



## Wasser, Quell des Lebens – Hydrogeologische Untersuchungen in Troia

Christian Wolkersdorfer

Untersuchungen zu den Wasservorkommen spielten schon früh in der archäologischen Erkundung Troias und seiner Umgebung eine entscheidende Rolle.<sup>1</sup> Dies ist auf mehrere Umstände zurückzuführen: zahlreiche Brunnen und Zisternen im Bereich des Burgberges, ein auffälliges Wasserbergwerk im Bereich der Unterstadt, ein imposantes Aquäduktbauwerk bei Kemerdere und nicht zuletzt Homers Ilias, in der von einer warmen und einer kalten Quelle unterhalb der troianischen Burgmauer gesprochen wird.<sup>2</sup>

Systematische hydrogeologische Untersuchungen in der troianischen Landschaft sind bislang nicht publiziert worden, wohingegen über die Thermalquellen von Tuzla, Çanakkale, Germençik oder Bursa bereits zahlreiche Studien erschienen sind.<sup>3</sup> Unvollständige Daten von einigen wenigen Meßstellen im Umfeld von Troia publizierten C. Schindler/A. Aksoy<sup>4</sup> sowie S. Şener, T. Demirer und Ş. Kaleli;<sup>5</sup> danach versuchte unter anderem İ. Kayan, die hydrogeologischen Verhältnisse zu klären.<sup>6</sup>

Ziel der archäo-hydrogeologischen Untersuchungen ist es, die zeitliche Variabilität der hydrogeologischen Verhältnisse während der Besiedlung Troias zu klären.<sup>7</sup> Im konzeptionellen Modell wird davon ausgegangen, daß sich die hydrogeologischen Verhältnisse im Hinterland seit Beginn der Besiedlung nicht signifikant geändert haben, sondern in ihren Mechanismen und Grundwasserfließrichtungen den heutigen Verhältnissen weitgehend entsprechen. Abstromig des Burgberges hingegen haben sich die Verhältnisse durch den allmählichen Vorbau des Karamenderesdeltas signifikant geändert, so daß durch Analogieschlüsse auf die prähistorischen und historischen Grundwasserstände und Grundwasserströmungen rückzuschließen ist. Daraus wiederum lassen sich Aussagen zum vorhandenen Grundwasser- und Trinkwaterpotential sowie möglicherweise zur Besiedlungsdichte zum jeweiligen Besiedlungszeitpunkt gewinnen.

Da die Wasserversorgung Troias wegen der langen Besiedlungsdauer von fast 4000 Jahren einem ständigen Wandel unterlag und sich auch räumlich änderte, müssen alle potentiellen Einzugsgebiete berücksichtigt werden. So erstreckt sich das heutige Grundwassereinzugsgebiet von Troia bis hinter Gökçalı, zur Zeit von Troia IX sogar bis über Kemerdere hinaus.

Zur Modellierung des jeweiligen Zustandes ist es nötig, die Grundwasserneubildungsraten hinreichend genau zu erkunden. Da über prähistorische oder historische Grundwasserneubildungsraten nur wenig bekannt ist, muß durch ein ausreichend großes Modellgebiet gewährleistet werden, daß die Umfeldeinflüsse des heutigen Ist-Zustandes bekannt sind.



▼ Abb. 1  
 Probenahme an einem Schachtbrunnen. Links das Kabellichtlot zum Messen der Wasser- und Brunnentiefe, in der Mitte Wasserbehälter zum Messen der physikochemischen Parameter, rechts auf dem Koffer die Anzeigeeinheit für den Sauerstoffgehalt.

Daher umfaßt das ca. 200 km<sup>2</sup> große »Modellgebiet Troia« alle Bereiche, von denen angenommen werden muß, daß sie für die Wasserversorgung Troias eine entscheidende Rolle gespielt haben oder noch heute spielen. Anhand der Ergebnisse zu den derzeitigen hydrogeologischen Verhältnissen ist es möglich, Rückschlüsse auf Herkunft, Menge und Archäotemperatur des Grund- und Oberflächenwassers zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Besiedlung Troias zu ziehen.

## Methodik

Derzeit werden an 205 Meßstellen in der troianischen Landschaft hydrogeologische Parameter gewonnen und ausgewertet.<sup>8</sup> Weiterhin sind im Düdenquelltopf (Bozcaada Tarım İşletmesi) und im troianischen Wasserbergwerk Datenlogger installiert, die stündlich die Temperatur, Leitfähigkeit und Wasserstand aufzeichnen. Bei den hydrogeologischen Probenahmen werden pro Meßstelle im Schnitt 20, maximal 80 Parameter gewonnen, die teilweise direkt an der Meßstelle, teilweise erst im Labor bestimmt werden (Abb. 1).

Je nach Typ der Meßstelle lassen sich unterschiedliche Informationen gewinnen. Zunächst ist zu unterscheiden zwischen trockenen Meßstellen und solchen mit Wasser. Trockene Meßstellen sind versiegte Brunnen, Zisternen oder Wasserläufe, die außer der Brunnen-, Zisternen- oder Flußohle keine weiteren Parameter liefern. Gleichwohl sind aus diesen Meßwerten Rückschlüsse auf frühere Grundwasserstände möglich, so daß trockene Meßstellen für die Rekonstruktion früherer Zustände durchaus von Bedeutung sind. Bei wasserführenden Meßstellen werden an einer repräsentativen Auswahl Wasserproben entnommen und konserviert, um sie später im Labor chemisch und isopenhydrologisch zu analysieren. Zusätzlich werden an diesen Meßstellen die Wassertemperatur, die elektrische Leitfähigkeit, das

Datenlogger

Meßgerät zur Aufzeichnung von Daten.

#### Redoxpotential

Maß für die Bereitschaft zur Oxidation bzw. Reduktion eines Stoffes.

Redoxpotential und der pH-Wert gemessen. Sofern fließendes Wasser vorliegt, erfolgt außerdem eine Bestimmung des Durchflusses.

An jeder Meßstelle wird mit einem elektronischen Thermometer die Wassertemperatur auf 0,1 K (Kelvin) genau gemessen. Sie ist bei Oberflächenmeßstellen stark von der Tages- und Jahreszeit abhängig, bei Grundwasser-Meßstellen hingegen weniger. Starke Amplituden des Temperaturganges bei Grund- oder Quellwassermeßstellen deuten somit auf recht kurze Verweilzeiten des Wassers im Untergrund hin, wohingegen geringe Amplituden ein Hinweis auf große Verweilzeiten sind. Weiterhin erfolgt eine Messung der elektrischen Leitfähigkeit auf wenigstens  $1 \mu\text{S cm}^{-1}$  Genauigkeit. Diese ist ein Maß für die Summe der gelösten Stoffe im Wasser und steigt mit zunehmender Menge an gelösten Stoffen an. Das Redoxpotential ist ein Maß für die oxidierende und reduzierende Kraft eines Systems und wird auf 1 mV genau gemessen. Dabei ist die oxidierende Wirkung um so stärker, je größer das Redoxpotential ist und die reduzierende Wirkung umso stärker, je kleiner das Redoxpotential ist. Zusätzlich wird der pH-Wert des Wassers gemessen, der ein Maß für die Wasserstoffionenaktivität des Wassers darstellt. Seine Messung erfolgt potentiometrisch mit einer mehrmals täglich zu kalibrierenden pH-Elektrode auf 0,01 Einheiten genau. Neben diesen physikochemischen Parametern wird der Sauerstoffgehalt des Wassers durch ein elektrochemisches Verfahren mit einer Nachweisgrenze von  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  ermittelt und auf  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$  genau angegeben. Sauerstoff gelangt über die Wasseroberfläche aus der Luft ins Wasser und wird durch Photosynthese im Wasser produziert. Er ist für die Organismen im Wasser lebensnotwendig und wird von diesen durch Atmung aufgebraucht.

Jeder der vorgenannten Parameter wird direkt an der Meßstelle, wenn möglich im fließenden Wasser gemessen und durch Mittelung von wenigstens drei Einzelmessungen bestimmt, um zufällige Meßfehler oder geringfügige Schwankungen im Wasser auszugleichen. An Quellen, Oberflächengewässern oder Brunnen mit Rohr erfolgt durch »Auslitern« eine Durchflußmessung, um eine Wasserbilanz des Gebiets zu ermöglichen. Weiterhin werden im Gelände die Parameter analysiert, die sich schnell verändern: Säure- und Basekapazität, Nitrat-, Nitrit- und Phosphat-Massenkonzentration.

Für die chemischen Analysen des Wassers sind zwei unterschiedlich behandelte Wasserproben nötig. Eine Probe wird ungefiltert abgefüllt, beschriftet und verschlossen. Von dieser Probe werden später im Labor die Hauptionen bestimmt, darunter die Kationen Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium und Silizium sowie die Anionen Chlorid und Sulfat. Eine weitere Probe wird an der Probenahmestelle mit einem  $0,45 \mu\text{m}$ -Filter filtriert, in 50 mL Flaschen abgefüllt und mit einigen Tropfen Salpetersäure stabilisiert. In dieser Probe werden im Labor Spurenelemente wie Barium, Strontium, Arsen oder Blei analysiert.

Zusätzlich zu den spezifischen hydrogeologischen Charakteristika wird an jeder Meßstelle eine exakte Beschreibung der äußeren Erscheinung vorgenommen. Dies soll es späteren Bearbeitern erleichtern, die Meßstellen wieder zu finden.

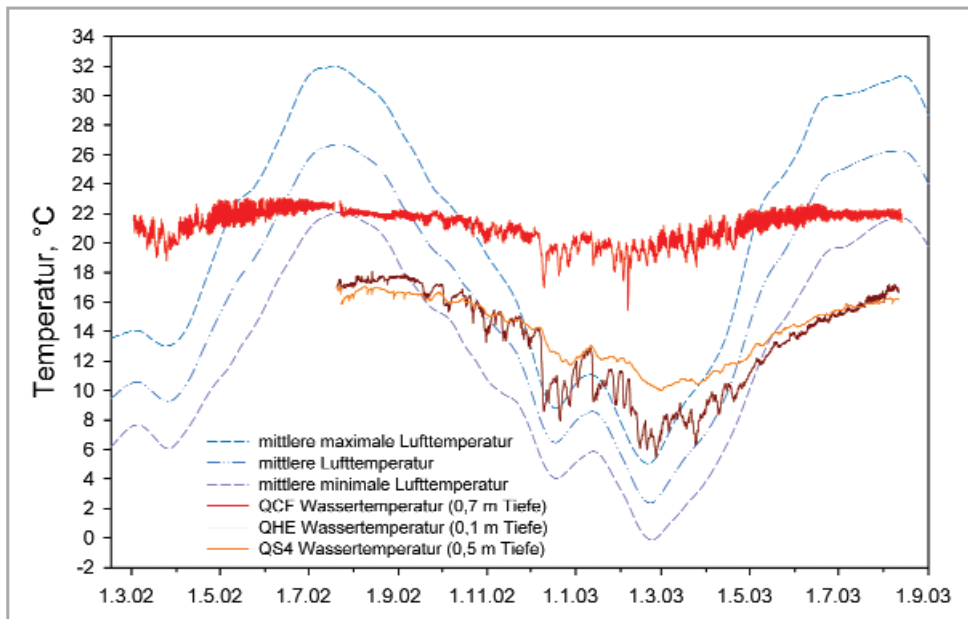
## Untersuchungsergebnisse

#### Tracertest

Methode zur Ermittlung von Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung von Wasser.

Schwerpunkt der ersten hydrogeologischen Untersuchungen war das troianische Wasserbergwerk im Bereich der westlichen Unterstadt, da es in der archäologischen Forschung einen besonderen Stellenwert genießt.<sup>9</sup> Dazu erfolgten mehrere hydrogeologische Beprobungen, Stollenkartierungen, Tracertests und Messungen der Wasserschichtung in Schacht 4 des Wasserbergwerks. Außerdem erfolgte eine flächenhafte Aufnahme von Meßstellen im potentiellen Wassereinzugsgebiet Troias und des Düdenquelltopfs sowie der 40 Quellen von Pınarbaşı.

Im Wasserbergwerk fanden im Juni 2002 bei einem Durchfluß von etwa  $1 \text{ L min}^{-1}$  zwei Tracertests mit Steinsalz und Natriumfluorescein statt, um die Fließgeschwindigkeit des Wassers von Schacht 4 zu Schacht 2 zu ermitteln. Dazu wurden im Schacht 4 zunächst einige Milliliter Natriumfluorescein zugegeben und einen Tag lang regelmäßig die Färbung des aus dem Bergwerk ausfließenden Wassers beobachtet. Nach dieser Zeit hatte sich noch keine Färbung gezeigt, so daß der Versuch als Langzeitversuch mit Steinsalz wiederholt wurde. 697 g gelöstes Steinsalz wurden am 24. Juli 2002 an der Oberfläche von Schacht 4 zugegeben, was zu



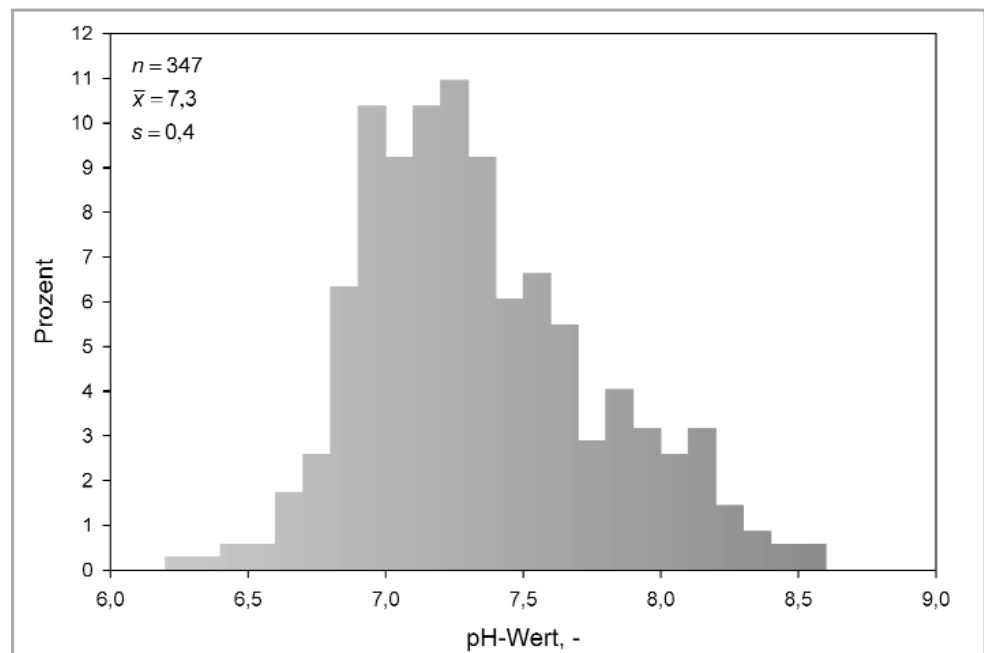
▼ Abb. 2  
Wassertemperaturen im Dudenquelltopf (QCF), im Schacht 4 (QS4) und im Becken E des troianischen Wasserbergwerks (QHE). Lufttemperaturen der meteorologischen Station Çanakkale (NOAA-Datensatz).

einer Leitfähigkeitserhöhung von mehreren  $100 \mu\text{S cm}^{-1}$  hätte führen müssen. Im Schacht 3 registrierte bis zum 31. Juli jeweils ein minütlich aufzeichnender Datenlogger<sup>10</sup> die Temperatur und Leitfähigkeit. Wie sich zeigte, pendelte die Leitfähigkeit um  $1137 \mu\text{S cm}^{-1}$  bei einer sehr geringen Standardabweichung von  $12 \mu\text{S cm}^{-1}$ , so daß keine Erhöhung der Leitfähigkeit zu beobachten war. Zwischen 1998 und 2003 flossen aus dem Bergwerk täglich 200–3100 l Wasser mit einem Wintermittelwert von  $10^\circ\text{C}$  und einem Sommermittelwert von  $17^\circ\text{C}$  (Abb. 2).

Bei der Beprobung der Meßstellen im weiteren Umfeld von Troia sollten auch die Wasserquellen der römischen Wasserversorgung gefunden werden. Dazu fand eine Begehung des Gebiets östlich und südöstlich von Kemerdere statt,<sup>11</sup> wo sich die auffälligste der römischen Aquäduktbrücken befindet.<sup>12</sup> Bereits 2001 zeigte sich, daß die Tonröhren der römischen Wasserleitung stark versintert sind, so daß als Arbeitshypothese angenommen wurde, die ehemals römische Quelle müsse einen hohen Gehalt an Hydrogenkarbonat aufweisen. Folglich sollten sich um diese Quelle, so sie heute noch lokalisierbar wäre, starke Versinterungen zeigen. Tatsächlich finden sich in den überwiegend kristallinen Gesteinen am Nordabhang des Gök Tepe und Yürüküyürdü Tepe östlich von Kemerdere zahlreiche Quellaustritte mit teilweise meterhohen Sinterablagerungen, die als Zuläufe zu dem römischen Aquäduktssystem gedient haben könnten. Neun dortige Meßstellen weisen Leitfähigkeiten von  $590\text{--}840 \mu\text{S cm}^{-1}$ , pH-Werte von 6,7–7,6, Redoxpotentiale von 200–360 mV und Temperaturen von  $17,7\text{--}24,6^\circ\text{C}$  auf und an einer dieser Meßstellen wurde ein Hydrogenkarbonatgehalt von  $400 \text{ mg L}^{-1}$  bestimmt – die hydrogeochemische Analyse ergibt ein Kalzium-Hydrogenkarbonat-Wasser. Östlich der großen Aquäduktbrücke ließ sich der Durchmesser der doppelten Tonröhrenleitung auf 17–18 cm bestimmen, so daß bei einem angenommenen Gefälle von 0,2 % und einem Füllungsgrad von 0,6 eine Wassermenge von  $10\text{--}12 \text{ L s}^{-1}$  ( $900\text{--}1000 \text{ m}^3$  pro Tag) in Troia zur Verfügung stand. Im Bereich der Aquäduktbrücke über den Kemerdere fanden sich Tonrohre mit einem Innendurchmesser von 13,7 cm und einem Außendurchmesser von 19,7 cm, die im Inneren von einer 1,4 cm dicken, deutlich mehrlagigen Sinterschicht ausgefüllt waren.

An den 205 Meßstellen im Umfeld von Troia betragen die Temperaturen  $11,9\text{--}33,7^\circ\text{C}$  bei einem Mittelwert von  $21,2^\circ\text{C}$  (365 Meßwerte), der pH-Wert 6,3–8,6 (Mittel 7,3; 347 Messwerte; Abb. 3), die Leitfähigkeit  $360\text{--}6400 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Mittel  $1470 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; 347 Meßwerte) und das Redoxpotential  $-71\text{--}890 \text{ mV}$  (Mittel 332 mV; 347 Meßwerte). Die meisten Haupt- und Spurenelemente der troianischen Wässer schwanken (Abb. 1) recht stark, was auch für die Schüttungen der Quellen gilt. Fast alle Quellschüttungen haben von 2002 auf 2003 deutlich zugenommen – teilweise um mehr als das Doppelte des jeweiligen Vorjahreswertes.

Abb. 3 ▼  
 Histogramm der pH-Werte aller zwischen 2001 und 2003 gemessenen Meßstellen in der troianischen Landschaft.  
 n: Anzahl der Meßwerte;  
 $\bar{x}$ : Mittelwert;  
 s: Standardabweichung der Stichprobe.



Von den anderen Parametern sind besonders der Nitratgehalt und der Grundwasserflurabstand von Interesse, da sie einen Hinweis auf die landwirtschaftliche Nutzung der troianischen Landschaft erlauben. Auf die Analyse von Pflanzenschutzmitteln oder Düngemitteln im Grundwasser der Karamenderesebene wurde bislang verzichtet, da der landwirtschaftliche Einfluß auf das Grundwasser nicht im Mittelpunkt der Untersuchungen steht. Im gesamten Untersuchungsgebiet betragen die Flurabstände zwischen 0 cm und 15 m, wobei in der Karamenderes- und Dümrekebene durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung die tiefsten Grundwasserstände auftreten (Abb. 5). Entgegen Kayan<sup>13</sup> sind Flurabstände von mehr als 3 m in der Karamenderes- und mehr als 6 m in der Dümrekebene keine Seltenheit.<sup>14</sup> Dies führt dazu, daß nahezu alle Schachtbrunnen in Troia zwischenzeitlich trocken gefallen sind und der Grundwasserstand im Sommer 2003 bis zu 10 m unter den Sohlen der prähistorischen und historischen Brunnen stand.

An insgesamt 86 Wasserproben von 46 Meßstellen konnten vor Ort die Nitratwerte der Grund- und Oberflächenwässer bestimmt werden (Abb. 4). Dabei wurde im Jahr 2003 der negative Trend der Vorjahre bestätigt, daß viele Wässer Nitratwerte über dem türkischen Grenzwert von  $45 \text{ mg L}^{-1}$  und dem EU Grenzwert von  $25 \text{ mg L}^{-1}$  aufweisen: 27 % aller Meßwerte liegen über dem türkischen und 33 % aller Meßwerte über dem EU Grenzwert für Trinkwasser (Abb. 6). Zahlreiche der Meßstellen mit extrem hohen Nitratwerten werden von Wanderarbeitern und Hirten als Trinkwasser genutzt, die gelegentlich auch von gesundheitlichen Beschwerden berichteten.

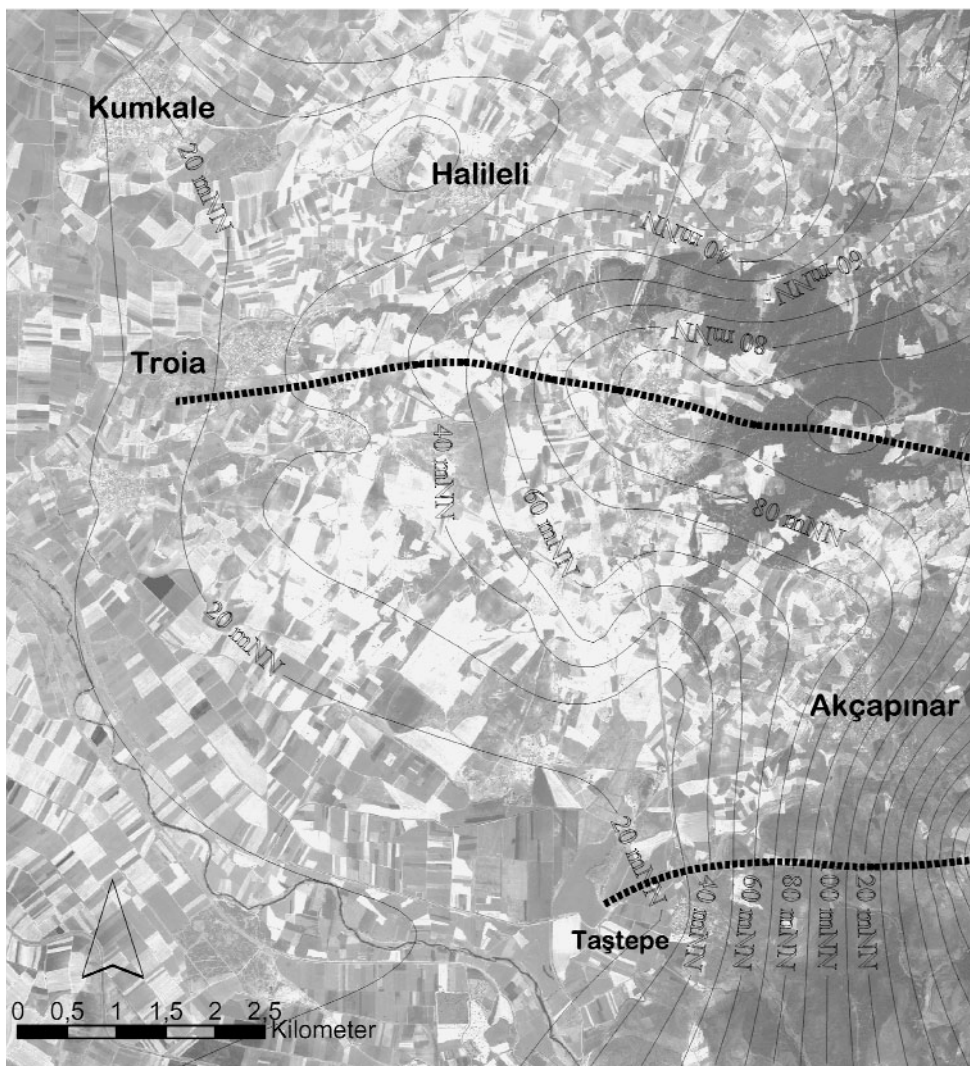
## Interpretation ausgewählter Ergebnisse

Während des Sommers 2003 bestand in Schacht 3 des troianischen Wasserbergwerks mit ca. 1 cm Wasserstand kein signifikanter Unterschied zum Sommer 2002. Wie vor allem der Tracertest im troianischen Wasserbergwerk zeigt, existiert zwischen Schacht 4 und 2 kein hydraulischer Kontakt; das gesamte Wasser aus dem Stollen Ia fließt in der ca. 40 m langen Strecke zwischen Schacht 2 und Schacht 3 zu, was das hydrogeologische Profil durch den Troia-Rücken bestätigt.<sup>15</sup> Diese stagnierenden Verhältnisse im hinteren Bereich des Stollens Ia belegen auch die charakteristische Schichtung in Schacht 4. Gleiches zeigt die elektrische Leitfähigkeit des Wassers, die in Schacht 4 mit  $1105 \mu\text{S cm}^{-1}$  etwa  $70 \mu\text{S cm}^{-1}$  unter der des Wassers bei Schacht 1–3 liegt. Es ist folglich davon auszugehen, daß heute mit ca.  $1\text{--}2 \text{ L min}^{-1}$

	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	Sr <sup>++</sup>	Ba <sup>++</sup>	Zn <sup>++</sup>	As
Mittelwert	92,8	97,8	67,3	7,6	517,9	183,7	71,4	38,2	867,1	180,4	26,4	11,6
Standardabw.	49,5	55,7	48,7	15,7	176,8	179,3	71,7	73,3	804,4	187,1	66,3	7,4
Konfidenz 95	13,5	15,2	13,3	4,5	36	49	19,6	15,7	219,6	51,1	19,9	2,5
Anzahl	54	54	54	50	95	54	54	86	54	54	45	37
Minimum	12	7,3	9,7	0,7	181	24	8,4	0,3	13,6	7,7	1,8	3,3
Maximum	252	238,2	219,1	75	1034,2	1028	387,1	449,3	3689	852,3	403	39,2

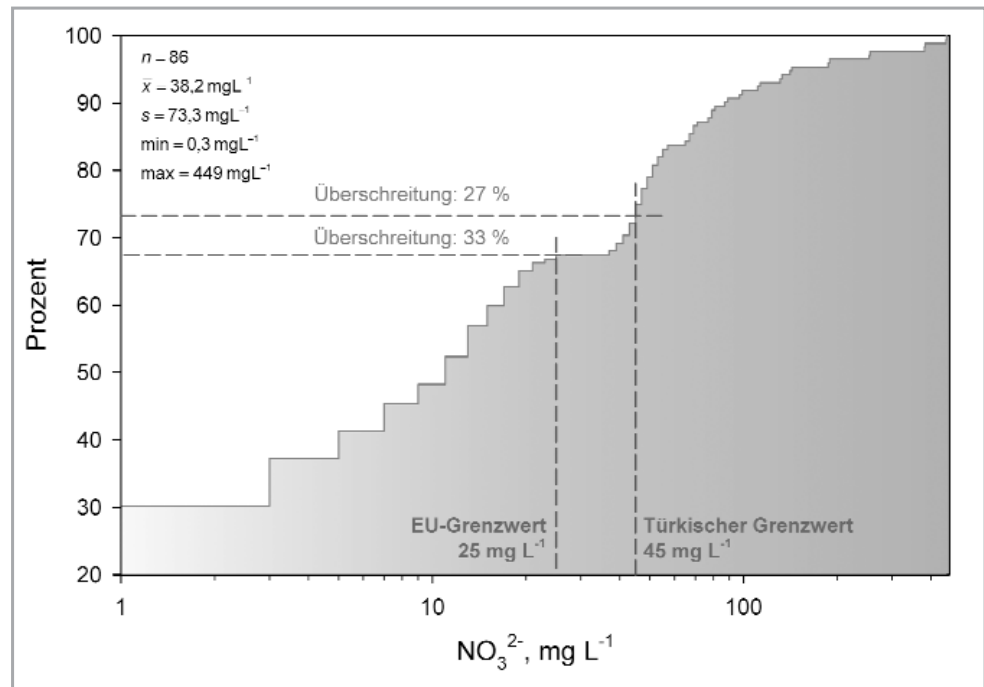
deutlich weniger Wasser ausfließt als zur Siedlungszeit Troias. Manfred Korfmann<sup>16</sup> beschreibt im Quadrat t14 einen möglichen Quellzulauf zur »Waschmulde« A<sup>17</sup>, der den hydrogeologischen Untersuchungen zufolge im Ausstrichsbereich des oberen Grundwasserleiters liegt. Während der Geländebegehungen 2001–2003 war diese ehemalige Quelle stets trocken. Dies ist wiederum ein Beleg dafür, daß derzeit weniger Wasser aus der Quellschneise fließt als früher. Zwei Gründe sind dafür verantwortlich: zum einen die Zerstörung der wasserspeichernden Bodenschichten im Einzugsbereich des Stollensystems zwischen Tevfikiye und Çıplak sowie bei Gökçalı bei gleichzeitiger Erniedrigung der jährlichen Grundwasserneubildungsrate von heute 60 mm,<sup>18</sup> zum anderen die Grundwasserabsenkung durch die Landwirtschaft in der troianischen Ebene. Wie Lippmann zeigt,<sup>19</sup> streicht der untere Grundwasserhorizont im Bereich der quartären Flußablagerungen des Karamenderes aus, so daß eine Beeinflussung dieses Grundwasserleiters durch die Grundwasserabsenkung nicht von vornherein auszuschließen ist.<sup>20</sup>

▼ Abb. 4  
 Statistische Parameter der Hauptionen sowie ausgewählter Spurenelemente in der troianischen Landschaft. Hauptionen in mg L<sup>-1</sup>, Spurenelemente in µg L<sup>-1</sup>. Standardabw.: Standardabweichung der Stichprobe; Konfidenz 95: 95 %-Konfidenzintervall.



▼ Abb. 5  
 Grundwassergleichenplan des oberen Grundwasserleiters. Die dicke, gestrichelten Linien bezeichnen Grundwasser-scheiden.

Abb. 6 ▼  
 Kumulatives Histogramm der Nitratwerte in der troianischen Landschaft mit den Grenzwerten der türkischen und der EU-Trinkwasserverordnung.  
 n: Anzahl der Meßwerte;  
 $\bar{x}$ : Mittelwert; s: Standardabweichung der Stichprobe;  
 min/max: niedrigster und höchster Messwert.

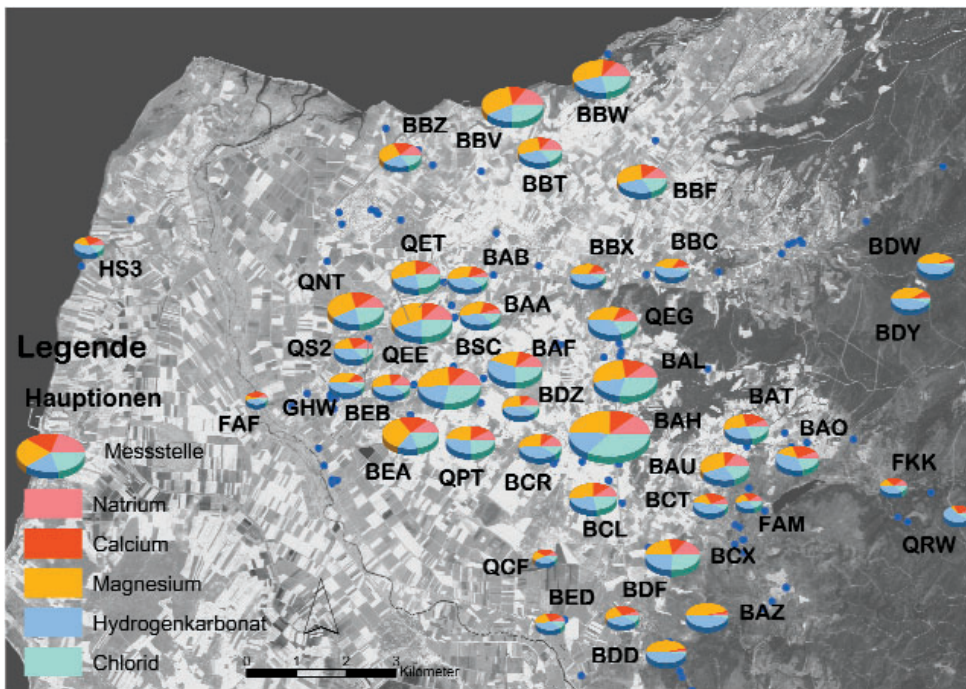


Durch die hydrogeologischen und hydrotechnischen Untersuchungen an der römischen Wasserleitung zwischen der Aquäduktbrücke über den Kemerdere und dem Bereich der römischen Quelfassungen konnte gezeigt werden, daß dem römischen Troia täglich 900 bis 1000 m<sup>3</sup> Wasser über den Aquädukt zugeführt wurden. Angaben zum täglichen Wasserverbrauch der Einwohner einer römischen, über Aquädukte versorgten Stadt bewegen sich zwischen 70 und 600 l;<sup>21</sup> für Pompeji werden 800 Liter pro Tag angenommen<sup>22</sup>. Der heutige tägliche Wasserverbrauch in Deutschland liegt bei 129 Litern pro Person<sup>23</sup> und in den USA bei etwa 380 Litern pro Person.<sup>24</sup> Auf Basis dieser Zahlen hat die Einwohnerzahl des römischen Troia wohl zwischen rund 2000 und 11000 Personen gelegen.

In der Aquäduktbrücke über den Kemerdere verlief eine doppelte Tonröhrenleitung als Druckleitung; an dieser Stelle existierte folglich ein Siphon. Dies bestätigen die unterschiedlichen Durchmesser der Tonröhren von 17–18 cm im Oberlauf der Brücke (Füllungsgrad ca. 0,6: 144 ± 8 cm<sup>2</sup>) und von 13–14 cm (Füllungsgrad 1: 143 ± 11 cm<sup>2</sup>) im Bereich der Brücke selbst sowie die unterschiedliche Art der Sinterbildung. Während die Röhren im Oberlauf nur an der Röhrensohle Sinterbildung zeigen, sind die Röhren im Brückenbereich vollständig versintert, was nur bei vollständiger Wasserfüllung zu erklären ist.

Durch die chemischen und physikochemischen Analysen war es möglich, in der troianischen Landschaft drei Wassertypen zu differenzieren (Abb. 7), die sich signifikant in ihren Leitfähigkeiten unterscheiden, wobei der erste Typ in zwei Subtypen untergliedert werden kann. Insgesamt sind die Leitfähigkeiten aller Wässer jedoch sehr hoch. Relativ niedrige Leitfähigkeiten (359–1900 µS cm<sup>-1</sup>) kennzeichnen alle Oberflächenwässer, den unteren Grundwasserhorizont und die Wässer in den Gebieten mit geologisch älteren Gesteinen im östlichen Untersuchungsbereich. Mittlere Leitfähigkeiten (1900–3500 µS cm<sup>-1</sup>) sind für die oberflächennahen Grundwässer des Troia- und Kumkale-Rückens typisch und die extrem hohen Leitfähigkeiten über 3500 µS cm<sup>-1</sup> zweier Meßstellen westlich von Kalafat und östlich von Çıplak weisen auf anthropogene Beeinflussung hin.

Troias Brunnen wurden, bevor sie trocken fielen, aus dem oberen Grundwasserhorizont versorgt, dessen Grundwasserneubildungsgebiet zwischen Çıplak und Gökçalı liegt. Schacht 2 im Wasserbergwerk und der große Troia-VI-Brunnen Bb binden in den zweiten Grundwasserleiter ein, dessen Einzugsgebiet sich aus den bisherigen Untersuchungen nicht sicher ableiten läßt, gleichwohl der Grundwassergleichenplan einen Zufluß aus östlicher Richtung belegt (Abb. 5).



▼ Abb. 7  
Tortendiagramme der anteilmäßig wichtigsten Hauptionen (in meq L<sup>-1</sup>) und Bezeichnung der Messstellen mit Wasseranalysen. Blau eingezeichnet zusätzlich alle anderen Messstellen. Der Diagrammradius ist direkt proportional zur elektrischen Leitfähigkeit des Wassers.

## Anmerkungen

- 1 Schliemann 1881a. – Virchow 1879.
- 2 Homer Ilias XXII 147–156.
- 3 Şevki et al. 2000. – Imbach 1997. – Mützenberg et al. 1992. – Yüzer 1997. – Crouch 1993, 92.
- 4 Schindler/Aksoy 1997.
- 5 Şener et al. 2003.
- 6 Kayan 2000.
- 7 Am Lehrstuhl für Hydrogeologie der TU Bergakademie Freiberg liefen dazu bereits vier Diplomarbeiten von Katrin Bergmann, Claudia Blume, Pia Lippmann und Claudia Weber.
- 8 Wolkersdorfer et al. 2004.

- 9 Bei den Geländearbeiten wirkten mit: Prof. Dr. Ernst Pernicka, Dr. Jana Göbel, Katrin Bergmann, Claudia Blume, Pia Lippmann, Claudia Weber sowie Studierende von Prof. Dr. İlhan Kayan. Daten wurden zur Verfügung gestellt von NASA – U.S. National Aeronautics and Space Administration und NOAA – U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- 10 CTD Diver<sup>®</sup>, Van Essen Instruments, Delft.
- 11 Begehung 2001 und 2002 zusammen mit Prof. Dr. Ernst Pernicka, Dr. Gebhard Bieg, Ralf Becks M.A., Prof. Dr. William Aylward und Donna Strahan, M.A.
- 12 Aylward et al. 2002.
- 13 Kayan 2000.

- 14 Kayan 2000, 138.
- 15 Lippmann 2003, 116.
- 16 Korfmann 2000a.
- 17 Korfmann 2000a, 40.
- 18 Blume 2003, 26–27.
- 19 Lippmann 2003, 116, Abb. 39.
- 20 In Abb. 39 bei Lippmann 2003 ist der westliche Abfall des Troia-Rückens steiler zu zeichnen; an der Aussage ändert sich dadurch nichts.
- 21 Hansen 2004, 1.
- 22 Crouch 1993, 180.
- 23 Statistisches Bundesamt, Pressemitteilung vom 20. März 2003
- 24 United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Bericht EPA 815-K-97-002, Juli 1997.



## Literatur

Aylward, William/Bieg, Gebhard/Aslan, Rüstem. 2002. The Aqueduct of Roman Ilion and the Bridge Across the Kemendere Valley in the Troad, *Studia Troica* 12: 397—427.

Blume, Claudia. 2003. Hydrogeologisches Modell der östlichen Troas/Türkei. Freiberg.

Crouch, Dora P. 1993. *Water Management in Ancient Greek Cities*. New York.

Filiz, Sevki/Tarcan, Gültekin/Gemici, Ünsal. 2000. Geochemistry of the Germencik Geothermal Fields, Turkey. Kyushu – Tohoku.

Hansen, Roger D. 2004. Water and Wastewater Systems an Imperial Rome. <http://www.waterhistory.org/histories/rome> (7.1.2004).

Imbach, Thomas. 1997. Deep groundwater circulation in the tectonically active area of Bursa, Northwest Anatolia, Turkey, *Geothermics* 26/2: 251—278.

Kayan, İlhan. 2000. The Water Supply of Troia, *Studia Troica* 10: 135—145.

Korfmann, Manfred. 2000. Unterstadt, Quellhöhle und Umgebung, Quadrate t15, u15 und tu14 sowie t14, Verantwortliche Ausgräber Eva Rosenstock und Dr. Mikhail Treister, *Studia Troica* 10: 39—41.

Lippmann, Pia. 2003. Geowissenschaftlich-Montanistische Untersuchungen an der Quellhöhle („KASKAL.KUR“) Troias. Freiberg.

Mützenberg, Stefan/Balderer, Werner/Rauert, Werner. 1992. Environmental isotope study of saline geothermal systems in western Anatolia, Çanakkale, Turkey, *Proceedings – International Symposium on Water-Rock Interaction* 7: 1317—1320.

Schindler, Conrad/Aksoy, Ahmet. 1997. Active tectonics of northwestern Anatolia – the Marmara poly-project, a multidisciplinary approach by space-geodesy, geology, hydrogeology, geothermics and seismology. Zürich.

Schliemann, Heinrich. 1881. *Ilios – Stadt und Land der Trojaner – Forschungen und Entdeckungen in der Troas und besonders auf der Baustelle von Troja*. Leipzig.

Sener, Sabri/Demirer, Tuncay/Kaleli, Sükrü. 2003. A Research on Irrigation Water Quality of Çanakkale, Ezine and Lapseki Provinces. [http://www.toprak.org.tr/isd/can\\_01.htm](http://www.toprak.org.tr/isd/can_01.htm) (23.5.2003).

Virchow, Rudolf. 1879. Beiträge zur Landeskunde der Troas, *Abhandlungen der königlichen Akademie der Wissenschaften Berlin Physikalische Klasse* 3: 1—190.

Wolkersdorfer, Christian/Göbel, Jana/Blume, Claudia/Weber, Claudia. in Druck. Hydrogeologische Probenahmestellen in der Troianischen Landschaft, *Studia Troica* 14.

Yüzer, Erdogan. 1997. Hydrogeology of Northwestern Turkey, in: Schindler, Conrad/Aksoy, Ahmet (Hrsg.). Zürich.