



Doctoral Thesis

**Geothermische Untersuchungen in der Region Marmara (NW-Türkei)  
Kartierung des Wärmeflusses und hydrothermale  
Modellrechnungen**

**Author(s):**

Pfister, Martin

**Publication Date:**

1995

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001486633> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 11054

**Geothermische Untersuchungen in der Region Marmara  
(NW - Türkei)**

**Kartierung des Wärmeflusses und hydrothermale Modellrechnungen**

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung des Titels

**DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN**

der **EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH**

vorgelegt von

**Martin Pfister**

Dipl. Natw. ETHZ  
geboren am 20. März 1965  
von Oberägeri ZG

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. L. Rybach, Referent  
PD Dr. W. Balderer, Korreferent  
Prof. Dr. St. Müller, Korreferent  
Prof. Dr. C. Schindler, Korreferent

1995

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Nordwest-Türkei ist eine tektonisch stark geprägte Region: Die Nord-Anatolische-Verwerfungszone spaltet sich nach Westen in mehrere Äste auf, das tektonische Regime wechselt von strenger Translation zu einer Kombination von Extension und Translation. Diese Tektonik wird begleitet von hoher Erdbebenaktivität und einer Vielzahl teils sehr ergiebiger Thermalwasserquellen. Die vorliegenden Untersuchungen hatten zum Ziel, die geothermischen Randbedingungen dieser geschilderten Prozesse zu charakterisieren. Diese Arbeiten liegen eingebettet im interdisziplinären Projekt MARMARA, welches die tektonische Aktivität und ihre Wechselbeziehungen zu Grundwasserzirkulation, Geothermie und Seismizität in der Region der Nordwest-Türkei untersucht.

Der terrestrische Wärmefluss wurde anhand von 50 über das ganze Untersuchungsgebiet verteilten Bohrungen berechnet:

Hochauflösende Temperaturprofile und Messungen der Gesteinswärmeleitfähigkeit bilden die Grundlagen für diese Berechnungen. Anhand der Temperaturlaufzeichnungen konnten Konvektionszellen in den wassergefüllten Bohrungen dargestellt werden und in Zusammenhang mit dem geothermischen Gradienten und dem Bohrlochdurchmesser gebracht werden.

Weil die Bohrungen maximale Tiefen bis zu 200 m aufweisen und deshalb oft oberflächennahe, hydraulische Effekte im Temperaturverlauf entdeckt wurden, mussten Verfahren entwickelt werden, um den konduktiven Wärmefluss unter Berücksichtigung des advektiv/konvektiven Wärmetransportes zu bestimmen. Trotz dieser starken hydraulischen Einflüsse zeigte sich der Temperaturverlauf im Untergrund als stabil über einen Zeitraum von einem Jahr, was die Verwendung von stationären Rechenmodellen rechtfertigte. Der terrestrische Wärmefluss beträgt in der Region Marmara im Mittel  $60 \text{ mW/m}^2$  und schwankt regional zwischen  $35$  und  $115 \text{ mW/m}^2$ .

Die Wärmeflusskarte verdeutlicht, dass die Extensionstektonik südlich des Marmara-Meeres mit einem erhöhten Wärmefluss zusammenhängt, wohingegen die tektonisch ruhigen Gebiete (z.B. Teile der europäischen Türkei) oder die von Translation und Kompression geprägten Gebiete einen mittleren oder leicht erniedrigten Wärmefluss aufweisen.

Die Verteilung der Thermalquellen in der Marmara-Region zeigt keinen Zusammenhang mit diesem kartierten Wärmeflussfeld. Vielmehr ist ihr Auftreten gebunden an neotektonische Störungszonen. In der Westtürkei sind Thermalquellgebiete mit hoher thermischer Energieabgabe vermehrt an Regionen mit erhöhter seismischer Aktivität gebunden.

Numerische Modellrechnungen anhand der FD- und FE-Methode bestätigten die konzeptionellen Modelle der hydrogeologischen Untersuchungen innerhalb des Polyprojektes:

Die Thermalquellen von Bursa werden mit einem kurzgeschlossenen Zirkulationssystem in Zusammenhang gebracht, welches hydrogeologisch als lokale Zone erhöhter Kluftpermeabilitäten interpretiert werden kann. Nach rascher Infiltration des Niederschlagswassers in Tiefen bis maximal 1000 m unter Meeresniveau und durch schnellen, folgenden Wiederaufstieg desselben wird Thermalwasser an die Erdoberfläche gebracht.

Die verschiedenen Thermalquellen von Gemlik-Orhangazi zeigen Wasserkomponenten, welche in weniger als 40 Jahren vom Infiltrationsgebiet bis zur Quelle im Untergrund fließen. Anhand der gekoppelten Modellierung von Grundwassertransport, Wärmetransport und Transport des radiogenen Tritiums kann gezeigt werden, dass die Zirkulationswege dieser Thermalwässer gebunden sind an Karstlithologien und im Quellbereich an tektonische Störungszonen.

Der regionale mittlere Wärmefluss von 50 - 70 mW/m<sup>2</sup> steht nicht im Widerspruch zu den hohen Quelltemperaturen in beiden Quellgebieten. Die Quellwärme ist vielmehr bedingt durch den schnellen Aufstieg des heißen Tiefenwassers, basierend auf erhöhten Permeabilitäten.

## ABSTRACT

Northwestern-Turkey is an area of significant neotectonic activity: The North-Anatolian-Fault splits into different branches and the tectonic regime changes from translation to a combination of extension and translation. High seismicity as well as frequent and in part large hot springs go along with these tectonic activities. The present study was aimed to characterize the geothermal situation of this area and was part of the interdisciplinary project MARMARA which investigates the tectonic activity and its interrelation to groundwater circulation, geothermics and seismicity in Northwestern-Turkey.

High resolution temperature logs and measurements of the rock thermal conductivity were used to determine the terrestrial heat flow. Convection cells in the water filled drillholes, detected by temperature measurements, showed typical relations to the geothermal gradient and the drillhole diameter. Because of the shallowness of the drillholes (maximum depth of 200 m), hydraulic influences on the thermal profiles had to be taken into account. Conductive heat flow was calculated considering advective and convective water movements. In spite of these hydraulic influences the temperature distribution showed stability over a time period of one year. Stationary models could therefore be accepted. Terrestrial heat flow varies regionally from 35 to 115 mW/m<sup>2</sup> with a mean value of 60 mW/m<sup>2</sup>.

The heat flow map shows that the extensional tectonic of the region south of the Marmara Sea is characterized by higher heat flow values. Regions with low tectonic activity like parts of European Turkey or regions with compressional and translational tectonics go along with mean to slightly lowered values.

The spatial pattern of thermal springs in the Marmara-region does not coincide with the terrestrial heat flow distribution. Their appearance is bound to neotectonic faults. In the Western part of Turkey thermal spring areas with high thermal energy output are found more frequently in regions with high seismic activity.

Numerical calculations based on FD- and FE-codes were used to evaluate the applicability of conceptual circulation models proposed on hydrogeological data: the thermal springs of Bursa are geologically explained by a zone with higher fault permeabilities. These were interpreted by a short-closed-circulation-system. Fast circulation allows the rain water to infiltrate into depths of 1000 m b.s.l. and to rise again to the surface.

The thermal springs of the Gemlik-Orhangazi region show water components which have circulated from the infiltration area to the spring area in less than 40 years. A coupled model of groundwater-, heat- and tritium-transport explains that the circulation paths of these waters are bound to the karstic lithologies and in the spring area to tectonic fault lines.

The regional mean heat flow values of 50 - 70 mW/m<sup>2</sup> in both regions are not in contradiction to the high spring temperatures. High permeabilities permit hot water to rise fast and to transport heat to the surface from greater depths.