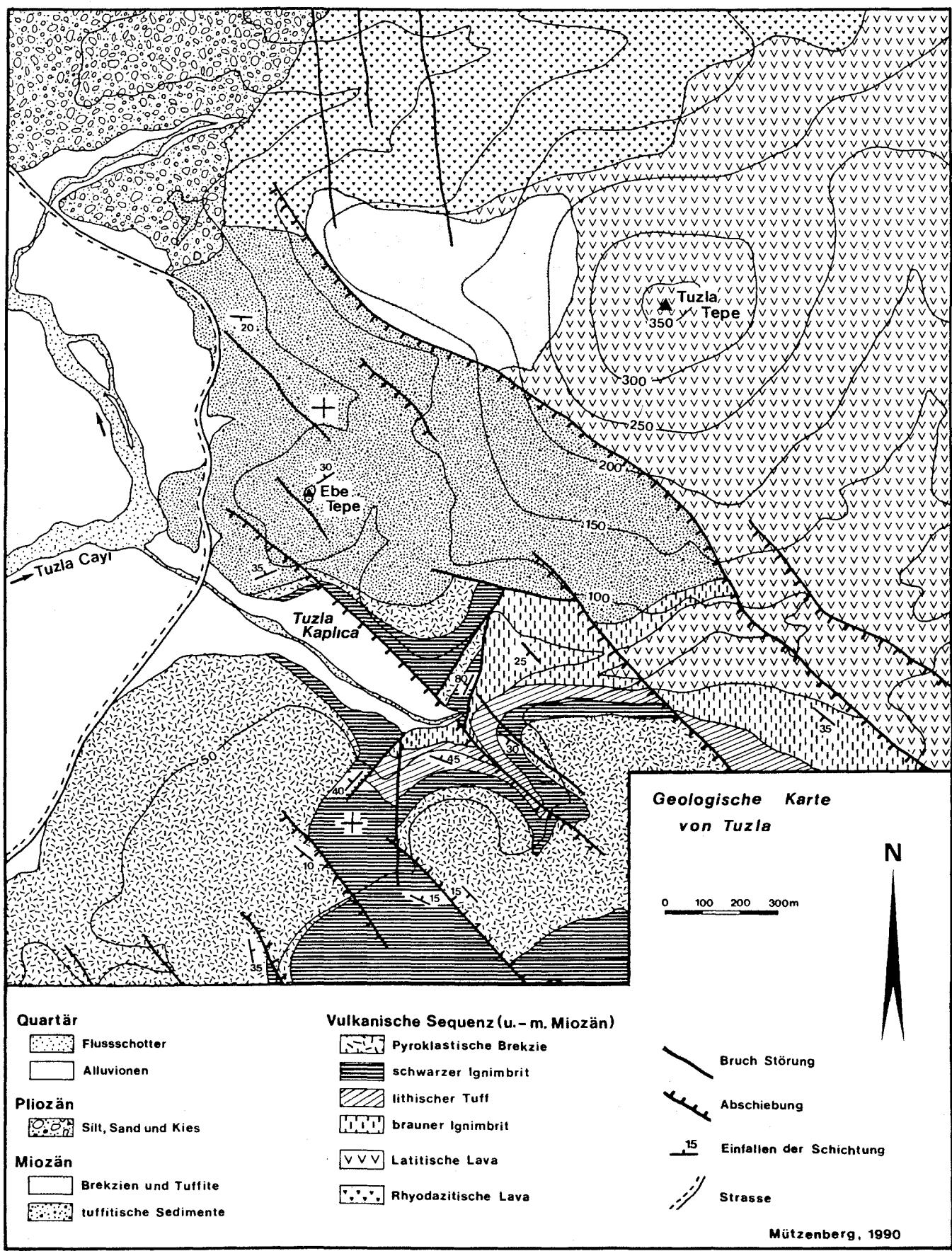


Abb. 3.7: Geologische Karte von Tuzla.



Die Entstehung und das Alter der Brekzienlage auf der nach Nordwesten streichenden Rippe des Tuzla Tepe sind nicht eindeutig erkennbar. Feinkörnige, silikatische Ablagerungen, liegen wappenartig auf einer Brekzienlage mit silikatisch-kalzitischen Adern. Es könnte sich dabei um eine hydrothermale Explosionsbrekzie und Ablagerungen in einem kleineren Kratersee handeln.

Pliozäne, fanglomeratartige Gerölle liegen im Nordwesten des Kartenausschnittes diskordant auf vulkanischen Gesteinen und obermiozänen Sedimenten.

Ins Quartär fallen die jüngsten Alluvial- und Flusssedimente welche die grosse Ebene westlich Tuzla überdecken. Zu erwähnen sind auch die Zementierung von Geröllhorizonten mit limonitischer, zum Teil silikathaltiger Matrix um die Quellaustritte, und junge Travertinablagerungen.

Strukturell dominiert ein NW-SE streichendes Bruchsystem mit Abschiebungen und Verkippungen. Während in den vulkanischen Gesteinen die Bruchlinien durch spröde Deformationen und Alterationen (hauptsächlich Argillitisierung und Silifizierung) gekennzeichnet sind, erzeugten die tektonischen Bewegungen in den obermiozänen Sedimenten eine langwellige Verbiegung der Schichtungen. Bruchstufen, wie am Hang des Tuzla Tepe, können hier nur aus der Morphologie erkannt werden.

Neben N-S Strukturen ist auch eine ungefähr  $40^{\circ}$  streichende Störung südwestlich des Tuzla Tepe klar erkennbar. Obwohl dieser Richtung vermutlich eine grössere Bedeutung zukommt (siehe 2.4.4) konnte sie im Gelände nicht weiter verfolgt werden.

## Geothermische Oberflächenaktivitäten

### 1. Oberflächenablagerungen und Alterationen

Verschiedene Quellablagerungen und hydrothermale Alterationen fossiler und aktiver Systeme lassen sich im Gebiet um Tuzla kartieren und zeitlich differenzieren. Die wichtigsten hydrothermalen Phasen sind wie folgt charakterisiert (vgl. Abb. 3.8):

-Karminrote bis tief schwarze, konzentrische Eisenhydroxidkrusten sind im oberen Bereich der obermiozänen Sedimente als cm bis dm mächtige Lagen eingeschaltet (Abb.: 2.15). Netze von Klüften sind deutlich als Förderkanäle ("feeders") erkennbar und ebenfalls mit Krustenbildungen verheilt. Die Entstehung dieser Krustenlagen kann mit dem Ausströmen heißer Wässer oder Gase (hydrothermale Exhalation) in eine Depression erklärt werden.

-Zonen starker bis vollständiger Silifizierung kennzeichnen eine jüngere, hydrothermale Phase. Die silifizierten Bereiche wittern aufgrund ihrer Härte stark heraus. Sie bilden die Gipfel des Tuzla Tepe und des Ebe Tepe auf und sind an den Hängen des Tuzla Tepe als schroffe Felspartien erkennbar. Das Auskristallisieren von Baryt in Klüften ist wohl derselben Phase zuzuordnen. Die silifizierten Sedimente am Ebe Tepe geben für diese ein post-obermiozänes Alter an.

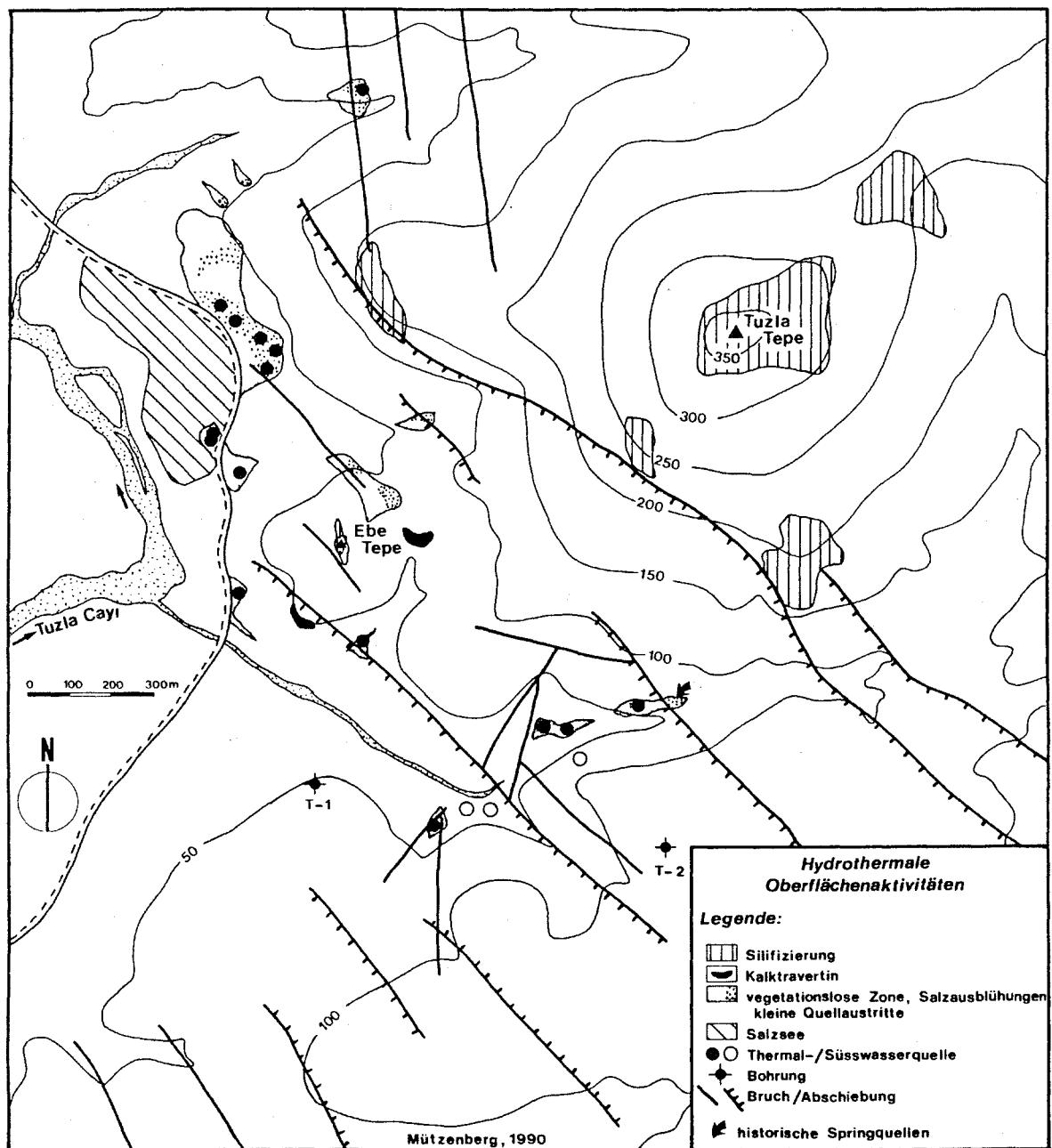


Abb 3.8: Karte mit den oberflächlich erkennbaren hydrothermalen Aktivitäten im geothermischen Feld von Tuzla.

-Kalktravertine säumen die Hänge des Ebe Tepe auf ungefähr 50 m.ü.M. Sie liegen diskordant auf obermiozänen Sedimenten und zeugen von früheren Austritten  $\text{Ca-HCO}_3$ -reicher Wässer mit tieferen Temperaturen.

-Die heutige hydrothermale Phase ist charakterisiert durch Na-Cl-reiche Wässer mit hohen Temperaturen. Rote bis ockerfarbene Konkretionen und Schlammablagerungen umgeben die Quelltöpfe und die abfliessenden Wässer. Nur wenige Quellen lagern bedeutende Travertine ab. Die nördlichsten Quellen (T11) und einige Austritte entlang der Strasse sind von silikatisch-kalzitischen Sintern umgeben. Um die Quelle T2 scheiden sich faserige Aragonitkristalle aus. Salzkrusten und Salzflächen unterstreichen die hohe Mineralisation der Wässer. Sie führt zu einer beschleunigten Alteration (Argillitisierung von Feldspäten und sekundäre Karbonatisierung) und Erosion der Gesteine.

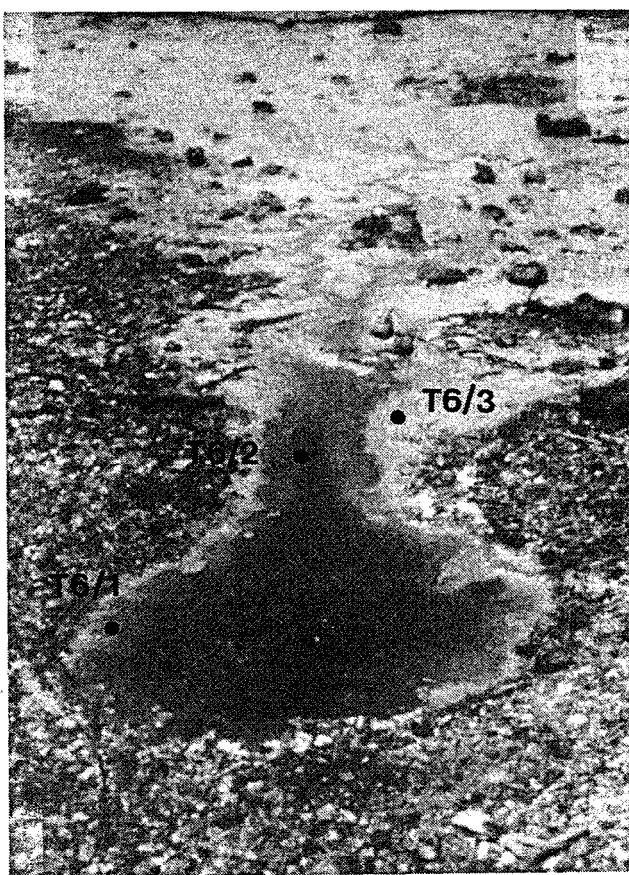


Abb. 3.9: Quellaustritt T6 in Tuzla mit den Entnahmestellen für geochemische Untersuchungen (Tab. 3.1).

## 2. Wasser- und Gasaustritte

-Wasseraustritte sind in verschiedenen Quellarten und Ergiebigkeiten anzutreffen. Die grössten Schüttungsmengen (bis 3 l/sec) zeigen Springquellen und offene Quelltöpfe. Sie fördern neben Gas auch mm grosse Teilchen von Metallhydroxiden. Geringere Wassermengen treten entlang Klüften aus. Die Ausflüsse sind stets < 1 l/min oder lediglich durch feuchte Felsoberflächen ("Schwitzen") erkennbar.

-Das Aufsteigen von Gasblasen ist in Quelltöpfen gut erkennbar. Auf dem feuchten Boden sind kleinere Gasaustritte vielerorts auch akustisch wahrnehmbar.

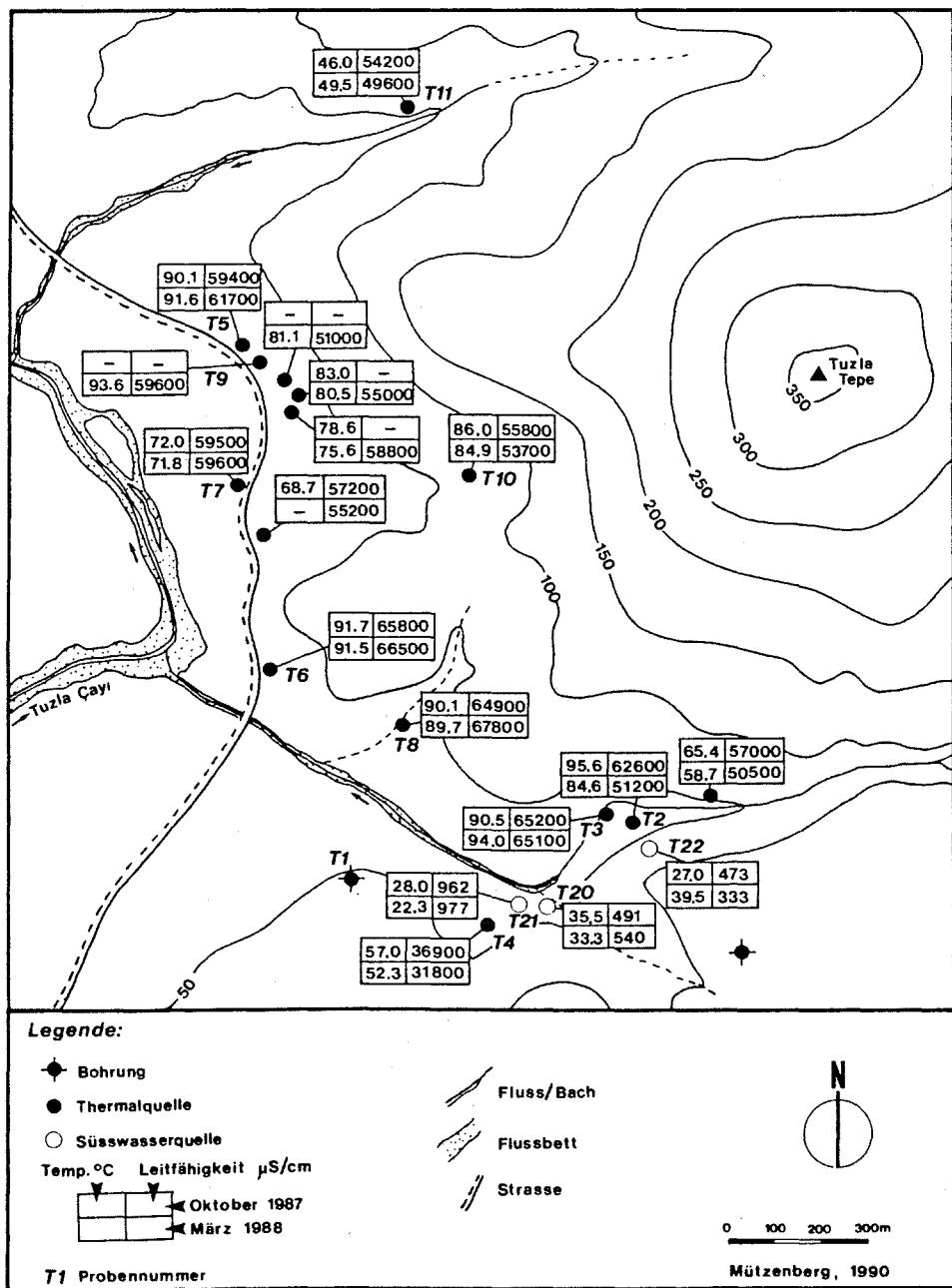


Abb. 3.10: Karte mit den beprobten Quellaustritten von Tuzla.

Tab 3.1: Geochemische Analysen der hydrothermalen Ausfällungen in Tuzla (in mg/kg)

	1 Exh S	2 Exh R	3 T6/1	4 T6/2	5 T6/3	6 T3/1
Be	5-10	5-10	200-300	50-150	50-150	200-300
B	100-150	200-250	300-400	150-200	300-400	350-450
Na	1000-2000	1000-2000	5x10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	4x10 <sup>4</sup> -6x10 <sup>4</sup>
Mg	1000-2000	1000-2000	300-500	1000-2000	1000-2000	800-1000
Al	20000-30000	8000-12000	1000-2000	4000-6000	1000-2000	5000-7000
Si	10 <sup>4</sup> -1.5x10 <sup>5</sup>	1.5x10 <sup>4</sup> -2x10 <sup>5</sup>	6x10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>5</sup> -2.5x10 <sup>5</sup>	6x10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> -1.5x10 <sup>5</sup>
P	≈1500	≈3000	nn	350-450	nn	nn
Ca	2000-4000	7000-10000	10 <sup>5</sup> -1.5x10 <sup>5</sup>	8x10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup> -1.5x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>4</sup> -4x10 <sup>4</sup>
Sc	100-200	100-200	nn	nn	nn	nn
Ti	2000-4000	2000-3000	15-25	1000-2000	250-350	100-200
V	300-400	250-350	≤5	25-35	10-20	≤5
Cr	100-200	100-200	40-50	30-40	30-40	40-50
Mn	300-500	700-900	2000-3000	800-1000	2000-4000	1000-3000
Fe	4x10 <sup>4</sup> -5x10 <sup>5</sup>	4x10 <sup>4</sup> -5x10 <sup>5</sup>	4x10 <sup>4</sup> -5x10 <sup>5</sup>	1.5x10 <sup>5</sup> -2.5x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>5</sup> -3x10 <sup>5</sup>	4x10 <sup>4</sup> -5x10 <sup>5</sup>
Co	20-30	20-30	nn	nn	nn	nn
Ni	250-350	300-400	<5	10-20	≤5	<5
Cu	50-80	100-150	60-80	150-250	30-50	5-10
Zn	400-600	700-900	3000-5000	400-800	2000-4000	2000-4000
Ga	8-12	8-12	≤1	4-7	≤1	2-4
Ge	2-4	4-6	>100	90-110	70-90	70-90
As	≤50	500-700	3000-4000	2000-3000	1000-2000	3000-5000
Sr	1000-2000	1000-2000	2000-4000	700-900	1000-2000	3000-5000
Y	30-50	20-50	nn	nn	nn	nn
Zr	400-500	250-350	<25	150-250	<25	30-40
Nb	10-20	10-20	nn	<10	nn	nn
Mo	10-15	10-15	8-12	2-4	5-9	3-7
Ag	≤1	≤1	1-2	<1	2-3	1-2
Cd	nn	nn	nn	nn	nn	nn
In	≤1	≤1	<1	<1	<1	≤1
Sn	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Sb	nn	nn	1000-2000	700-900	500-700	500-600
Ba	1000-2000	1000-2000	500-800	800-1000	1000-2000	500-800
La	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Yb	8-12	8-12	1-3	1-2	1-2	2-4
W	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Au	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Hg	nn	nn	nn	nn	nn	nn
Tl	nn	2-4	nn	nn	nn	nn
Pb	150-200	150-200	3000-4000	3000-4000	1000-2000	4000-6000
Bi	nn	nn	nn	nn	nn	nn
U	300-500	300-500	nn	nn	nn	nn

1,2: Exhalationskrusten in ob. Miocänen Sedimenten (S,R = schwarze bzw. rote Krustenlagen);

3-5: Ausfällungen der Thermalquelle T6 mit zunehmendem Abstand zum Quellaustritt;

6: Ausfällungen der Thermalquelle T3.

nn = nicht nachweisbar

### 3. Geochemische Untersuchungen

Für geochemische Untersuchungen wurden zwei Proben aus den obermiozänen Exhalationskrusten (je eine schwarze und eine rote Krustenlage) und vier Proben der rezenten Quellablagerungen aufbereitet.

T.M Seward (DSIR, Neuseeland) sind die Ausführungen dieser Analysen zu verdanken. Sie wurden mit verschiedenen spektrographischen Methoden der Emissions-Spektrographie ausgeführt.

Mit den Ergebnissen soll einerseits die chemische Charakteristik der hydrothermalen Phasen erfasst werden, andererseits können mögliche Anreicherungen von seltenen Elementen erkannt werden.

Sämtliche Proben enthalten bis 50% Eisen und bis 20% Silizium. Gegenüber den älteren Ablagerungen unterscheiden sich die rezenten Ausfällungen durch hohe Natrium (5 - 10%) und Kalzium-Gehalte (bis 15%), was der hydrochemischen Charakteristik der Quellwässer entspricht.

Unter den Spurenelementen verdienen die hohen Konzentrationen an Zn, Pb, Sb und As besondere Beachtung. Sie sind vorwiegend in den rezenten Ablagerungen angereichert, und zeigen hohe Konzentrationen dieser Stoffe in der Thermalsole an. Für die Herkunft können sowohl Sedimentgesteine als auch Subrosion sulfidischer Erzlagerstätten in Frage kommen (vgl. 2.3.5 und 3.4.5).

#### 3.2.5 SPEICHERGESTEINE UND FLIESSWEGE

Das Gebiet um Kestanbol Kaplica ist in seiner geologischen Struktur sehr inhomogen. Als Heisswasserreservoirs liegen alterierte und zerklüftete Quarzite und Magmatite vor (Yürür, 1985). Die vertikale Permeabilität ist entlang tiefreichenden Störungszonen gegeben. Die Austritte sind auf das relativ enge Gebiet mit den heutigen Quellaustreten beschränkt. Lehmiger Blockschutt und Alluvialbildung in den Talböden wirken als Deckschichten und begrenzen die Oberflächenaktivitäten gegen Westen.

Die Bohrung T1 in Tuzla traf in latitischen Laven (300-500 m) und permischen Kalken (760-814 m) auf Heisswasseraquifere (Şamilgil, 1984). Konstante Temperaturen um 170° markieren unterhalb 300 m eine Zone mit konvektivem Wärmetransport und grosser Durchlässigkeit. Die Porosität der Speichergesteine ist weitgehend an offene Klüfte entlang Bruchzonen gebunden. "Hydrofracturing", Auslaugung durch frühere hydrothermale Aktivitäten sowie fossile und rezente Karstsysteme spielen jedoch sicher auch eine bedeutende Rolle.

Als Deckschichten wirken neben den Ignimbrit- und Tufflagen auch feinkörnige Sedimente und Alluvionen in den höheren Bereichen. Ein Temperaturgradient von bis zu  $7^{\circ}/10\text{ m}$  zeigt den vorwiegend konduktiven Wärmetransport in diesen Schichten an.

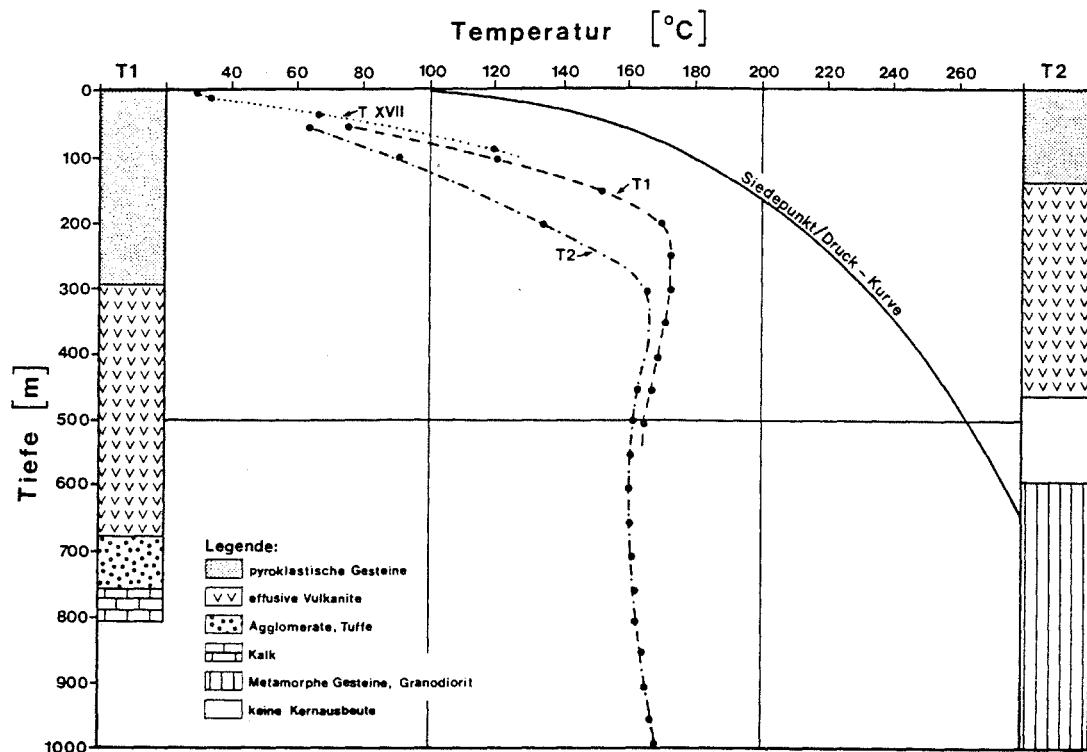


Abb. 3.11: Gesteinsschichten und Temperatur-/Tiefenprofile der Bohrungen von Tuzla  
(Quelle: Şamilgil, 1984; Karamanderesi, 1987).

Die Isolinien der Leitfähigkeit (Abb. 3.12) zeigen die wichtigste Fliessrichtung des Süßwassers, sowie eine mögliche Begrenzung des Heisswasseraquifers gegen Osten. Die sehr enge Anordnung der Isolinien im Süden ist mit einem hohen Grundwasservorkommen in diesem Bereich zu erklären.