneten und im Labor an Kernen gemessenen Wärmeleitfähigkeiten möglich (Fig. 4). Die Übereinstimmung ist im Tertiär recht zufriedenstellend, was für die Pilotstudie vielversprechend ist. In den tieferen Bohrabschnitten, speziell in den Karbonaten des Mesozoikums scheint die gewählte Berechnungsmethode (nur Sonic-Log) nicht geeignet zu sein.

### 3.5 Sensitivität Wärmeleitfähigkeitsmessung an Cuttingproben

Während Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Kernbohrungen im allgemeinen problemlos sind, entstehen bei der Messung an Bohrklein (Cuttings) Ungenauigkeiten, die eventuelle Ergebnisse stark relativieren.

Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit an Bohrklein muss der Tatsache Rechnung tragen, dass die Probe gegenüber dem ungestörten Material des Untergrundes durch die Zermahlung beim Bohren zusätzlichen Porenraum erhält.

Durch Messung kann die Wärmeleitfähigkeit der gesättigten Probe (solide Bestandteile und gesättigter Porenraum zusammen) bestimmt werden. Die Wärmeleitfähigkeit der sättigenden Flüssigkeit, in der Regel Wasser, ist aus der Literatur bekannt. Durch Wägung der Probe kann der Volumenanteil der sättigenden Flüssigkeit errechnet werden, sofern die spezifischen Dichten bekannt sind. Schliesslich ist ein Ansatz für die Bestimmung der mittleren Wärmeleitfähigkeit von porösen Körpern zu finden.

Aus Bohrgut-Proben der Bohrung Weggis wurde eine Auswahl getroffen (Tiefen 310, 720, 940, 1140, 1350 und 2240m) und anhand dieser Proben sind einige Testmessungen im Labor durchgeführt worden, um die Aussagekraft und Zuverlässigkeit der verwendeten Technik zu prüfen.

Bemerkenswert sind die aufgetretenen Schwankungen bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des ungestörten Untergrundes. Dies mag teilweise damit erklärt werden, dass für die Proben zum Zeitpunkt der Messungen keine Daten über die Porosität des ungestörten



Bodens bekannt waren. Dies kann mit der Logauswertung teilweise verbessert werden. Weiterhin muss bemerkt werden, dass solche Cuttingproben weniger Feinanteile enthalten als Kernmaterial.

Aus diesem Grund muss die Methode, die wegen ihrer Einfachheit sehr attraktiv wäre, gegenwärtig leider noch als unbefriedigend bezeichnet werden. Diese Tatsache wurde ebenfalls von verschiedenen anderen Autoren (Pribnow & Sass 1995) bemängelt.

#### 4. Perspektiven 1996

Für diese zweite Projekthälfte ist die Weiterführung der Labormessung vorgesehen. Dabei zeichnet sich bereits jetzt ab, dass sich die mit den beschränkten finanziellen Mitteln mögliche Anzahl Labormessungen (8 an Kernen, 15 an Cuttings) nachteilig auf die Kalibration auswirkt. Aus diesem Grund wurde am 6. Dezember 1995 ein Gesuch für einen Zusatzkredit zu Händen des BEW formuliert.

Folgende weitere Arbeitsschritte werden bis 1. März 1996 durchgeführt:

- Berechnung der Wärmeleitfähigkeit mit Logs in den Bohrungen Tiefenbrunnen und Bassersdorf
- Einfache Sensitivitätsanalyse beim berechneten Wärmeentzug
- Inventar bestehender Wärmeleitfähigkeitsdaten für die Schweiz.
- Schlusserwertung und Berichterstattung

#### Literaturverzeichnis

- BLACKWELL, D.D. & STEELE, J.L. (1989): Thermal Conductivity of Sedimentary Rocks: Measurements and Significance. - In: Naesser, N.D. & McCulloh, T.H. (ed.): Thermal history of sedimentary basins - methods and case histories. Springer-Verlag, p. 13-36.
- BLASER, P., GÜBLER, T., KÜPPER, T., MARSCHALL, P., MATTER, A., MATYAS, J., MEIER, B.P., MÜLLER, W.H., SCHLANKE, S., SCHLUNEGGER, F., SIEBER, N. & WYSS, E. (1994): Geothermiebohrung Bassersdorf. Charakterisierung der Oberen Meeresmolasse und Unteren Süswassermolasse. - Nagra NTB, 94-01, 138 p.
- BODMER, PH. & RYBACH, L. (1984): Geothermal map of Switzerland (heat flow density). - Matér. géol. Suisse - Géophys., 22, 48 p.
- BRIGAUD, F. & VASSEUR, G. (1989): Mineralogy, porosity and fluid control on thermal conductivity of sedimentary rocks. - Geophysical Journal, 98, p. 525-542.
- BRIGAUD, F., CHAPMAN, D.S. & LE DOUARAN, S. (1990): Estimating Thermal Conductivity in Sedimentary Basins Using Lithologic Data and Geophysical Well Logs. - AAPG Bulletin, 74/9, p. 1459-1477.
- BÜCHI, U.P. (1980): Thermalwasserbohrung Tiefenbrunnen / Zürich. - Bericht Geologisches Büro Dr. U. P. Büchi AG, 1094, 13 p.

- BÜCHI, U.P. (1981): Die Obere Meeresmolasse in der Bohrung Tiefenbrunnen; Lithologie, Petrophysikalische Eigenschaften. - Bericht Geologisches Büro Dr. U. P. Büchi AG, 1282, 17 p.
- BÜCHI, U.P. (1982): Thermalwasserbrunnen der Stadt Zürich: Pumpversuch II. - Bericht Geologisches Büro Dr. U. P. Büchi AG, 1441, 17 p.
- COLENO, B. (1986): Diagraphies thermiques et distribution du champ de temperature dans le bassin de Paris. - Thèse de doctorat de l'université de Bretagne occidentale, 213 p.
- DEMING, D. (1994): Estimation of the thermal conductivity anisotropy of rock with application to the determination of terrestrial heat flow. - J. geophys. Res., 99/B11, p. 22,087-22,091.
- DEMONGODIN, PINOTEAU, B., VASSEUR, G. & GABLE, R. (1991): Thermal conductivity and well logs: A case study in the Paris basin. - Geophysics, 105, p. 875-891.
- ETH-ZÜRICH, BÜRO DR. U.P. BÜCHI (1982): Geothermische Synthese der Schweiz. - Schriftenreihe BEW, 26, 61 p.
- EVANS, T.R. (1976): Thermal properties of North Sea rocks. - The Log Analyst, 18/2, p. 3-12.
- FJELDSKAAR, W., PRESTHOLM, E., GUARGENA, C. & STEPHENSON, M. (1993): Mineralogical and diagenetic control on the thermal conductivity of the sedimentary sequences in the Bjornoya Basin, Barents Sea. - In: Doré, A.G. (ed.): Basin Modelling: Advances and Applications. Norwegian Petroleum Society (NPF), Special Publication, 3, p. 445-453.
- GEOFORM (1994): Bestandesaufnahme bestehender Tiefbohrungen in der Schweiz. - Bericht Geoform AG, gf-156-1, p. 13.
- Goss, R. & COMBS, J. (1976): Thermal conductivity measurement and prediction from well log parameters with borehole application. - In: UN (ed.): Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal resources, p. 1019-1027.
- GREBER, E., GRÜNENFELDER, T., KELLER, B. & WYSS, R. (1994): Die Geothermie-Bohrung Weggis, Kanton Luzern. - Bull. schweiz. Ver. Petroleum-Geol. u. -Ing., 61/138, p. 17-43.
- HOPKIRK, R. J., RYBACH, L. & STADLER, T. (1994): Tiefe Erdwärmesonden. - In: Sanner, B. & Lehmann, A. (ed.): Tagungsbericht 2. Symposium 'Erdgekoppelte Wärmepumpen'. Informationszentrum Wärmepumpen+Kältetechnik, Karlsruhe. IWZ-Bericht 1/94, p. 265-274.
- HORAI, K. (1971): Thermal conductivity of rock-forming minerals. - J. geophys. Res., 76, p. 1278-1309.
- HOUBOLT, J.J.H.C. & WELLS, P.R.A. (1980): Estimation of heat flow in oil wells based on a relation between heat conductivity and sound velocity. - Geol. Mijnbouw, 59/3, p. 215-224.
- HUANG, Z. & WILLIAMSON, M.A. (1994): The thermal conductivity and heat flow density of the Jeanne d'Arc Basin, offshore eastern Canada. - Tectonophysics, 133, p. 177-192.
- JESSOP, A.M. (1990): Thermal geophysics. - Developments in solid earth geophysics, Elsevier Science Publishing Comp. Inc., New York.
- KELLER, B. (1992): Hydrogeologie des schweizerischen Molasse-Beckens: Aktueller Wissensstand und weiterführende Betrachtungen. - Eclogae geol. Helv., 85/3, p. 611-651.
- MATTER, A., PETERS, T., BLASI, H.-R., MEYER, J., ISCHI, H. & MEYER, CH. (1988): Sondierbohrung Weiach, Geologie (Text- und Beilagenband). - Nagra NTB 88-01, 438 p.
- MIDDLETON, M.F. (1994): Determination of Matrix Thermal Conductivity from Dry Drill Cuttings. - American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 78/11, p. 1790-1799.
- PRISNOW, D. & UMSONST, T. (1993): Estimation of thermal conductivity from the mineral composition: Influence from the fabric and anisotropy. - Geophys. Res. Lett., 20, p. 2199-2202.
- PRISNOW, D. F. C. & SASS, J.H. (1995): Determination of thermal conductivity for deep boreholes. - J. geophys. Res., 100/B6, p. 9981 - 9994.
- PRISNOW, D., BÜCKER, C., RAUEN, A., SPANGENBERG, E., WIENAND, J. & SOFFEL, H.C. (1992): KTB Hauptbohrung, Scientific investigations in the KTB-Field laboratory, depth interval 0-6000m, geophysics. - KTB Rep., 92/2, p. D1 - D42.

- 
- FRIBNOW, D., WILLIAMS, C. & BURKHARDT, H. (1993): Log-derived estimate for thermal conductivity of crystalline rocks from the 4 km KTB Vorbohrung. - *Geophys. Res. Lett.*, 20, p. 1155-1158.
- SANNER, B. (1992): Erdgekoppelte Wärmepumpen. Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation. - Bericht-Informationszentrum Wärmepumpen+Kältetechnik, 2, 92, 100 p.
- SCHARLI, U. & RYSACH, L. (1987): Geothermische Kartierung in der Nordschweiz. - In: Buntetarth, G. (ed.): Sitzungsberichte der 17. Sitzung der FKPE-Arbeitsgruppe 'Ermittlung der Temperaturverteilung im Erdinneren'. Clausthal-Zellerfeld, p. 37-49.
- VACQUIER, V., MATHIEU, Y., LEGENDRE, E. & BLONDIN, E. (1988): Experiment on estimating thermal conductivity of sedimentary rocks from oil well logging. - *AAPG Bulletin*, 72/6, p. 758-764.
- VASSEUR, G. & DEMONGODIN, L. (1995): Convective and conductive heat transfer in sedimentary basins. - *Basin Research*, 7/1, p. 67-79.
- VASSEUR, G., BRIGAUD, F. & DEMONGODIN, L. (1995): Thermal conductivity estimation in sedimentary basins. - *Tectonophysics*, 244, p. 167-174.
- VILLINGER, H. (1983): In situ Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit in Bohrungen. - Diss. Tech. Univ. Berlin, 152 p.
- ZOTH, G. (1991): THERMOLOG - eine neue Methode zur Logdarstellung geothermischer Parameter. - *Geol. Jb.*, 48, p. 353-364.
-



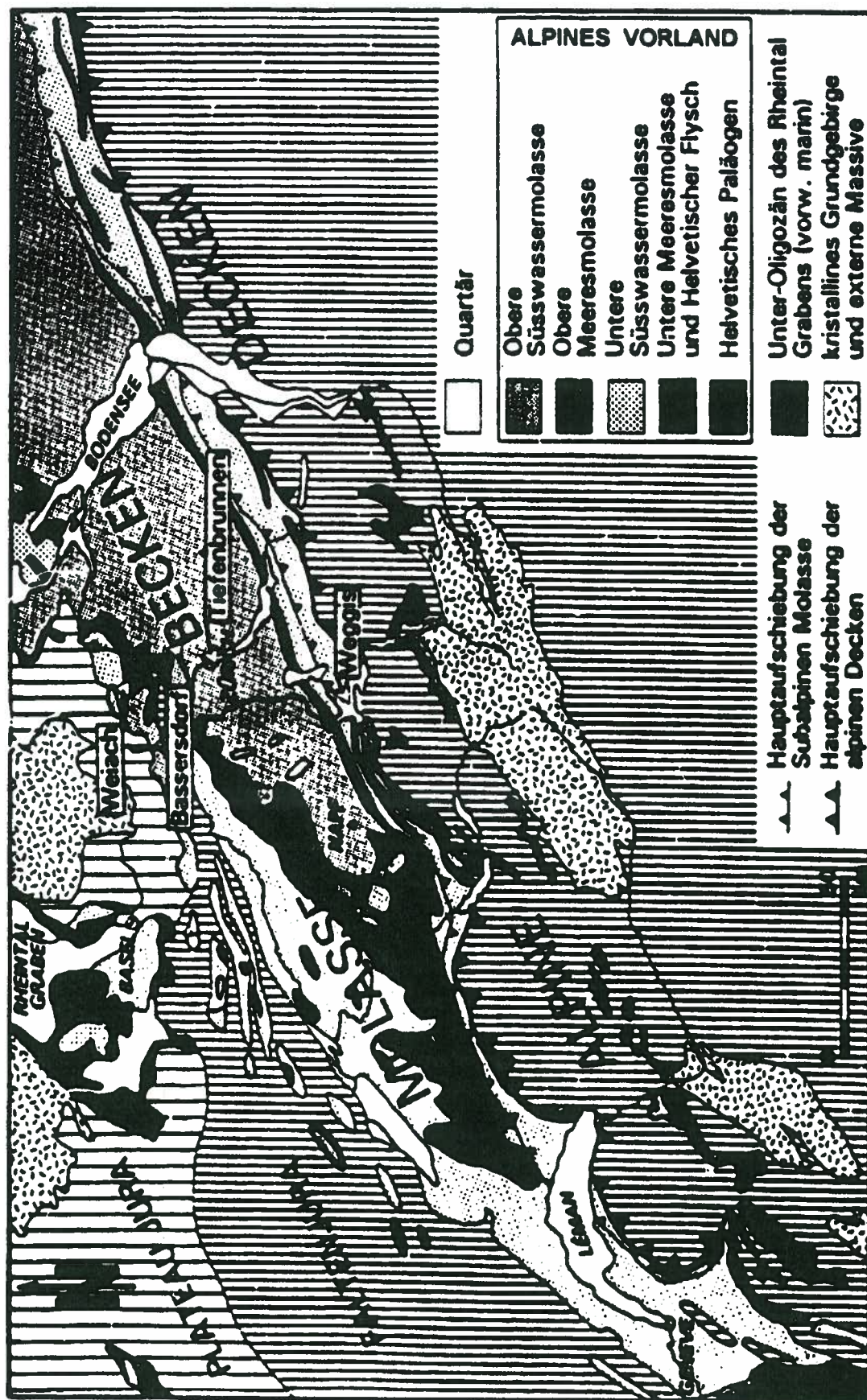


Fig 1: Geologische Übersichtskarte des Molasse-Beckens mit den Lokalitäten der beprobten Bohrungen (nach Keller 1992).

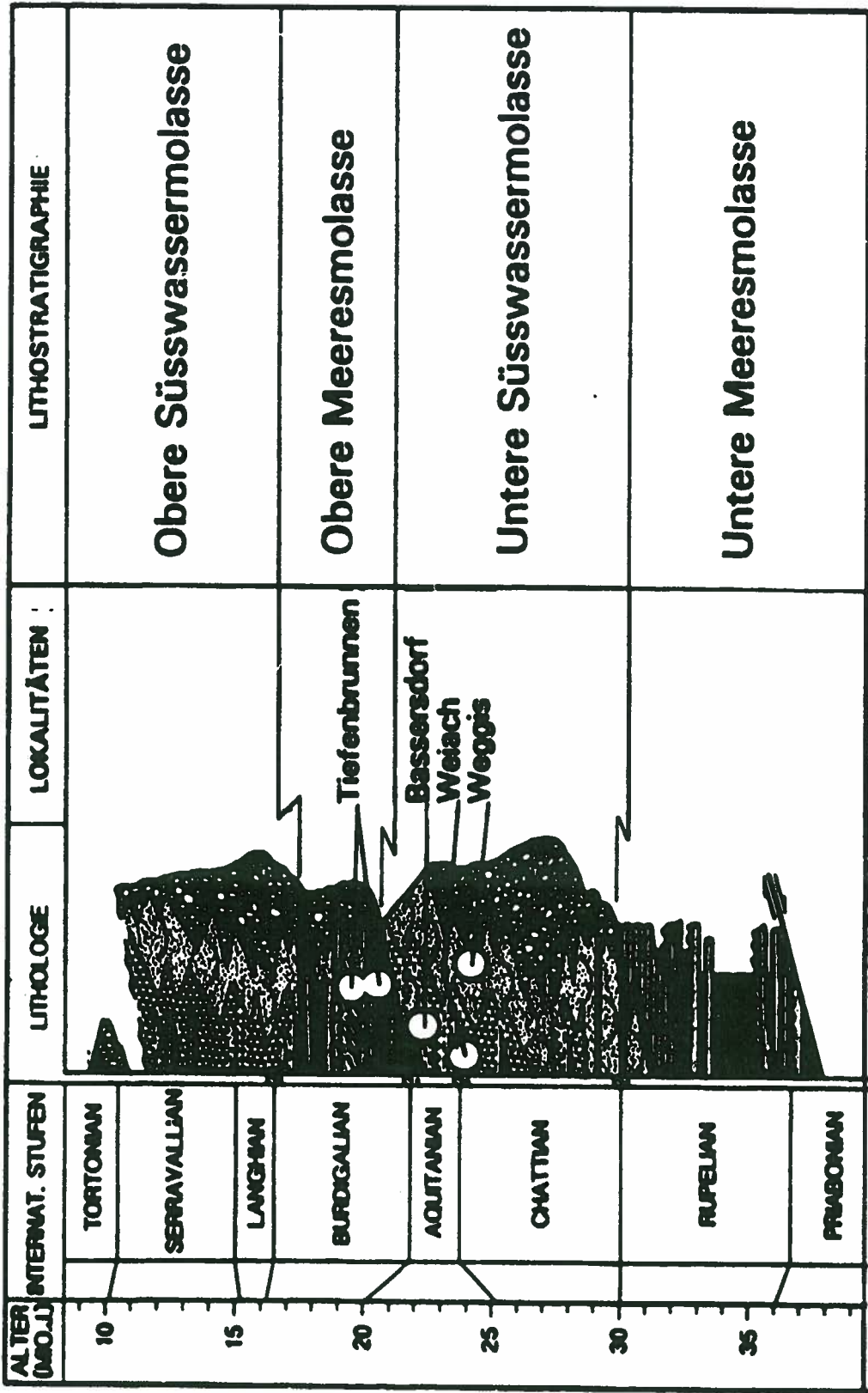


Fig 2: Stratigraphisches Sammelprofil der untersuchten Molasseeinheiten mit relativer Position der beprobten Intervalle (nach Keller 1982).

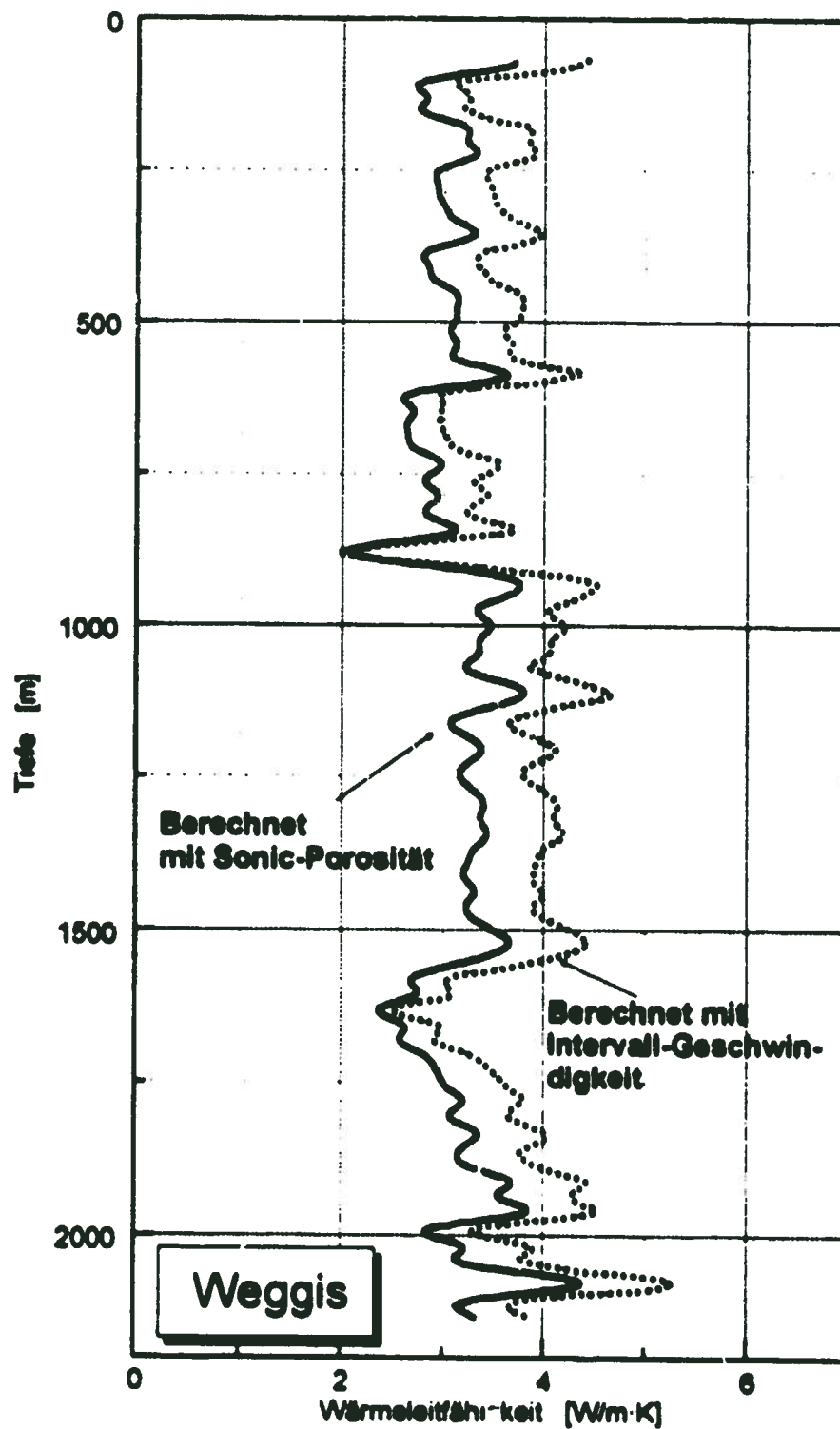


Fig 3: Berechnete Wärmeleitfähigkeit in der Geothermiebohrung Weggis. Vergleich von zwei verschiedenen Berechnungsmethoden (Kurven geglättet).

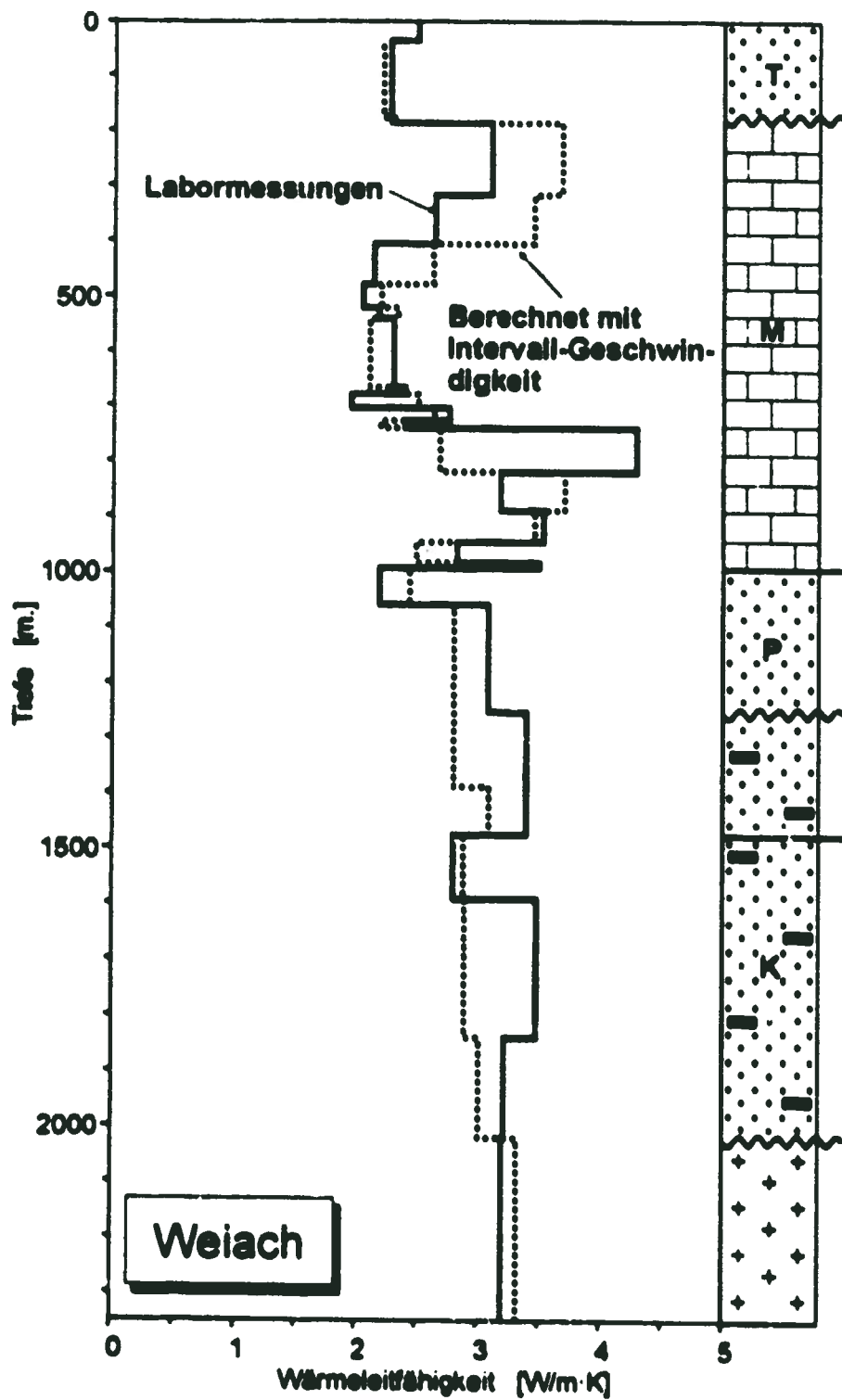


Fig 4: Wärmeleitfähigkeit in der Bohrung Weiach-1. Vergleich von Labormessungen (Intervallmittelwerte) und berechneten Werten aus Sonic-Intervallgeschwindigkeit.