

Hydrogeologie der Trojanischen Landschaft – Eine Bestandsaufnahme

Christian Wolkersdorfer, Jana Göbel

ZUSAMMENFASSUNG

Im Bereich des „Historischen Nationalpark Troia“ wurden hydrogeologische Untersuchungen vorgenommen und 205 Wasseraustritte hydrogeochemisch und physikochemisch 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 physicochemically. 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 Troias additional water supply and that the flows never were high enough to serve the whole city with water.

Einleitung¹

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 archäologischen 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)

Seit der Bronzezeit vor ca. 5000 Jahren siedeln Menschen im Umfeld des Berges Hisarlık, der u.a. durch die Ruinen gebildet wird, die früher und 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)². Bislang ist die archäologische Bedeutung des Bergwerks noch nicht abschließend geklärt.

// hier Abbildung 1 einfügen //

Bereits Heinrich Schliemann hatte dieses Bergwerk 1879 entdeckt und teilweise ausgegraben³. 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“⁴. 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 Bauwerke sind die armenisch-persischen Qanat-Systeme, die zur Wasserversorgung in ariden Gebieten angelegt wurden⁵ und das Stollensystem von Gihon in

Jerusalem, das ausgehend von einer bereits vorhandenen Höhle ebenfalls zur Wasserversorgung der Stadt angelegt worden war⁶.

// hier Abbildung 2 einfügen //

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 Dünen Sumpf „seitdem [...] durch zweckmäßige Entwässerung trocken gelegt und in eine schöne Viehweide umgewandelt hat“⁷. Durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung des Grundwassers in der nordwestlichen Troas, besonders zur Bewässerung der Tomaten-, Baumwoll- und Sonnenblumenfelder, ist die Ressource Wasser an seine 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 physikochemisch beprobt und beschrieben (Tab. 1).

// hier Tabelle 1 einfügen //

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 ausgetragen.

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, Abb. 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 Alter von 2.000—4.600 Jahren⁸. Ein weiterer, ca. $1 \times 1 \times 2$ m großer Hohlraum innerhalb der weichen Sedimentite befindet sich etwa 800 m ostnordöstlich der Ausgrabung nahe Tevfikiye (Abb. 1, Messstelle QNT⁹). 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.

// hier Abbildungen 3, 4 einfügen //

In den bisherigen Verlautbarungen wurde das Stollensystem als Wasserbergwerk, Quellhöhle und KASKAL.KUR bezeichnet¹⁰. Seit seiner Wiederentdeckung konzentrieren sich die wissenschaftlichen Untersuchungen darauf, welchen Zwecken das Stollensystem gedient haben könnte¹¹. Möglicherweise leitet sich eine seiner Bedeutungen aus einem Vertrag der Hethiter mit einem Ort namens Wilusa ab, in dem unter anderem der Gott KASKAL.KUR als Zeuge benannt wird¹². Würde sich herausstellen, dass das Stollensystem mit dieser Gottheit zu verbinden ist, ließe sich eine potentielle Identität von Wilusa mit Troia und folglich eine politische Verbindung zwischen Troia und dem Reich der Hethiter herstellen, wie sie einige Publikationen zu belegen scheinen¹³. Die hydrogeologischen Untersuchungen als solche am Wasserbergwerk können für eine Stützung dieser These jedoch nicht herangezogen werden. Sie ist aufgrund der Ausführungen von Gordon eher als hypothetisch zu bezeichnen¹⁴.

Ziel unserer hydrogeologischen Untersuchungen ist es, ein möglichst umfassendes Bild der derzeitigen und der (prä-)historischen Wasserversorgung Troias zu liefern. Wie bereits jetzt gezeigt werden konnte, hat das Stollensystem nicht „zu allen Zeiten Troias Wasserversorgung garantiert“¹⁵, 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 6.400 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Abb. 6), wobei Typ 1 Leitfähigkeiten bis $1.900 \mu\text{S cm}^{-1}$, Typ 2 $2.000\text{--}3.600 \mu\text{S cm}^{-1}$ und Typ 3 mehr als $3.600 \mu\text{S cm}^{-1}$ aufweist.

// hier Abbildung 5 einfügen //

// hier Abbildung 6 einfügen //

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 für die Viehränke und von Wanderarbeitern genutzte Quellen mit extremen Nitratwerten bis zu 449 mg L^{-1} (Grenzwert nach Türkischer Trinkwasserverordnung¹⁶: 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 $27 \mu\text{g L}^{-1}$ gekennzeichnet ist¹⁷. 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 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ liegt. Nach WHO (World Health Organization) werden $10 \mu\text{g L}^{-1}$ für Trinkwasser empfohlen.

Bei Merkel – Sperling und Wedepohl werden durchschnittliche As-Massenkonzentrationen von Grundwässern zusammen getragen¹⁸. Demnach wären bei den gegebenen geologischen Verhältnissen mittlere As-Gehalte von $10\text{--}20 \mu\text{g L}^{-1}$ zu erwarten, wie sie auch bei den meisten der untersuchten troianischen Wässer auftraten. 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 wurden¹⁹. Seit dem Ende der Besiedlung Troias wäre eine Fracht von $10\text{--}50 \text{ kg As}$ 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 Trojanischen Landschaft verwendet werden. Von diesen ist bekannt, dass sie As-Anomalien aufweisen, die sich zur Identifizierung von Keramik eignen²⁰. 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 lassen²¹. 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 $2\text{--}20 \text{ mg kg}^{-1}$ ²².

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 waren²³. Zusätzlich in die Wände eingelassene Röhren wurden von den Römern bei Fischbecken verwendet²⁴. Zwischen dem Auslauf aus dem Zugangsstollen und den Becken befinden sich im Wasserlauf 4 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 trübstoffhaltiges Wasser aus dem Stollensystem fließt. Sie müssen jedenfalls älter sein als die in den Stollen 1a und 1b vorgefundenen bzw. nachweisbaren Dämme, denn die Wasserspeicher hinter den Dämmen hielten bereits einen Großteil der Schwebfracht zurück.

Baulich weist das Stollensystem Anzeichen einer jüngeren und einer älteren Bauphase auf. Der vordere Teil²⁵ und möglicherweise der ca. 115 m weiter östlich gelegene Schacht 4 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. u.Z. (spätromisch) wurden die Schächte verschlossen und eine Nutzung als Trinkwasser ist danach nicht mehr als wahrscheinlich anzunehmen²⁶.

Insgesamt besaß das Wasserbergwerk während seiner Funktion als Wasserspeicher ein Speichervermögen von ca. 50–60.000 L²⁷. Täglich wurden davon durch den natürlichen Grundwasserzutritt rund 200–3.200 L ausgetauscht, so dass von einer Erneuerung des Wassers alle drei bis 40 Wochen, im Schnitt 10 Wochen, ausgegangen werden kann. Zweck dieses Systems 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 gespeichert zu haben. Eine Stollenanlage mit Staumauern, die einem ähnlichen Zweck gedient haben dürfte, findet sich beim Subasi Tepe (‘Spratt’s Plateau’, Messstellen HS1–HS4)²⁸.

Heute beträgt die Quellschüttung $0,5\text{--}1 \text{ L min}^{-1}$ und die Temperatur schwankt abhängig von der Jahreszeit zwischen 6 und 18°C . Die Dämpfung gegenüber der Außentemperatur beträgt im Sommer und Winter runde $10\text{--}15 \text{ K}$. 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 Temperaturlanges als die nahe dem Eingang.

Warme Quelle – Kalte Quelle?

Sieht man Homer als den Beschreiber einer Landschaft, die zum Zeitpunkts seines Besuchs oder dem seiner Informanten in der Troas existierte, dann ist davon auszugehen, 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, dass Homer eine „heiße“ Quelle meinte:

But it is a matter of argument what the poet means when he says: ,And they came to the two fair-flowing streams, where well up the two springs of eddying Scamander; for the one flows with soft water’ (that is, with ‚hot water‘), and the poet adds, ,and round about a smoke arises from it as if from a blazing fire, whereas the other even in summer flows forth cold as hail or chill snow’. But, in the first place, no hot waters are now to be found at the site, and, secondly, the source of the Scamander is not to be found there, but in the mountain; and it has only one source, not two. (Strabo 13,43)

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 übergeführt 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; 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.

// hier Abbildung 7 einfügen //

Wie die kontinuierlichen Messreihen am Düden Quelltopf (Abb. 8; Messstelle QCF) und einer Quelle östlich 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.

// hier Abbildung 8 einfügen //

// hier Abbildung 9 einfügen //

Strabo (Strabo 13, 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 sei²⁹. Virchow schließlich referiert alle bis dahin durchgeföhrten Temperaturmessungen und stellt bei den verschiedenen Bearbeitern erhebliche Unstimmigkeiten in deren Messungen fest³⁰. Es sollte daher in vorliegender Arbeit mit einer anderen 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 wurde³¹. Als Arbeitshypothese wird hier vermutet, dass eine versiegte warme Quelle im homerischen Sinne an der Oberfläche Kristallkrusten zurückgelassen haben müsste und das 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 Kaplica (ca. 25 km entfernt), da diese ebenfalls in einem Kontaktbereich tertiärer Sedimentite und Vulkanoklastite liegen³².

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 Wassers³³. Diese ist jedoch für die untersuchten Wässer nicht gegeben, da deren Reifeindex stets unter 2 liegt. Folglich ist das SiO₂-Geothermometer anzuwenden, das ein Wasser-SiO₂-Gleichgewicht mit kristallinem Quarz oder amorphem Chalcedon voraussetzt und für das Verma³⁴ die derzeit aktuellsten Werte publizierte. Aufgrund der Empfindlichkeit des SiO₂-Thermometers gegenüber sekundären Prozessen wie Mischung oder Ausfällung sind die ermittelten Reservoirtemperaturen in der Regel als Minimaltemperaturen 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 Kaplica 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⁻¹³⁵. 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 Hisarliks 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 umso 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 Hisarlik 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 „Hisarliknähe“ und „Kristallkrusten in der Nähe“ erfüllen.

Schlussgedanken

Unabhängig davon, ob Homers Ilias ein tatsächliches Ereignis beschreibt, dass an der Stelle des heutigen Hisarlik stattfand, oder ob Homer seinen Trojanischen 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 ausreichendem Wasser zu versorgen. Sicherlich haben sich die Trojaner der zahlreichen Brunnen und Zisternen im Inneren der Siedlung bedient. Im römischen Troia existierte dann bekanntlich ein umfangreiches Aquäduktssystem, dass die Stadt mit ausreichend Wasser versorgte³⁶.

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 war. 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.

BIBLIOGRAPHIE

- ASLAN, RÜSTEM. 2001. Per Tunnel in die Unterwelt, *Damals* 33/4: 38—42.
- 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.
- 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 – MANGINI, AUGUSTO – KORFMANN, MANFRED. 2002. ²³⁰Th/U dating of the Trojan ‘water quarries’, *Archaeometry* 44/2: 305—314.
- FRUMKIN, AMOS – SHIMRON, ARYEH – ROSENBAUM, JEFF. 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 KASKAL.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.
- HAWKINS, J. DAVID. 1998. Tarkasnawa King of Mira ‘Tarkondemos’, Boğazköy Sealings and Karabel, *Anatolian Studies* 48: 1—31.
- HOMER. 1975. *Ilias – Neue Übertragung von Wolfgang Schadewaldt*. Frankfurt a. M.

- 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.
- LATACZ, JOACHIM. 2003. *Troia und Homer – Der Weg zur Lösung eines alten Rätsels*. München u.a.
- 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 – EIBLMAIER, MANFRED. 2003. *Lexikon der Geowissenschaften*. Heidelberg.
- MERKEL, BRODER – SPERLING, BARBARA. 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.
- 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, Bunarbasch und andren Orten der Troas im Jahre 1882*. Leipzig.
- STARKE, FRANK. 1997. Troia im Kontext des historisch-politischen Umfeldes Kleinasiens im 2. Jahrtausend, *Studia Troica* 7: 447—487.
- 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 – CORRENS, CARL W. – SHAW, DENIS M. – TUREKIAN, KARL K. – ZEMANN, JOSEF 1978. *Handbook of Geochemistry*. Berlin Heidelberg New York.

WOLKERSDORFER, CHRISTIAN – BLUME, CLAUDIA – WEBER, CLAUDIA. 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

The Geography of Strabo with an English Translation by H. L. Jones in Eight Volumes. Vol. II [Book 13]. The Loeb Classical Library 60. Cambridge MA – London 1975.

STRABO. *Geographika*. 1993. RADT, STEFAN – DRIEVERS, JAN WILLEM. Die Groninger Neuedition von Strabons Geographika, vorgestellt anhand des Abschnittes über Troia, *Studia Troica* 3: 201—231.

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.

Autoren

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

Tabellen

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 Trojanischen Landschaft.

Abbildungen

//die Abbildungen können ein- oder zweispaltig gesetzt werden, je nach Platzangebot. Die jeweilige Größe ist größer als eine Spalte, um keine Qualitätseinbußen zu haben//

//die Abbildungen 5 und 8 bitte farbig setzen//

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

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

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

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

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

Abb. 6 Histogramm der Leitfähigkeiten von Wässern in der Trojanischen Landschaft. 347 Messungen der Jahre 2001—2003.

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 Dünen 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.

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.

¹ Die Autoren bedanken sich bei Katrin Bergmann, Claudia Blume, Pia Lippmann und Claudia Weber für ihre Unterstützung im Gelände, sowie Prof. İlhan Kayan für die Einführung in die geologischen Verhältnisse Troias und die Mithilfe seiner Studenten bei den Probenahmen und 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 İşletmeleri 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 AG 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 dafür, eine frühere Version korrigiert zu haben.

² Korfmann 1998, 57–62; Korfmann 1999, 22–25.

³ Schliemann 1884, 70ff.

⁴ Martin – Eiblmaier 2003, on-line Lexikon.

⁵ Wulff 1968; Biswas 1970, 26–29; Grewe 1986; English 1998.

⁶ Gill 1991, 1467–1470; Frumkin et al. 2003, 169–171.

⁷ Virchow 1879, 21.

⁸ Frank et al. 2002, 310.

⁹ Eine ausführliche Darstellung aller Messstellen findet sich im Beitrag von Wolkersdorfer – Göbel – Blume – Weber in vorliegender Ausgabe von *Studia Troica* ■.

¹⁰ Aslan 2001, 42; Korfmann 2000, 32–37.

¹¹ Lippmann 2003, 44ff.

¹² Aslan 2001, 42; Latacz 2001, 21.

¹³ Starke 1997; Hawkins 1998; Latacz 2003.

¹⁴ Gordon 1967, 70, 80–82.

¹⁵ Latacz 2001, 21.

¹⁶ Turkish Standards. 1986. *Drinking Water*. TS 266: 1–80 Ankara. [Türk Standartları Enstitüsü. 1986. *İçme Suları*. TS 266]

¹⁷ Weber 2003, 63; Wolkersdorfer et al. 2003, 94.

¹⁸ Merkel – Sperling 1998, 309; Wedepohl 1978, 33-I-3.

¹⁹ Riederer 1987, 129.

²⁰ Knacke-Loy 1994, 80–84.

²¹ Knacke-Loy 1994. Tabellen 9 und 11 ergeben sich nicht aus den Anhängen 3 und 5 und weisen gegenüber diesen Anhängen Unstimmigkeiten auf.

²² Merkel – Sperling 1998, 300–307. Zusammenstellung aus verschiedenen Quellen; Wedepohl 1978, 33-G-1, 33-K-1–4.

²³ Rose 1999.

²⁴ Vitruvius Pollio – Fensterbusch 1991; Crouch 1993.

²⁵ Frank et al. 2002. Schacht 4 hebt sich durch seine rechteckige Form und seinen Abmessungen von $1,8 \times 2,4$ m im oberen, bzw. $2,2 \times 2,6$ m im unteren Bereich von den anderen Schächten ab (Korfmann 2002, 22f.). Die sehr dicken Sinterablagerungen an den Seitenwänden von Schacht 4 ergaben nach Auskunft von Prof. M. Korfmann eine Datierung in das 3. Jahrtausend.

²⁶ Korfmann 2001, 20–22.

²⁷ Lippmann 2003, 54.

²⁸ Lehmann-Haupt 1918, 433—434. Das dortige Wasserbergwerk wurde im Jahre 2001 von R. Aslan, R. Becks und G. Bieg wieder entdeckt und erstmals seit Lehmann-Haupt in ihrer gesamten Erstreckung begangen. Nach einer zukünftigen Vermessung soll dazu ein Artikel in den *Studia Troica* erscheinen.

²⁹ Schliemann 1884, 73.

³⁰ Virchow 1879, 18—28.

³¹ Deming 2002; Braun 1872, 39.

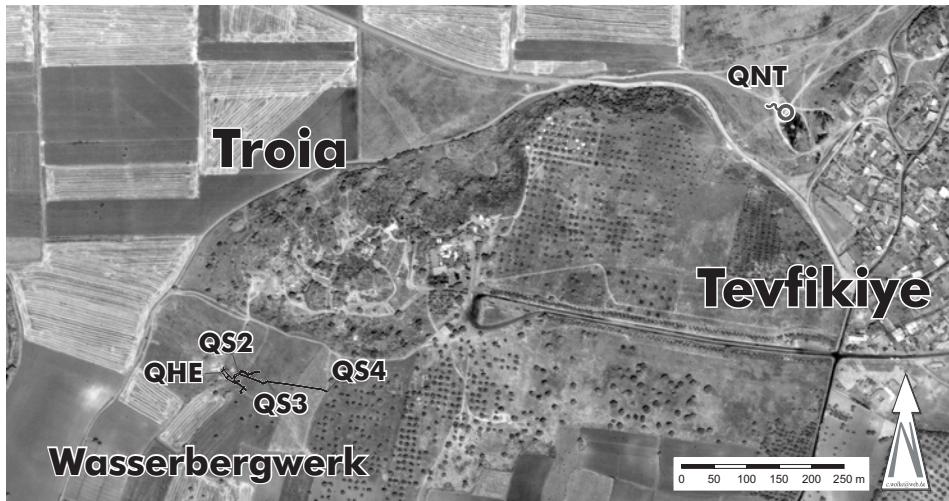
³² Mützenberg 1991, 18 und unnummerierter Anhang.

³³ Giggenbach 1988, 2749ff.

³⁴ Verma 2000, 1928.

³⁵ Mützenberg 1991, 107—109.

³⁶ Aylward et al. 2002.



1

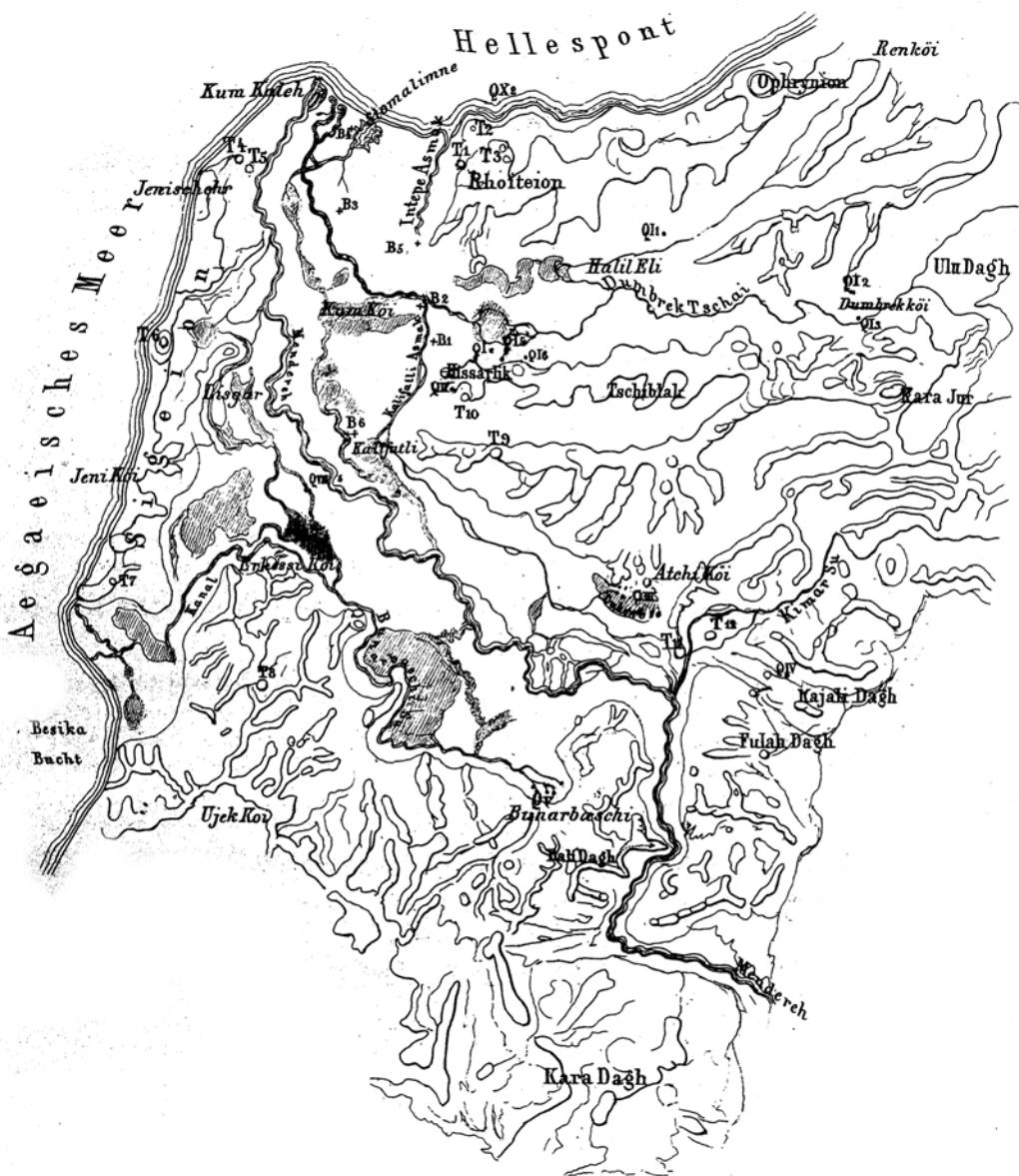


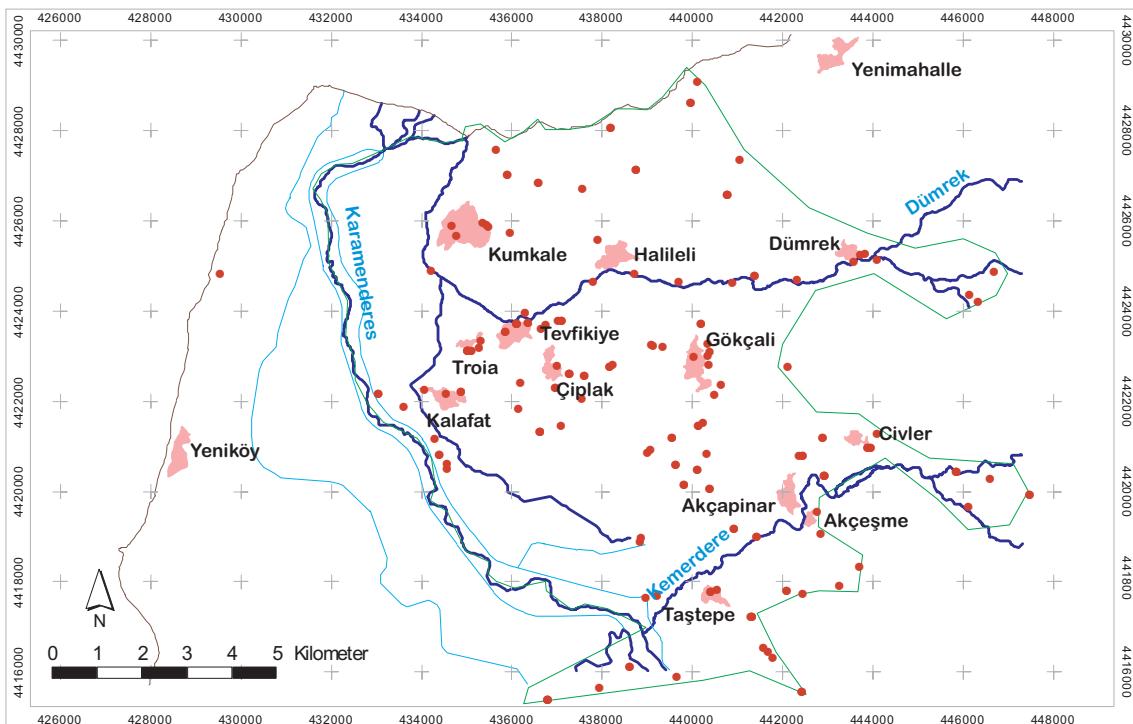
Abb. Schütze Lith. Inst. Berlin.



3

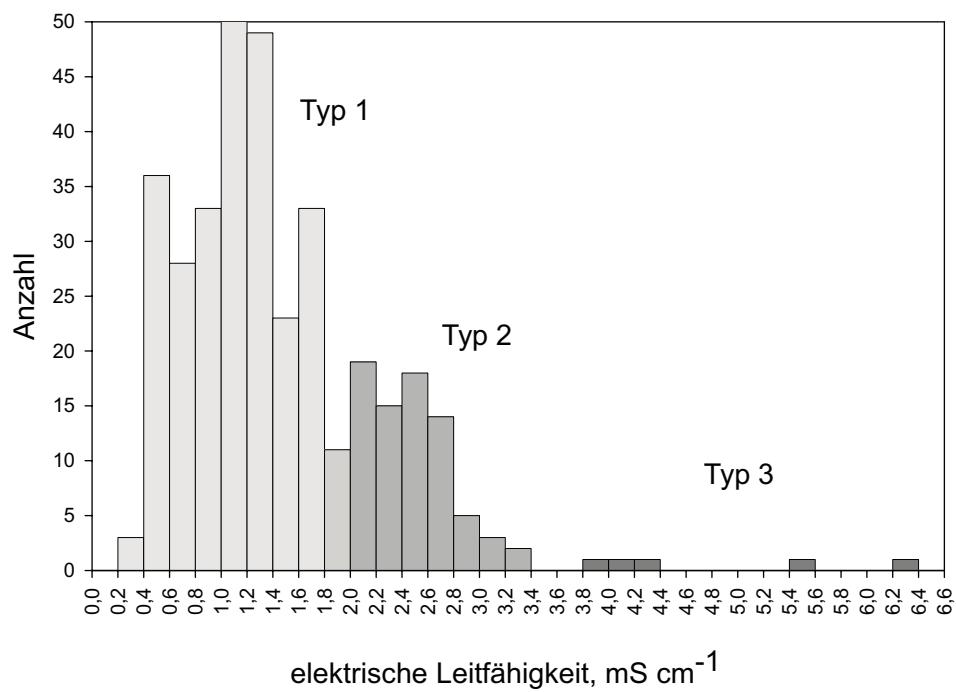


4



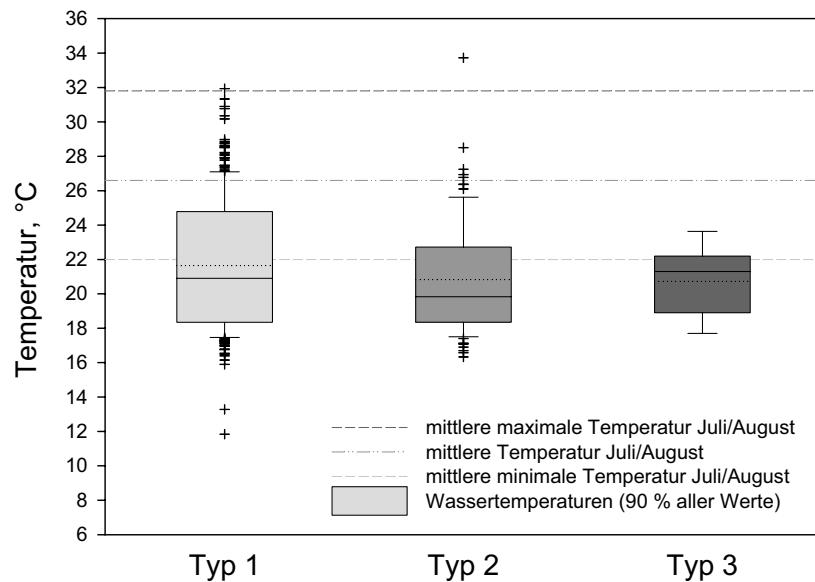
5

Histogramm der Leitfähigkeiten



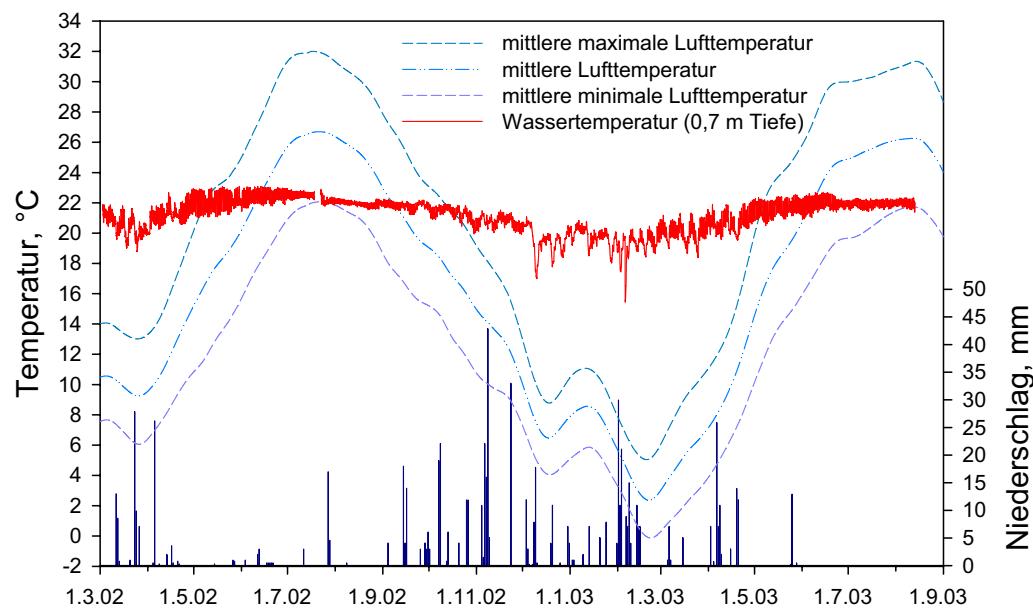
6

Wassertemperaturen der Wassertypen in der Troianischen Landschaft



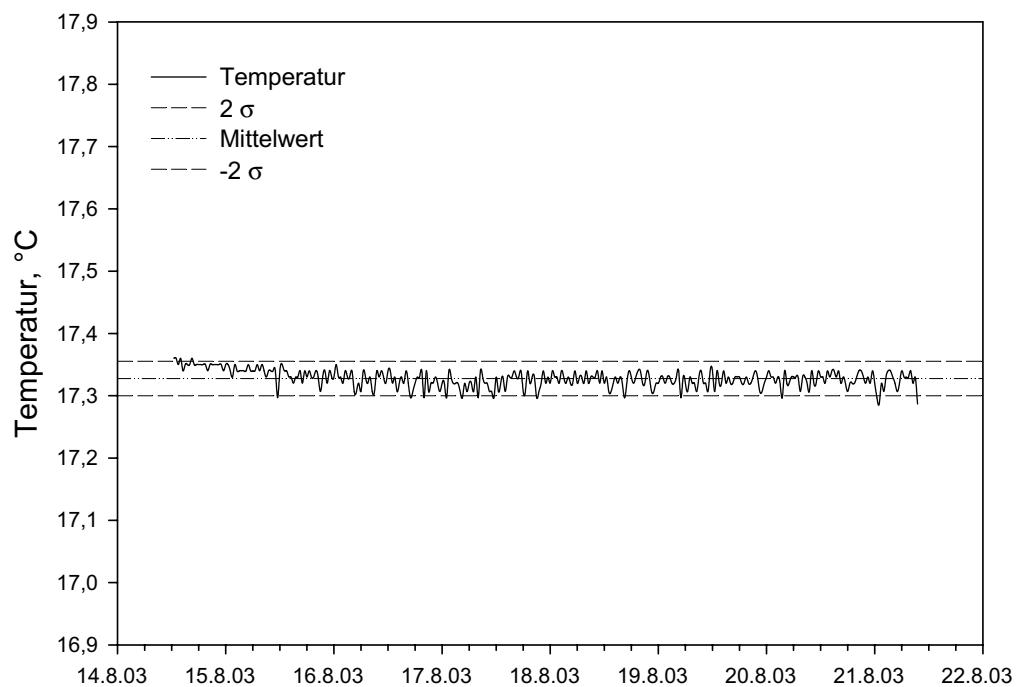
7

Düden Quelltopf (Messtelle QCF)



8

Quelle QWK Östlich Dümrek



9