Sonderdruck aus

STUDIA TROICA

Band 14 · 2004

VERLAG PHILIPP VON ZABERN · MAINZ AM RHEIN

HYDROGEOLOGIE DER TROIANISCHEN LANDSCHAFT – EINE BESTANDSAUFNAHME

Christian Wolkersdorfer und Jana Göbel

ZUSAMMENFASSUNG

Im Bereich des "Historischen Nationalparks Troia" wurden hydrogeologische Untersuchungen vorgenommen und 205 Wasseraustritte hydrogeochemisch und physiko-chemisch beprobt. Aus 54 chemischen Analysen der Wässer ließen sich drei Wassertypen ableiten, die sich signifikant voneinander unterscheiden und auf unterschiedliche Liefergebiete hinweisen. Hydrogeochemische, hydrologische und sedimentologische Untersuchungen im Wasserbergwerk Troias belegen, dass dieses Wasserbergwerk der Zusatzversorgung Troias mit Wasser gedient hat und die Schüttungsmengen vermutlich zu keinem Zeitpunkt ausreichten, um den ganzen Ort mit Wasser zu versorgen.

ABSTRACT

Hydrogeological investigations were carried out in the „Historical National Park Troia" and 205 water sampling points were investigated hydrogeochemically and physico-chemically. Three water types being significant different and having different recharge areas could be derived from 54 chemical analyses. Hydrogeochemical, hydrological, and sedimentological investigations in the Trojan water mine proved that the water mine has served as Troia's additional water supply and that the flows never were high enough to serve the whole city with water.

Einleitung[1]

Troia ist eine der am besten untersuchten archäologischen Stätten, die wir kennen. Seit den ersten umfangreichen Ausgrabungen durch Heinrich Schliemann vor 134 Jahren haben sich zahlreiche Wissenschaftler mit den dortigen Hinterlassenschaften befasst. Von Anfang an spielten Untersuchungen zur Wasserversorgung der Siedlung eine entscheidende Rolle bei den Forschungsreisenden und den Archäologen, da nach Homers Ilias Hektor und Achilleus bei ihrer Verfolgung mehrmals an einer warmen und kalten Quelle vorbei gelaufen sein sollen:

Und zu den beiden Brunnen kamen sie, den schönfließenden, wo die Quellen, / Die zwei, entspringen des wirbelnden Skamandros: / Die eine fließt mit warmem Wasser, und rings steigt Dampf / Aus ihr empor wie von einem brennenden Feuer; / Die andere aber fließt auch im Sommer so kalt wie Hagel / Oder wie kühler Schnee oder Eis, gefroren aus Wasser, / Dort bei ihnen sind die breiten Waschgruben in der Nähe, / Die schönen, steinernen, wo die schimmernden Gewänder / Wuschen der Troer Frauen und schöne Töchter / Vormals im Frieden, ehe die Söhne der Achaier kamen. (Ilias XXII, 147–156).[2]

Seit der Bronzezeit vor ca. 5000 Jahren siedeln Menschen im Umfeld des Berges Hisarlık, der durch die Ruinen gebildet wird, die in der Antike und auch heute allgemein mit Troia gleichgesetzt werden. Die Wasserressourcen der nordwestlichen Troas spielten in der Siedlungsgeschichte naturgemäß eine wichtige Rolle. Südwestlich des Hisarlık befindet sich ein "Wasserbergwerk" (Quellhöhle, Kaskal.Kur), das seit 1998 erneut vom internationalen Troia-Team ausgegraben und dokumentiert wird (Abb. 1).[3] Bislang ist die archäologische Bedeutung des Bergwerks noch nicht abschließend geklärt.

Bereits Heinrich Schliemann hatte dieses Bergwerk 1879 entdeckt und teilweise ausgegraben.[4] Der Begriff "Quellhöhle" wird in vorliegender Arbeit vermieden, da es sich bei einer Höhle um eine "durch Naturvorgänge gebildete unterirdische Hohlform [handelt], die ganz oder teilweise von Gestein umschlossen ist".[5] Dies trifft für das "Troianische Wasserbergwerk" nicht zu, da es sich um einen künstlich geschaffenen Hohlraum handelt. Es wird daher seiner offensichtlichen Verwendung nach als Wasserbergwerk oder -stollen bezeichnet. Ähnliche

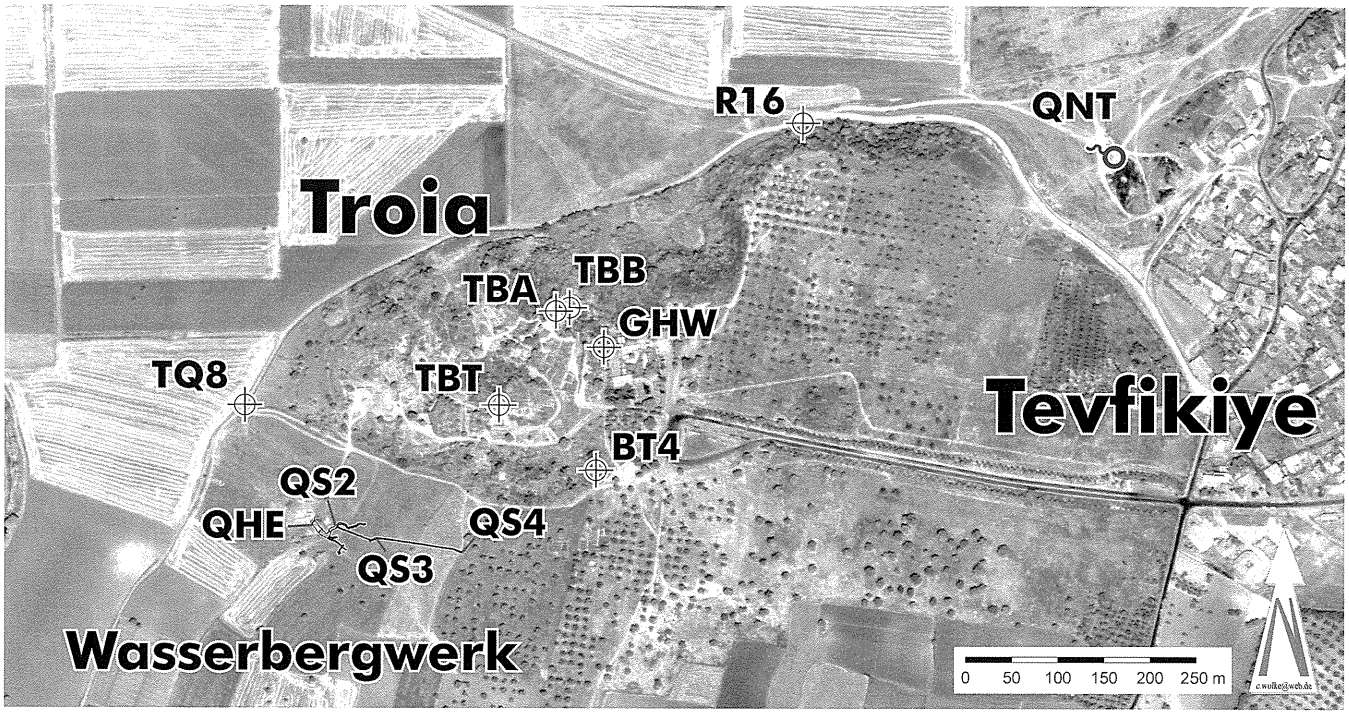

Abb. 1 Hisarlık mit dem Troianischen Wasserbergwerk links unterhalb der Bildmitte und dem bisher bekannten, *ca.* 100 m langen Verlauf. Eingezeichnet die im Text erwähnten Messstellen.

Bauwerke sind die armenisch-persischen Qanat-Systeme, die zur Wasserversorgung in ariden Gebieten angelegt wurden[6] und das Stollensystem von Gihon in Jerusalem, das ausgehend von einer bereits vorhandenen Höhle ebenfalls zur Wasserversorgung der Stadt angelegt worden war.[7]

1879 publizierte der Arzt Rudolf Virchow Untersuchungen von dreizehn Quellen, elf Brunnen und zehn Fließgewässern in der Troas (Abb. 2). Er fand ein noch relativ wenig durch Landwirtschaft beeinflusstes Gebiet vor, gleichwohl er davon berichtet, dass Frank Calvert den Düden-Sumpf "seitdem [...] durch zweckmäßige Entwässerung trocken gelegt und in eine schöne Viehweide umgewandelt hat".[8] Durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung des Grundwassers in der nordwestlichen Troas, besonders zur Bewässerung der Tomaten-, Baumwoll- und Sonnenblumenfelder, ist die Ressource Wasser an ihre Grenze gestoßen. Heute ist der Grundwasserspiegel im Dümrektal bis zu 11 Meter und im Karamenderestal bis zu 9 Meter tief abgesenkt.

Im folgenden Kurzbeitrag sollen erste Ergebnisse der hydrogeologischen Untersuchungen im "Historischen Nationalpark Troia" vorgestellt und diskutiert werden. Im Rahmen der Untersuchungen wurden auch alle von Virchow im Umfeld von Troia aufgesuchten Quellen hydrogeochemisch und physiko-chemisch beprobt und beschrieben (Tab. 1).

Arbeitsgebiet

Troia, und somit das Zentrum des Arbeitsgebietes, liegt wenige Kilometer landeinwärts von den Dardanellen, inmitten des "Historischen Nationalparks Troia". Seit 1988 werden dort mit neuesten wissenschaftlichen Methoden die Relikte des prähistorischen und historischen Troia ausgegraben.

Im Zuge dieser Ausgrabungen wurde ein Stollensystem entdeckt, das bereits von Schliemann teilweise ausgegraben wurde, aber in späterer Zeit wieder in Vergessenheit geriet (Abb. 1). Hinter dem Zugangsstollen verzweigt sich das System in vier Nebenstollen (Stollen Ia, Ib, II und III), von denen Stollen Ib mit rund 100 Metern die größte Länge aufweist (Abb. 3 u. 4; bei Schliemann und in den Grabungstagebüchern werden die Stollen als "Gang" bezeichnet. Da es sich bei Gängen um erzführende Spalten handelt, wird dieser Begriff hier vermieden). Frank *et al.* (2002) datierten Sinterablagerungen in den Stollen und erhielten ein Alter von 2000–4600 Jahren.[9] Ein weiterer, ca. 1 x 1 x 2 m großer Hohlraum innerhalb der weichen Sedimentite befindet sich etwa 800 m ostnordöstlich der Ausgrabung nahe Tevfikiye (Abb. 1, Messstelle QNT[10]). Auch dort fließt Wasser aus, das sich signifikant von dem des Wasserbergwerks unterscheidet. Es liegt allerdings nahe, dass die Anfänge des Wasserbergwerks in einer ähnlichen, ursprünglich natürlichen Höhle zu suchen sind.

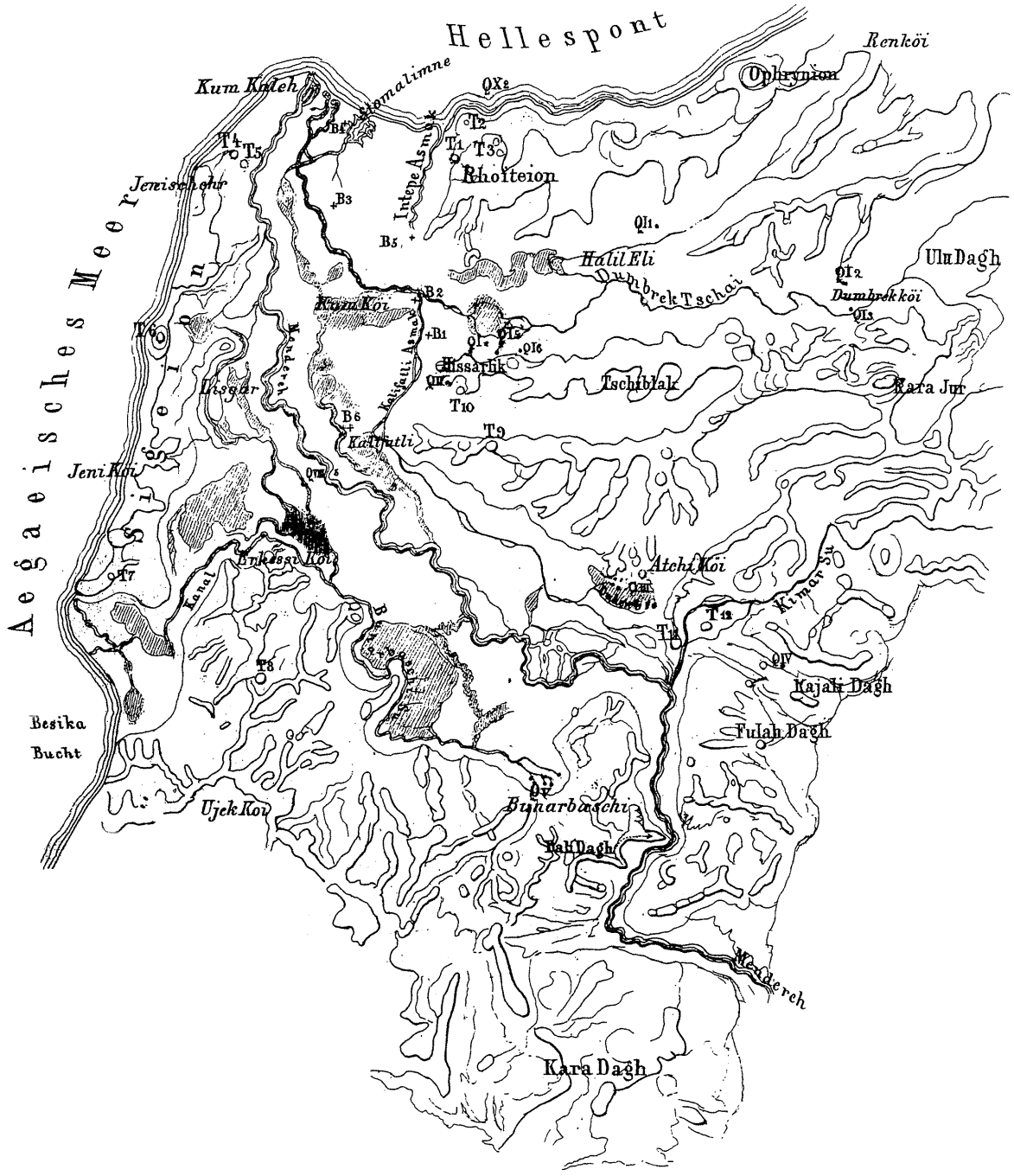

Abb. 2 Lage der von Virchow untersuchten Quellen ("Q"). Maßstab siehe Abb. 5 (verändert aus VIRCHOW 1879).

In den bisherigen Veröffentlichungen wurde das Stollensystem als Wasserbergwerk, Quellhöhle und Kaskal.Kur bezeichnet.[11] Seit seiner Wiederentdeckung konzentrieren sich die wissenschaftlichen Untersuchungen darauf, welchen Zwecken das Stollensystem gedient haben könnte.[12] Für die mögliche Bedeutung des Systems spricht auch ein Vertrag der Hethiter mit Wilusa, in dem unter anderen der Gott Kaskal.Kur als Zeuge benannt wird.[13]

Ziel unserer hydrogeologischen Untersuchungen ist es, ein möglichst umfassendes Bild der derzeitigen und der (prä-)historischen Wasserversorgung Troias zu lie-

Messstelle	Bezeichnung Virchow	April 1879	Juli 2001	August 2002	August 2003
BBF	Q. I. 1	14,5	–	17,9–18,2	17,3
BDH	Q. I. 2	14,6	–	21,5	20,9
FAD	Q. I. 3	12,8	–	23,3	21,7
R16	Q. I. 4	14,6	trocken	trocken	trocken
QET	Q. I. 5	14,6–15,0	17,0	17,7–18,1	17,5
QEE	Q. I. 6	14,3–14,6	16,7	17,6	16,3
QS2	Q. II.	15,6	17,2	17,4–17,6	16,8–17,3
QCF	Q. III. 2	20,4	24,7	26,7	24,3–25,2
BAZ	Q. IV.	15,2	–	23,5–24,9	20,8
QKP	Q. V. 4	17,0	18,2	18,2	18,1
FAF	Q. VIII. 5	18,0–20,2	–	26,4–28,9	26,1

Tab. 1 Gegenüberstellung der Wassertemperaturen in den Jahren 1879 und 2001–2003 an den von Virchow im Jahre 1879 gemessenen Quellen, Brunnen und Oberflächengewässern in der Troianischen Landschaft.

fern. Wie bereits jetzt gezeigt werden konnte, hat das Stollensystem nicht "zu allen Zeiten Troias Wasserversorgung garantiert",[14] sondern stellte höchstens eine zusätzliche Wasserversorgung dar. Selbst unter sehr optimistischen Annahmen reichte das im Stollensystem aufgestaute Grundwasser weder in prähistorischer noch in historischer Zeit für eine längere Grundversorgung der Siedlung aus.

Wassertypen

Aus der Untersuchung von 205 Probenahmestellen in den Jahren 2001 bis 2003 ergibt sich ein recht umfassendes, jedoch noch nicht vollständiges Bild der hydrogeologischen Verhältnisse im "Historischen Nationalpark Troia" und dessen Umgebung (Abb. 5). 54 Wasserproben wurden in Freiberg/Sachsen und Dresden/Tharandt auf ihre chemische Zusammensetzung hin untersucht und klassifiziert. Wie gezeigt werden konnte, lassen sich die Wässer in 3 Gruppen unterteilen, die sich in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften deutlich unterscheiden. Ein markantes Unterscheidungskriterium, das sich besonders gut für die Beprobung im Gelände eignet, ist die elektrische Leitfähigkeit. Sie schwankt von 360 bis 6400 $\mu S\ cm^{-1}$ (Abb. 6), wobei Typ 1 Leitfähigkeiten bis 1900 $\mu S\ cm^{-1}$, Typ 2 1900–3600 $\mu S\ cm^{-1}$ und Typ 3 mehr als 3600 $\mu S\ cm^{-1}$ aufweist.

Wässer aus den älteren, meist metamorphen und magmatischen Gesteinen östlich des Nationalparks sowie den tieferen Brunnen in der Ebene und Quellen im Randbereich des Troia-Rückens (östlich von Troia) weisen in der Regel niedrigere Leitfähigkeiten auf, während die Wässer auf dem Troia- und Kumkale-Rücken höhere Leitfähigkeiten haben. Problematisch sind zahlreiche als Viehtränke und von Wanderarbeitern genutzte Quellen

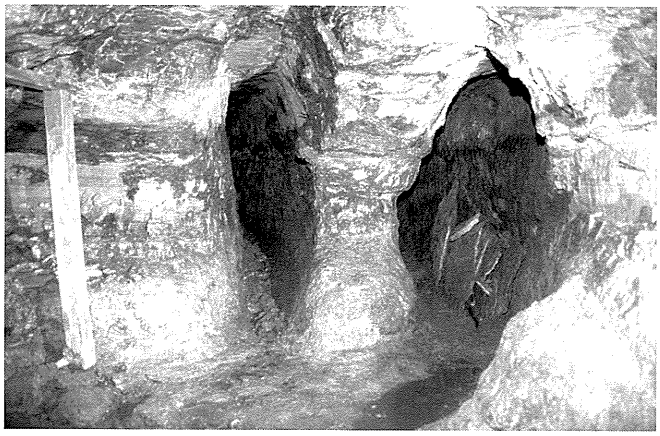

Abb. 3 Stollen II (links) und III (rechts) der Troianischen Quellhöhle. Höhe *ca.* 1,60 m.

Abb. 4 Stollen I der Troianischen Quellhöhle. Höhe ca. 1,30 m.

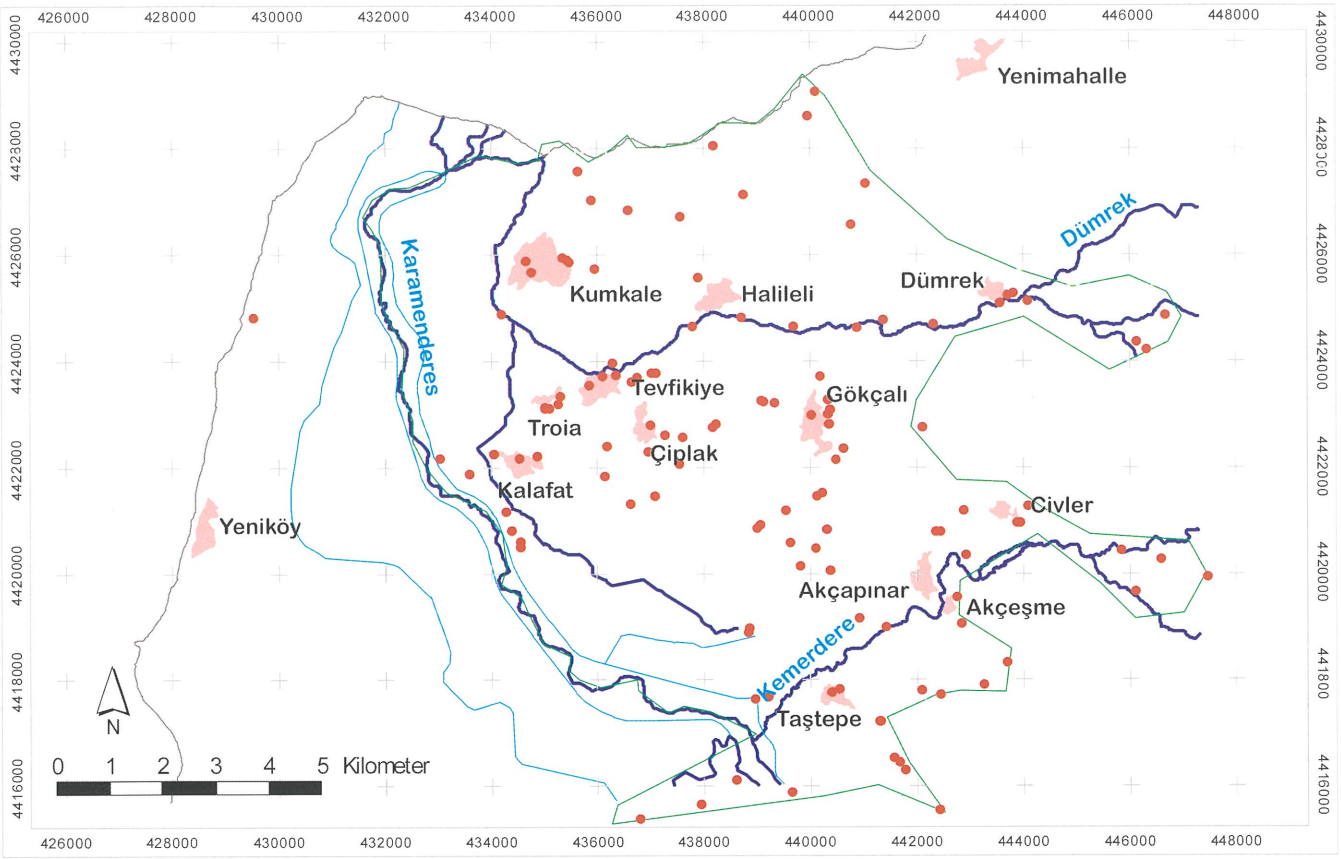

Abb. 5 Lage der Probenahmepunkte im Umfeld des "Historischen Nationalparks Troia" (Stand Ende 2002).

mit extremen Nitratwerten bis zu 449 mg L^{-1} (Grenzwert nach Türkischer Trinkwasserverordnung:[15] 45 mg L^{-1}). Bei 28% aller untersuchten Proben (n = 87) wird der türkische Grenzwert für Trinkwasser überschritten.

Innerhalb des Wasserbergwerks wurden an mehreren Stellen Wasserproben entnommen. Alle Analysenergebnisse weisen auf eine recht einheitliche Wasserqualität im Stollensystem hin, die jedoch durch relativ hohe Arsengehalte von bis zu 27 µg L^{-1} gekennzeichnet ist.[16] Diese hohen Arsengehalte, die ausschließlich im Stollensystem auftreten, könnten der Untersuchung dienen, ob und wenn ja, wann Menschen diese Wasserquelle regelhaft nutzten, indem die Knochen und Zähne von Tieren oder Menschen auf mögliche As-Anreicherungen hin untersucht würden. Insgesamt überschreiten die Arsengehalte nicht den Grenzwert nach der Türkischen Trinkwasserverordnung, der bei 50 µg L^{-1} liegt. Nach WHO *(World Health Organization)* werden 10 µg L^{-1} für Trinkwasser empfohlen.

Bei Merkel – Sperling und Wedepohl werden durchschnittliche As-Massenkonzentrationen von Grundwässern zusammen getragen.[17] Demnach wären bei den gegebenen geologischen Verhältnissen mittlere As-Gehalte von 10–20 µg L^{-1} zu erwarten, wie sie auch bei den meisten der untersuchten troianischen Wässer auftreten. Lediglich das Wasser im Wasserbergwerk weicht signifikant davon ab.

Ein Einfluss der ehemaligen, in der römischen Unterstadt angesiedelten Glas- und Metallverarbeitung ist bei Betrachtung der Frachten recht unwahrscheinlich, auch wenn es Techniken gab, mit denen Bronze durch Überzüge aus Arsen oder Arsenbronze optisch verschönert wurde.[18] Seit dem Ende der Besiedlung Troias wäre eine Fracht von 10–50 kg As aus dem Wasserbergwerk ausgetragen worden, was eine mehrfache Menge davon im Einzugsgebiet des Stollensystems voraussetzen würde. Dies ist nicht sehr wahrscheinlich, so dass bei dem As-Gehalt des Wasserbergwerks von einer natürlichen Anomalie ausgegangen wird. Um dies zu verifizieren, können As-Analysen an den Sedimenten und Sedimentiten der Troianischen Landschaft verwendet werden. Von diesen ist bekannt, dass sie As-Anomalien aufweisen, die sich zur Identifizierung von Keramik eignen.[19] Leider lassen sich die Ergebnisse der Untersuchung von Knacke-Loy nur bedingt zu Vergleichszwecken verwenden, da die Angaben in der Arbeit erhebliche Widersprüche aufweisen und sich die errechneten Spurenelementgehalte nicht schlüssig nachvollziehen lassen.[20]

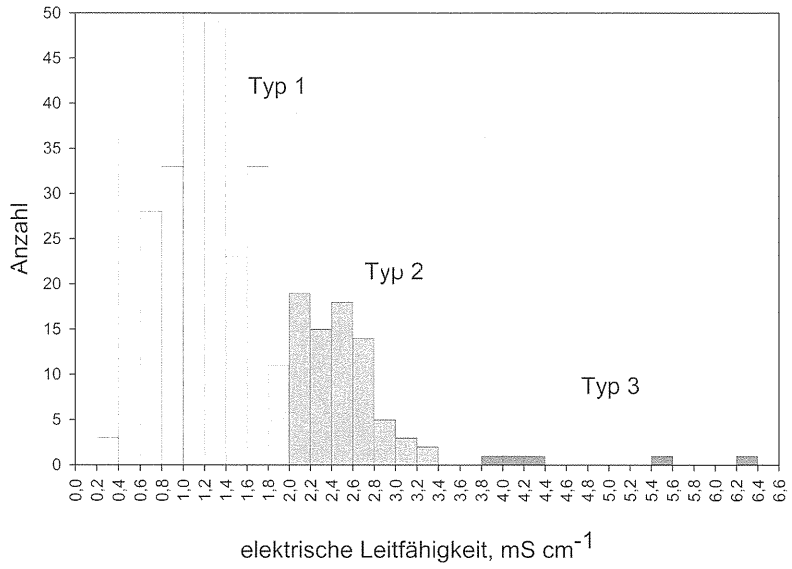

Abb. 6 Histogramm der Leitfähigkeiten von Wässern in der Troianischen Landschaft. 347 Messungen der Jahre 2001–2003.

Gleichwohl liegen alle As-Gehalte der in dieser Arbeit untersuchten Sedimentproben um die 40 mg kg^{-1} und somit über dem zu erwartenden Schnitt von 2–20 mg kg^{-1}.[21]

Wasserbergwerk

Im Wasserbergwerk mit seinen vier Schächten ließen sich zahlreiche Hinweise finden, die belegen, dass die Stollen zumindest in römisch-[byzantinischer(?)] Zeit (Troia IX, X) als Wasserspeicher genutzt wurden. Vor dem Zugangsstollen existierten damals zwei Wasserbecken, die möglicherweise als Fischbecken genutzt wurden, da die einzelnen Becken durch Röhren miteinander verbunden waren.[22] Zusätzlich in die Wände eingelassene Röhren wurden von den Römern bei Fischbecken verwendet.[23] Zwischen dem Auslauf aus dem Zugangsstollen und den Becken befinden sich im Wasserlauf vier in den Fels eingetiefte Mulden. Diese liegen höhenmäßig tiefer als die Böden der römischen Becken. Sie dienten vermutlich als Absetzbecken für Sediment, das aus dem Stollen ausgespült wurde. Solche Absetzbecken machen nur Sinn, wenn schwebstoffhaltiges Wasser aus dem Stollensystem fließt. Sie müssen jedenfalls älter sein als die in den Stollen Ia und Ib vorgefundenen bzw. nachweisbaren Dämme, denn die Wasserspeicher hinter den Dämmen hielten bereits einen Großteil der Schwebfracht zurück; ebenso sind sie deutlich älter als die Wasserbecken und sehr wahrscheinlich bronzezeitlich.

Baulich weist das Stollensystem Anzeichen einer jüngeren und einer älteren Bauphase auf. Der vordere Teil und der *ca.* 115 m weiter östlich gelegene Schacht 4[24] dürften, wie auch die Sinterdatierungen zeigen, bereits in der Bronzezeit angelegt worden sein, während die hinteren Teile Schrämspuren und Gegenortbetrieb aufweisen, wie sie u. a. in römischer Zeit üblich waren. Im 3. Jh. n. Chr. (spätrömisch) wurden die Schächte verfüllt, und eine Nutzung als Trinkwasserspeicher ist danach nicht mehr als wahrscheinlich anzunehmen.[25]

Insgesamt besaß das Wasserbergwerk während seiner Funktion als Wasserspeicher ein Speichervermögen von *ca.* 50–60 000 L.[26] Täglich wurden davon durch den natürlichen Grundwasserzutritt rund 200–3200 L ausgetauscht, so dass von einer Erneuerung des Wassers alle drei bis 40 Wochen, im Schnitt alle 10 Wochen, ausgegangen werden kann. Zweck dieses System war es, einerseits das Wasser bei erhöhten Außentemperaturen kühl und somit hygienisch einwandfrei zu erhalten und andererseits für Zeiten geringeren Wasserzulaufs ausreichend Wasser im Stollensystem zu speichern. Eine Stollenanlage mit Staumauern, die einem ähnlichen Zweck gedient haben dürften, findet sich beim Subası Tepe ("Spratt's Plateau", Messstellen HS1–HS4).[27]

Heute beträgt die Quellschüttung 0,5–1 L min^{-1}, und die Temperatur schwankt abhängig von der Jahreszeit zwischen 6 und 18 °C. Die Dämpfung gegenüber der Außentemperatur beträgt im Sommer und Winter runde 10–15 K. Da die Temperatur 10 m hinter dem Quelleingang gemessen wurde, muss von einer Beeinflussung durch die Außentemperatur ausgegangen werden. Vergleichsmessungen weiter im Stolleninneren zeigten eine deutlich geringere Amplitude des täglichen Temperaturganges als die nahe dem Eingang.

Warme Quelle – Kalte Quelle?

Sieht man Homer als den Beschreiber einer Landschaft, die zum Zeitpunkt seines Besuchs oder dem seiner Informanten in der Troas existierte, dann ist davon auszuge-

hen, dass die Brunnen der warmen und der kalten Quelle nahe beieinander und in der Nähe des Homerschen Troia gelegen haben müssten (maximal seien 5 km Entfernung angenommen). Zunächst stellt sich die Frage, was zu Homers Zeit als "warme" oder "kalte" Quelle bezeichnet worden sein könnte. Strabo erläutert dazu explizit, was Homer meinte:

"Ein Problem ist wieso der Dichter sagt (Il. 22, 147–152)

Und sie erreichten die zwei schönsprudelnden Quellen, woher sich
Beide Bäche ergießen des wirbelvollen Skamandros.
Eine rinnt beständig mit lauichter Flut

(d. h. warmer); er fährt fort

und rings um sie
Wallt aufsteigender Dampf, wie der Rauch des brennenden Feuers;
Aber die andere fließt im Sommer auch kalt wie der Hagel
Oder des Winters Schnee.

Es findet sich nämlich heute an der Stelle keine warme Quelle; auch ist die Quelle nicht dort, sondern im Gebirge; und es ist eine, nicht zwei". (Strabo 13, 1, 43)[28]

Homer (Ilias XXII, 149) verwendet das Adjektiv *liaros* (warm, lauwarm, weich, sanft), um die Quelltemperatur zu beschreiben. Dieses Wort war jedoch zu Strabos Zeiten nicht mehr bekannt, so dass Strabo seinen Lesern die Wortbedeutung erläutern muss: Er verwendet dazu das Adjektiv *thermos* (im Zusammenhang mit Wasser: heiß, auch für Mahlzeiten, Getränke und glühendes Holz verwendet), um die Beschreibung einer dampfenden Quelle in Einklang mit dem zu seiner Zeit gebräuchlichen Adjektiv zu bringen.[28a]

Dies sei für die folgenden Betrachtungen zunächst ohne Belang, obgleich Homers Beschreibung, wie ja auch Strabo erkennt, typisch ist für eine heiße Quelle. Da Homers Temperaturbestimmung – unabhängig davon, ob sie von ihm selbst oder einer Gewährsperson stammte – mit Sicherheit organoleptisch erfolgte, muss zunächst eine Methode gefunden werden, mit der diese organoleptische Bestimmung in einen Messwert überführt werden kann.

Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung wird davon ausgegangen, dass eine Quelle im Homerschen Sinne als warm gilt, wenn deren Wassertemperatur über der mittleren Lufttemperatur liegt und dampft. Dies trifft regelmäßig in folgenden Fällen zu: bei heißen Quellen; im Sommer am frühen Morgen und im Winter, wenn die Quelltemperatur deutlich über der Lufttemperatur liegt. Umgekehrt wäre eine Quelle kalt, wenn deren Wassertemperatur unter der mittleren Lufttemperatur liegt. Abb. 7 zeigt, dass fast alle Messwerte der Jahre 2001–2003 unter der mittleren Tagestemperatur der Monate Juli bis August liegen.

Wie die kontinuierlichen Messreihen am Düden-Quelltopf (Abb. 8; Messstelle QCF) und einer Quelle östlich von Dümrek (Abb. 9, Messstelle QWK) belegen, gilt nicht nur für Einzelmessungen, dass sie im Sommer unter der mittleren Tagestemperatur liegen, sondern auch für längere Messungen. Im Falle des Düden-Quelltopfs liegt die Wassertemperatur zwischen Juni und September maximal 5 K unter der Lufttemperatur und in der übrigen Zeit maximal 13 K darüber, wobei die Temperatur der Quelle in einer Wassertiefe von 0,7 m zwischen 16 und 23 °C schwankt. Deutlich zeigt jedoch die Temperaturkurve des Düden-Quelltopfs, dass die Wassertemperatur von Mitte Juli bis Mitte August über der mittleren minimalen Lufttemperatur liegt. Die Temperaturdifferenz liegt allerdings unter 1 K, so dass es nicht zur Unterschreitung des Taupunkts und folglich nicht zur Nebelbildung kommen kann.

Strabo (Strabo 13, 1, 43) beschreibt um die Zeitenwende, er könne keine warme Quelle mehr in der Troas finden. Schliemann glaubte, dass die warme Quelle, die er ebenfalls nicht finden konnte, möglicherweise durch ein Erdbeben verschwunden sei.[29] Virchow schließlich referiert alle bis dahin durchgeführten Temperaturmessungen und stellt bei den verschiedenen Bearbeitern erhebliche Unstimmigkeiten in deren Messungen fest.[30] Es sollte daher in vorliegender Arbeit mit einer weiteren Methode untersucht werden, ob es zu einem früheren Zeitpunkt einmal eine warme Quelle gegeben hat, die heute versiegt ist, wie das auch bei anderen Quellen beobachtet wurde.[31] Als Arbeitshypothese wird hier vermutet, dass eine versiegte warme Quelle im homerischen Sinne an der Oberfläche Kristallkrusten zurückgelassen haben müßte, und dass in deren Nähe weitere warme oder potentiell warme Quellen im homerischen Sinne vorhanden sein müssten. Aus geotektonischen Gründen entsprächen diese Kristallkrusten denen von Tuzla (*ca.* 44 km entfernt) und Kestanbol Kaplıca (*ca.* 25 km entfernt), da diese ebenfalls in einem Kontaktbereich tertiärer Sedimentite und Vulkanoklastite liegen.[32]

Um potentiell warme Quellen festzustellen, eignet sich die Methode der Geothermometer, für die es nötig ist, die Massenkonzentrationen von Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium und Siliziumdioxid des Wassers zu ermitteln. Voraussetzung für das Na-K-Mg-Geothermometer ist eine bestimmte Reife des Wassers.[33] Diese ist jedoch für die untersuchten Wässer nicht gegeben, da deren Reifeindex stets unter 2 liegt. Folglich ist das SiO_2-Geothermometer anzuwenden, das ein Wasser-SiO_2-Gleichgewicht mit kristallinem Quarz oder amorphem Chalcedon voraussetzt und für das Verma[34] die derzeit aktuellsten Werte publizierte. Aufgrund der Empfindlichkeit des SiO_2-Thermometers gegenüber sekundären Prozessen wie Mischung oder Ausfällung sind die ermittelten Reservoirtemperaturen in der Regel als Minimaltem-

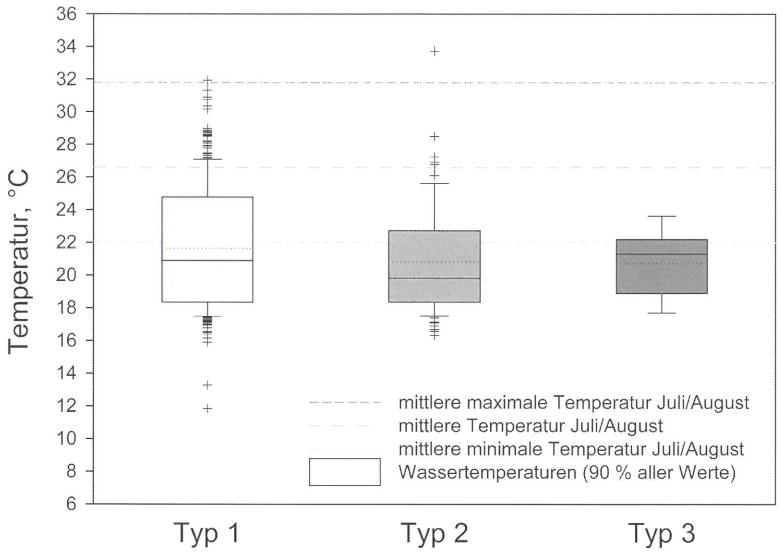

Abb. 7 Wassertemperaturen der beprobten Quellen, Brunnen und Oberflächenwässer. Typ 1: 261 Messungen, Typ 2: 81 Messungen, Typ 3: 5 Messungen.

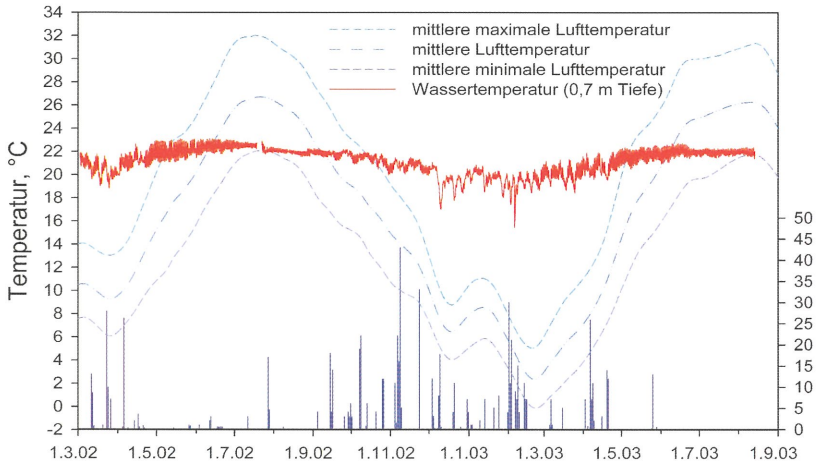

Abb. 8 Temperaturgang des Düden-Quelltopfs (Messstelle QCF) zwischen dem 2. 3. 2002 und 13. 8. 2003. Zusätzlich der Niederschlag des Jahres 2002 und die mittlere modellierte Tageslufttemperatur (basierend auf den Jahren 2001 und 2002) mit den Minimal- und Maximalwerten der Tageslufttemperatur. Messintervall März – August 2002: 30 Minuten; August 2002 – August 2003: 60 Minuten.
Temperaturen und Niederschlagsdaten zur Verfügung gestellt vom U.S. Department of Commerce, NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration.

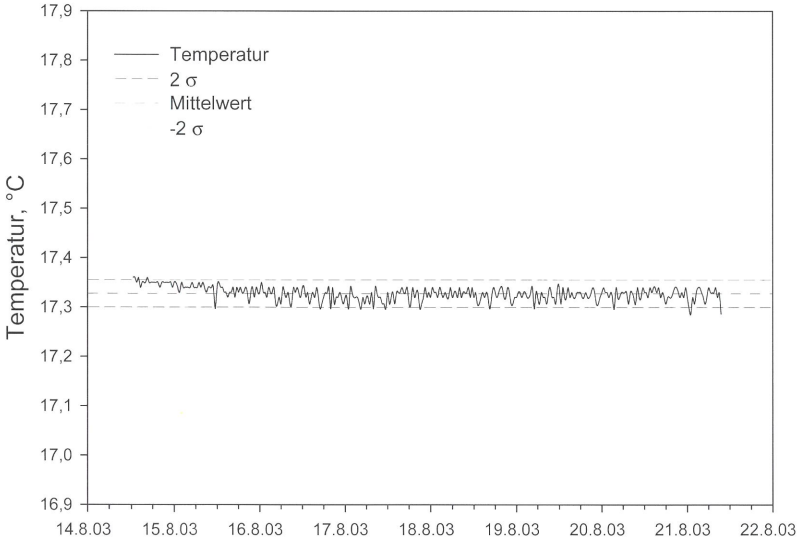

Abb. 9 Temperaturgang der Quelle östlich von Dümrek (Messstelle QWK) zwischen dem 14. und 21. 8. 2003. Messintervall 30 Minuten. Mittlere Lufttemperatur 28 °C, minimale Lufttemperatur 21 °C, maximale Lufttemperatur 35 °C.

peraturen anzusehen. Es zeigt sich, dass nur vier Messstellen Reservoirtemperaturen über 80 °C aufweisen, die alle längs der Grenze zwischen den Tertiären Sedimentiten und den Kristallinen Gesteinen sowie Vulkaniten verlaufen, die sich etwa von Taştepe nach Düden erstreckt (BDW, BDY, BDD, BCZ). BDD und BDZ werden von der gleichen Quelle gespeist, mit der sie durch eine Rohrleitung verbunden sind, so dass nur drei Quellen potentiell als warme homerische Quellen angesehen werden könnten. Alle drei Quellen weisen jedoch an der Austrittsstelle Wassertemperaturen zwischen 17 und 20 °C auf, womit sie objektiv und organoleptisch zu den kühleren Quellen des Untersuchungsgebiets gehören. Außerdem gibt es in der näheren Umgebung keine Anzeichen von Kristallkrusten, wie sie bei warmen Quellen im Sinne Homers zu erwarten und wie sie in Tuzla oder Kestanbol Kaplıca zu beobachten sind. Bei den beiden letztgenannten Quellen bestimmte Mützenberg Reservoirtemperaturen von 130–145 °C bei Wassertemperaturen von 30–100 °C sowie Cl-Konzentrationen von 10–140 g L^{-1}.[35] Keine der Probenahmestellen in der troianischen Landschaft besitzt Anzeichen für eine ähnliche physikalisch-chemische Zusammensetzung.

Die Frage danach, wo eine kalte homerische Quelle gelegen hat, ist insofern schwierig, als diese Charakteristik für viele der untersuchten Quellen zutrifft. Im näheren Umfeld des Hisarlık wären dies das Wasserbergwerk (16,9–18,5 °C: QS2, QS3, QS4, QHE) und die drei Quellen nördlich Tevfikiye (16,5–20,8 °C: QNT, QET, QEE). Anders läge die Situation jedoch, wenn Homer eine einzige Quelle beschreibt, die einmal warm und einmal kalt ist. Auch heute noch berichten Gewährspersonen von warmen und kalten Quellen im Umfeld des "Historischen Nationalparks Troia". Damit meinen sie Quellen, die im Sommer kalt und im Winter warm sind (z. B. QWK östlich von Dümrek). Wie die Messungen im Düden-Quelltopf belegen, erfüllt jede Quelle mit gering schwankenden Temperaturen, die im Sommer unter der Lufttemperatur und im Winter über der Lufttemperatur liegen, diese Voraussetzung. QWK würde diese Bedingung um so mehr erfüllen, als sie keinen Tagesgang der Temperatur besitzt, folglich auch im Jahresgang nur gering schwanken dürfte, und somit auf ein entfernt liegendes Einzugsgebiet hinweist (vgl. Abb. 9).

Es ist folglich davon auszugehen, dass in der Nähe des Hisarlık zwischen 700 v. Chr. und heute keine warme Quelle im homerischen Sinne existiert hat, da weder die Quellen mit erhöhten Reservoirtemperaturen noch denen nahe gelegene Quellen die oben beschriebenen Bedingungen "Hisarlıknähe" und "Kristallkrusten in der Nähe" erfüllen.

Schlussgedanken

Unabhängig davon, ob Homers Ilias ein tatsächliches Ereignis beschreibt, das an der Stelle des heutigen Hisarlık stattfand, oder ob Homer seinen Troianischen Krieg nur an diesem Ort spielen ließ – das Wasserbergwerk war sicherlich nicht die einzige Wasserversorgung Troias. Mengenmäßig hätte das Wasser kaum ausgereicht, die Bewohner der Stadt mit genügend Wasser zu versorgen. Sicherlich haben sich die Troianer der zahlreichen Brunnen und Zisternen im Inneren der Siedlung bedient. Im römischen Troia existierte dann bekanntlich ein umfangreiches Aquäduktsystem, dass die Stadt mit ausreichend Wasser versorgte.[36]

So bleibt zum gegenwärtigen Zeitpunkt unklar, aus welchen Gründen das Bergwerk in der Planungsphase der Unterstadt des 3. Jahrtausends angelegt und wozu es während der unterschiedlichen Zeiten der Siedlung genutzt worden ist. Ganz in der Nähe Troias gibt es eine ähnliche Höhlung mit deutlich kleineren Ausmaßen, die zu einer Viehtränke führt. Denkbar ist, dass es zu einer längeren Periode geringerer Niederschläge kam und die Einwohner ein Wassersystem für eine zusätzliche Wasserversorgung anlegten.

Anmerkungen

[1] Die Autoren bedanken sich bei Katrin Bergmann, Claudia Blume, Pia Lippmann und Claudia Weber für ihre Unterstützung im Gelände, sowie bei Prof. İlhan Kayan für die Einführung in die geologischen Verhältnisse Troias und die Mithilfe seiner Studenten bei den Probenahmen sowie logistische Unterstützung. Wendy Rigter installierte im März 2002 die Messsonde im Düden-Quelltopf. Dank an die Leitung und Mitarbeiter von Bozcaada Tarım İşletmesi (TİGEM – Tarım İşletmesi Genel Müdürlüğü) für deren großzügige Unterstützung im Gelände. Eine Teilfinanzierung der Arbeit erfolgte über das Troia-Projekt und damit indirekt auch durch die DaimlerChrysler AG, die DFG (Graduiertenkolleg "Anatolien und seine Nachbarn"), die "Freunde Troias", die Siemens A. Ş. und anonyme Geldgeber. Die Arbeiten wären ohne die Unterstützung der Grabungsleitung nicht möglich gewesen. Herrn Prof. Manfred Korfmann und seinen Mitarbeitern sei herzlich gedankt. Andrea Hasche danken wir für die Korrektur einer früheren Version.

[2] Homer, Ilias in der Übersetzung von Schadewaldt.

[3] Korfmann 1998, 57–62; Korfmann 1999, 22–25.

[4] Schliemann 1884, 70 ff.

[5] Martin – Eiblmaier 2003, on-line Lexikon.

[6] Wulff 1968; Biswas 1970, 26–29; Grewe 1986; English 1998.

[7] Gill 1991, 1467–1470; Frumkin *et al.* 2003, 169–171.

[8] Virchow 1879, 21.

[9] Frank *et al.* 2002, 310.

[10] Eine ausführliche Darstellung aller Messstellen findet sich im Beitrag von Wolkersdorfer – Göbel – Blume – Weber in diesem Band.

[11] Aslan 2001, 42; Korfmann 2000, 32–37. Gordon 1967, 70–88 diskutiert die Bedeutung des Begriffs Kaskal.Kur.
[12] Lippmann 2003, 44 ff.
[13] Aslan 2001, 42; Latacz 2001, 21.
[14] Latacz 2001, 21.
[15] Turkish Standards. 1986. *Drinking Water.* TS 266: 1–80 Ankara. ['Türk Standartları Enstitüsü. 1986. *İçme Suları.* TS 266].
[16] Weber 2003, 63; Wolkersdorfer *et al.* 2003, 94.
[17] Merkel – Sperling 1998, 309; Wedepohl 1978, 33-I-3.
[18] Riederer 1987, 129.
[19] Knacke-Loy 1994, 80–84.
[20] Knacke-Loy 1994. Tabellen 9 und 11 ergeben sich nicht aus den Anhängen 3 und 5 und weisen gegenüber diesen Anhängen Unstimmigkeiten auf.
[21] Merkel – Sperling 1998, 300–307. Zusammenstellung aus verschiedenen Quellen; Wedepohl 1978, 33-G-1, 33-K-1–4.
[22] Rose 1999.
[23] Vitruvius Pollio/Fensterbusch 1991; Crouch 1993.
[24] Frank *et al.* 2002. Schacht 4 hebt sich durch seine rechteckige Form und seine Abmessungen von 1,8 x 2,4 m im oberen, bzw. 2,2 x 2,6 m im unteren Bereich von den anderen Schächten ab (Korfmann 2002, 22 f.). Die sehr dicken Sinterablagerungen an den Seitenwänden von Schacht 4 ergaben nach Auskunft von Prof. M. Korfmann eine Datierung in das 3. Jahrtausend.
[25] Korfmann 2002, 20–22.
[26] Lippmann 2003, 54.
[27] Lehmann-Haupt 1918, 433–434. Das dortige Wasserbergwerk wurde im Jahre 2001 von R. Aslan, R. Becks und G. Bieg wiederentdeckt und erstmals seit Lehmann-Haupt in seiner gesamten Erstreckung begangen. Nach einer zukünftigen Vermessung soll dazu ein Artikel in den *Studia Troica* erscheinen.
[28] Die Redaktion dankt Herrn Prof. Dr. Stefan Radt, der die Übersetzung dieses Abschnitts aus dem noch unveröffentlichten 3. Band der *Geographika* zur Verfügung gestellt hat.
[28a] Aus der Übersetzung von Prof. Radt geht nicht hervor, ob Strabo "warm" oder "heiß" meint. Die im Text vorausgehenden Erläuterungen zu *liaros* und *thermos* folgen den Erklärungen in "The Perseus Digital Library" der Tufts University (www.perseus.tufts.edu) und einem Kommentar von Dr. Peter Jablonka.
[29] Schliemann 1884, 73.
[30] Virchow 1879, 18–28.
[31] Deming 2002; Braun 1872, 39.
[32] Mützenberg 1991, 18 und unnummerierter Anhang.
[33] Giggenbach 1988, 2749 ff.
[34] Verma 2000, 1928.
[35] Mützenberg 1991, 107–109.
[36] Aylward *et al.* 2002.

Bibliografie

Aslan, Rüstem. 2001. Per Tunnel in die Unterwelt, *Damals* 33/4: 38–42.

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

Biswas, Asit K. 1970. *History of hydrology*. Amsterdam u. a.

Braun, Max. 1872. Ueber einige Erzlagerstätten der Provinz Constantine, *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* 24: 30–44.

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

Deming, David. 2002. *Introduction to Hydrogeology*. Boston u. a.

English, Paul Ward. 1998. Qanats and Lifeworlds in Iranian Plateau Villages, *Bulletin – School of Forestry and Environmental Studies, Yale University* 103: 187–205.

Frank, Norbert – Augusto Mangini – Manfred Korfmann. 2002. ^{230}Th/U dating of the Trojan 'water quarries', *Archaeometry* 44/2: 305–314.

Frumkin, Amos – Aryeh Shimron – Jeff Rosenbaum. 2003. Radiometric dating of the Siloam Tunnel, Jerusalem, *Nature* 425/6954: 169–171.

Giggenbach, Werner F. 1988. Geothermal solute equilibria, derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochim. Cosmochim. Acta* 52/12: 2749–2765.

Gill, Dan. 1991. Subterranean Waterworks of Biblical Jerusalem: Adaptation of a Karst System, *Science* 254: 1467–1470.

Gordon, Edmund I. 1967. The meaning of the Ideogram KAS-KAL.KUR = "Underground Water Course" and its Significance for Bronze Age Historical Geography, *Journal of cuneiform studies* 21: 70–88.

Grewe, Klaus. 1986. Zur Geschichte des Wasserleitungstunnels, *Antike Welt/Sondernummer* 2, 17: 65–76.

Knacke-Loy, Onno. 1994. Isotopengeochemische, chemische und petrographische Untersuchungen zur Herkunftsbestimmung der bronzezeitlichen Keramik von Troia, *Heidelberger geowissenschaftliche Abhandlungen* 77: 193.

Korfmann, Manfred. 1998. Troia – Ausgrabungen 1997, *Studia Troica* 8: 1–70.

Korfmann, Manfred. 1999. Troia – Ausgrabungen 1998, *Studia Troica* 9: 1–34.

Korfmann, Manfred. 2000. Troia – Ausgrabungen 1999, *Studia Troica* 10: 1–52.

Korfmann, Manfred. 2002. Die Arbeiten in Troia/Wilusa 2001 – Work in Troia/Wilusa 2001, *Studia Troica* 12: 1–33.

Latacz, Joachim. 2001. (W)Ilios ist Wilusa, *Damals* 33/4: 20–21.

Lehmann-Haupt, Carl Friedrich. 1918. Priapos – Troja – Sigeion, *Klio. Beiträge zur alten Geschichte* 15: 429–434.

Lippmann, Pia. 2003. *Geowissenschaftlich-montanistische Untersuchungen an der Quellhöhle ("KASKAL.KUR") Troias*. Freiberg/Sachsen.

Martin, Christiane – Manfred Eiblmaier. 2003. *Lexikon der Geowissenschaften*. Heidelberg.

Merkel, Broder – Barbara Sperling. 1998. DVWK Schriften – Hydrogeochemische Stoffsysteme Teil 2, in: *Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK; Hg.)*. 117. Bonn.

Mützenberg, Stefan. 1991. Westliche Biga-Halbinsel (Çanakkale, Türkei): Beziehungen zwischen Geologie, Tektonik und Entwicklung der Thermalquellen, *Mitteilungen aus dem Geologischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule und der Universität Zürich/Neue Folge* 287: 160.

Radt, Stefan. *Strabons Geographika*. Band 3. 585. Im Druck.

Riederer, Josef. 1987. *Archäologie und Chemie – Einblicke in die Vergangenheit*. Berlin.

Rose, Charles Brian. 1999. The 1998 Post-Bronze Age Excavations at Troia, *Studia Troica* 9: 35–71.

SCHLIEMANN, HEINRICH. 1884 [reprint 1984]. *Troja: Ergebnisse meiner neuesten Ausgrabungen auf der Baustelle von Troja, in den Heldengräbern, Bunarbaschi und andren Orten der Troas im Jahre 1882*. Leipzig.
VERMA, MAHENDRA P. 2000. *Revised Quartz Solubility Temperature Dependence Equation along the Water-vapor Saturation Curve*, in: IGLESIAS, EDUARDO (HG.). *Sustaining geothermal energy into the 21st century – Proceedings of the World Geothermal Congress 2000*: 1927–1932. Kyushu – Tohoku.
VIRCHOW, RUDOLF. 1879. Beiträge zur Landeskunde der Troas, *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften Berlin, Physikalische Klasse*. 3: 1–190.
WEBER, CLAUDIA. 2003. *Hydrogeologische Verhältnisse der östlichen Troas/Türkei*. Freiberg/Sachsen.
WEDEPOHL, KARL HANS – CARL W. CORRENS – DENIS M. SHAW – KARL K. TUREKIAN – JOSEF ZEMANN. 1978. *Handbook of Geochemistry*. Berlin – Heidelberg – New York.
WOLKERSDORFER, CHRISTIAN – CLAUDIA BLUME – CLAUDIA WEBER. 2003. Trace Elements in the Waters of Troy, *Wissenschaftliche Mitteilungen* 24: 91–95.
WULFF, HANS E. 1968. The Qanats of Iran, *Scientific American* 218/4: 94–105.

ANTIKE AUTOREN

HOMER. 1975. *Ilias – Neue Übertragung von Wolfgang Schadewaldt*. Frankfurt a. M.
STRABO. *Geographika*. In der Übersetzung von Stefan Radt. Band 3. 585. Im Druck.
VITRUVIUS. *Ten Books on Architecture*. Translation by Rowland, Ingrid D. Commentary and Illustrations by Thomas Noble Howe. Cambridge 1999.
VITRUV. *Zehn Bücher über Architektur*. Übersetzt und mit Anmerkungen versehen von Curt Fensterbusch. Darmstadt 1976.

Dr. Christian Wolkersdorfer
Dr. Jana Göbel
TU Bergakademie Freiberg –
Lehrstuhl für Hydrogeologie
Gustav-Zeuner-Str. 12
09596 Freiberg/Sachsen
Email: c.wolke@web.de
jana.goebel@web.de

INHALT – CONTENTS

Vorwort des Herausgebers V

Zu Ehren von Joachim Latacz:
Martin L. West:
Geschichte und Vorgeschichte:
Die Sage von Troia XIII

Teil A: Troia – Aktuelle Ausgrabungen und Umfeld

1. Troia, Vorbericht

Manfred O. Korfmann:
Die Arbeiten in Troia/Wilusa 2003 – Work at Troia/Wilusa in 2003 3

2. Troia, Architektur, Funde und Befunde

Manfred Klinkott:
Die Wehrmauern von Troia VI – Bauaufnahme und Auswertung 33

Wendy Rigter und Diane Thumm-Doğrayan:
Ein hohlgeformter Stier aus Troia 87

Ralf Becks and Marta Guzowska:
On the Aegean-type Weaving at Troia 101

Kent J. Rigsby:
A Greek Inscription from Troia, 2003 117

Teil B: Weitere Forschungen

3. Troas und Anatolien

Utta Gabriel, Rüstem Aslan und Stephan W. E. Blum:
Alacalıgöl: eine neuentdeckte Siedlung des 5. Jahrtausends v. Chr. in der Troas 121

Nurten Sevinç and Turan Takaoğlu:
The Early Bronze Age on Tenedos/Bozcaada 135

Reyhan Körpe:
A New Gold Diadem from Ilgardere 141

Christopher Silver:
Renkioi Hospital (1855–1856) and the Ancient World 147

Christian Wolkersdorfer und Jana Göbel:
Hydrogeologie der troianischen Landschaft – eine Bestandsaufnahme 157

Christian Wolkersdorfer, Jana Göbel, Claudia Blume und Claudia Weber:
Hydrogeologische Probenahmestellen in der troianischen Landschaft 169

Stephan W. E. Blum, Rüstem Aslan und Susanne Bocher:
Ethnoarchäologische Untersuchungen zum funktionalen und strukturellen Wandel dörflicher Architektur:
Die *"Eski Cami"* von Zeytinli 201

Susanne Bocher, Rüstem Aslan und Stephan W. E. Blum:
Ethnoarchäologische Studien zur traditionellen Steinmetz- und Schmiedetechnik eines "Wanderhandwerkers" in der Troas 219

4. Klassische Philologie

Peter Grossardt:
Ein Echo in allen Tonarten – der 'Heroikos' von Flavius Philostrat als Bilanz der antiken Troia-Dichtung 231

5. Anhang

Danksagung – Acknowledgements 239

XX, 243 Seiten mit 11 Farb- und 186 Schwarzweißabbildungen, 28 Tafeln auf 10 Beilagen

© 2005 by Verlag Philipp von Zabern, Mainz am Rhein
ISBN 3-8053-3419-2
ISSN 0942-7635