

STUDIA TROICA  
Monographien 5

2014

# STUDIA TROICA

Monographien 5

Herausgeber

Ernst Pernicka  
Charles Brian Rose  
Peter Jablonka

EBERHARD KARLS  
UNIVERSITÄT  
TÜBINGEN



Herausgegeben von  
Ernst Pernicka, Charles Brian Rose  
und Peter Jablonka

# **Troia 1987–2012: Grabungen und Forschungen I**

Forschungsgeschichte, Methoden  
und Landschaft

Teil 1



VERLAG  
DR. RUDOLF HABELT GMBH  
BONN

**Undertaken with the assistance of the  
Institute for Aegean Prehistory (INSTAP) – Philadelphia, USA**

**The research and compilation of the manuscript for this final publication were made  
possible through a generous grant from The Shelby White – Leon Levy Program for  
Archaeological Publications**

**Gefördert mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)**

und der

**Daimler AG**

Teil 1: 536 Seiten mit 42 Farb- und 194 Schwarzweißabbildungen

Teil 2: 552 Seiten mit 30 Farb- und 229 Schwarzweißabbildungen

Herausgeber:  
Ernst Pernicka  
Charles Brian Rose  
Peter Jablonka

Lektorat:  
Hanswulf Bloedhorn  
Donald F. Easton  
Dietrich und Erdmute Koppenhöfer

Wissenschaftliche Redaktion:  
Stephan W. E. Blum  
Peter Jablonka  
Mariana Thater  
Diane Thumm-Doğrayan

Layout, Satz:  
Frank Schweizer, Göppingen  
Druck:  
Bechtel Druck GmbH & Co. KG, Ebersbach/Fils

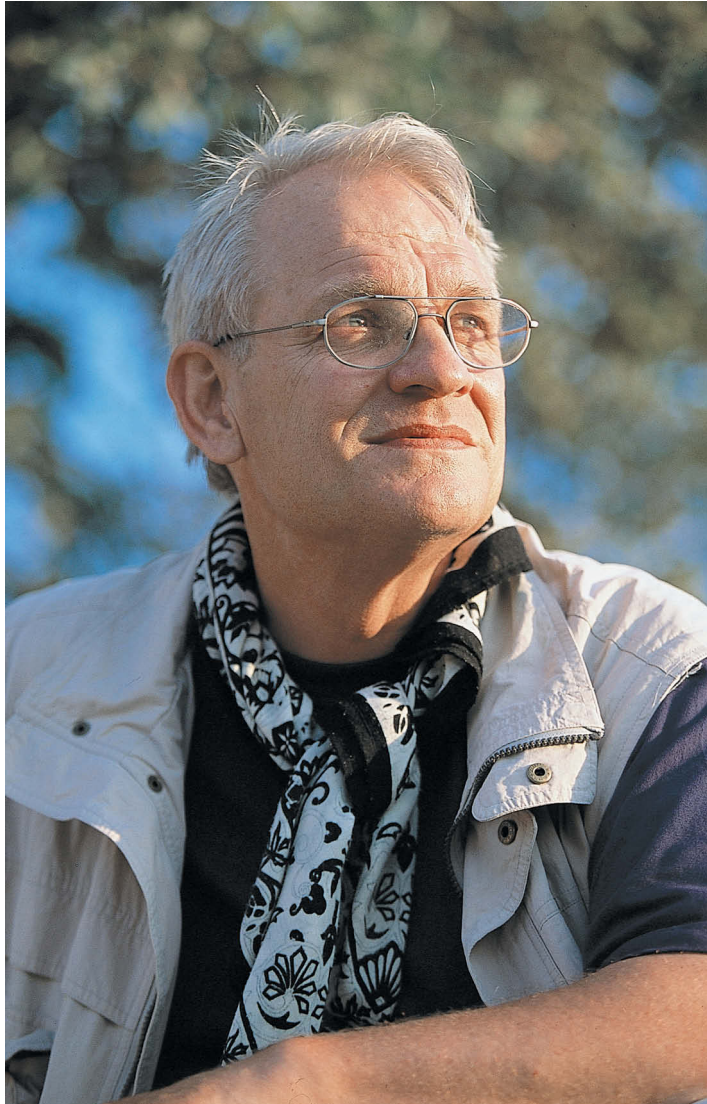
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind  
im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

© 2014 by Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn  
ISBN: 978-3-7749-3902-8

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.  
Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung  
des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung,  
Mikroverfilmung und die Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.







In memoriam  
Manfred O. Korfmann

26. April 1942 bis  
11. August 2005

## Teil 1

Ernst Pernicka Preface	10
<b>Forschungsgeschichte</b>	
Rüstem Aslan Unterwegs nach Troia. Reisende in der Troas von Ruy González de Clavijo bis Heinrich Schliemann	18
Donald F. Easton The First Excavations at Troy: Brunton, Calvert and Schliemann	32
Diane Thumm-Doğrayan Die Ausgrabungen in Troia unter Wilhelm Dörpfeld und Carl W. Blegen	104
Getzel M. Cohen How Cincinnati returned to Troy	142
Peter Jablonka Bronzezeitliche Archäologie in Troia seit 1987	158
Charles Brian Rose Post-Bronze Age Excavations at Troy, 1988–2005	190
<b>Methoden und Strategien</b>	
<b>Archäologie und Vermessungstechnik</b>	
Peter Jablonka Der Raum: Die Fundstelle und ihre geographische Lage	218
Peter Jablonka Archäologischer Survey im Stadtgebiet von Troia	262
Ralf Becks und Stephan W. E. Blum Methoden der prähistorisch-archäologischen Ausgrabung und stratigraphischen Analyse in Troia	364
Eberhard Messmer Die Vermessungsarbeiten in Troia seit 1987	394
Matthias Cieslack Die Bestimmung einer hochgenauen Höhenbezugsfläche (DFHBF) für Troia	420
<b>Erhaltung und Präsentation</b>	
Elizabeth H. Riorden Conservation and Presentation of the Site of Troy, 1988–2008	428
Donna Strahan and Simone Korolnik Archaeological Conservation	520



## Teil 2

### Methoden und Strategien

#### Archäologische Untersuchungen am Fundmaterial

Diane Thumm-Doğrayan Fundbearbeitung in Troia	548
Billur Tekkök – John Wallrodt – Sebastian Heath Post-Bronze Age Ceramic Data at Ilion, from In-Field Use to Digital Publication	582
Ivan Gatsov – Petranka Nedelcheva Lithic Industry of Troy I–VII: Objectives and Methods of the Excavations 1987–2006	592

#### Naturwissenschaftliche Methoden

Simone Riehl – Elena Marinova Archäobotanik	602
Henrike Kiesewetter Paläoanthropologische Untersuchungen in Troia	610
Ernst Pernicka, Thorsten Schifer, Cornelia Schubert Keramikanalysen in Troia	642
Norbert Blindow – Christian Hübner – Hans Günter Jansen (†) Geophysikalische Prospektion	666
İlhan Kayan Geoarchaeological Research at Troia and its Environs	694

### Die Troas: Untersuchungen zur Siedlungsgeschichte

#### Landschafts- und Besiedlungsgeschichte

Simone Riehl – Elena Marinova – Hans-Peter Uerpmann Landschaftsgeschichte der Troas. Bioarchäologische Forschungen	732
Stephan W. E. Blum – Mariana Thater – Diane Thumm-Doğrayan Die Besiedlung der Troas vom Neolithikum bis zum Beginn der mittleren Bronzezeit: Chronologische Sequenz und Siedlungsstruktur	770
Peter Pavúk – Cornelia Schubert Die Troas in der Mittel- und Spätbronzezeit	864
Volker Höhfeld Die Troas in osmanisch-türkischer Zeit	924

#### Einzelstudien zur Besiedlung der Troas

Utta Gabriel Die Keramik der troadischen Fundorte Kumtepe IA, Beşik-Sivritepe und Çıplak Köyü im Kontext ihrer überregionalen Vergleichsfunde	990
Jan-Krzysztof Bertram – Necmi Karul Anmerkungen zur Stratigraphie des Kumtepe. Die Ergebnisse der Grabungen in den Jahren 1994 und 1995	1058
Adressen der Autoren	1085

Eberhard Messmer\*

## **Die Vermessungsarbeiten in Troia seit 1987**

### **Zusammenfassung**

Eine gute Dokumentation ist ein wesentlicher Bestandteil der Archäologie. Die Geodäsie kann hierzu einen wichtigen Beitrag leisten, indem sie digitale Daten zur Verfügung stellt, die heute mit modernen CAD-Systemen und Datenbanken auf Basis von dreidimensionalen Koordinaten digital verarbeitet, dargestellt und archiviert werden können. Der folgende Beitrag stellt einen kurzen Abriss über die Leistungen der Geodäsie und die technische Entwicklung während der 25jährigen neuen Grabungsgeschichte dar.

### **Abstract**

Good documentation is an essential aspect of archaeology. Geodesy can make a substantial contribution by making data available, which, digitally processed and stored in databases, can be used, represented and archived on the basis of three-dimensional coordinates. The following essay represents a brief overview of what has been achieved with geodesy and related technical developments during the twenty-five years that make up the history of the most recent excavation campaign.

### **Einleitung**

Das Team der Ausgrabungen von Troia hat dank eines weitsichtigen Grabungsleiters sehr früh erkannt, welche Vorteile Geodäten zur Erstellung einer guten Dokumentation bieten können. Dies war für die beteiligten Geodäten sowohl eine Herausforderung als auch eine Chance, das Wissen und die Praxis in den Dienst der Archäologie zu stellen.

Bereits 1987 konnten moderne Messverfahren mit neuartiger Messtechnik in Troia eingesetzt werden, die vielerorts oftmals noch nicht bekannt waren, um in kurzer Zeit nicht nur Qualität, sondern auch Quantität liefern zu können. Im Laufe der Jahre passten sich Hard- und Soft-

---

\* Während der gesamten Vermessungsarbeiten waren diese Leistungen nur als Teamarbeit möglich. Deshalb möchte ich allen, die ihren persönlichen Beitrag zur Vermessung von Troia geleistet haben, danken. Stellvertretend für die einzelnen Kollegen möchte ich Şerafettin Taşkın als einem sehr engagierten und treuen Freund vor Ort und den beiden Vermessungsingenieuren Christian Hartmann und Matthias Cieslack sowie Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger als deren Betreuer danken, die in den letzten Jahren mit ihren Diplomarbeiten über GPS-Vermessungen einen wichtigen Beitrag in Troia geleistet haben. Sie zeigen, daß sich der »Geist von Troia« auch heute noch sehr positiv auswirken kann. Weiterhin gebührt mein Dank dem verstorbenen Grabungsleiter und Freund Prof. Dr. Manfred O. Korfmann und seinem gesamten Team. Ohne ihre Unterstützung und Anerkennung wäre unsere Arbeit nicht möglich gewesen. Stellvertretend für Sponsoren aus dem Bereich der Hard- und Software möchte ich der Schweizer Fa. Leica-Geosystems in Heerbrugg (St. Gallen; ehemals WILD Heerbrugg) und deren Vertretung in Deutschland für die Unterstützung danken. »Last but not least« danke ich meiner Frau Klara und meinen Kindern Anna-Lena, Marcial und Beatrice, die mich in meiner Arbeit für Troia – auch vor Ort – unterstützt und immer ermutigt haben.

ware ständig dem aktuellen Stand an, so dass der heutige Standard von Troia nur für wenige andere Ausgrabungen zutrifft. Durch die bereits 2000 erfolgte Geo-Referenzierung in das weltweit definierte Koordinatensystem, das International Terrestrial Reference Frame (ITRF)-System, können heute problemlos digitale Daten wie Satellitenbilder eingepasst oder georeferenziert werden. Der folgende Beitrag stellt eine kurze Zusammenfassung der gesamten Vermessungsarbeiten in Troia seit 1987 dar, der Schwerpunkt liegt auf den letzten neun Jahren.

## Grundlagenvermessung

Die Aufgabenstellung schien 1987 zunächst ganz einfach und bestand darin, »nur« das in den vorliegenden Plänen seit Schliemann und Dörpfeld eingezeichnete Rasternetz mit  $20 \times 20$  m in die Örtlichkeit zu übertragen. Damit sollten die neuen und späteren Ausgrabungen so weit wie möglich auf die Ergebnissen von Schliemann-Dörpfeld und Blegen bezogen werden können. Das Rasternetz sollte darüber hinaus zuverlässig sein und von der Genauigkeit her (Lage und Höhe besser als  $\pm 1$  cm) den Ansprüchen der Archäologen genügen. Die genaue Einmessung und die Bewertung von hochwertigen und anspruchsvollen Bauwerken ist somit gewährleistet. Weiterhin sollten ausreichend Punkte nahe der Grabungen zur Verfügung stehen, um selbständig und zuverlässig Absteckungen und Einmessungen machen zu können. Dazu sind eine dauerhafte Vermarkung mit stabilen Betonpunkten und einem Nagel als Zentrum erforderlich, die gerne vernachlässigt werden, weil der Aufwand oft zu groß ist. Von einer dauerhaften, zuverlässigen anfänglichen Vermarkung der Festpunkte hängt die Qualität der Dokumentation entscheidend ab. Das Grabungsnetz muss so aufgebaut sein, dass Archäologen jederzeit selbständig mit den heutigen modernen Messgeräten Koordinaten bestimmen und berechnen können.

Vielerorts wurden damals die Koordinatensysteme der Ausgrabungen von amtlichen Katastersystemen oder landesüblichen Koordinatensystemen abgeleitet. In vielen Ländern, wie in der Türkei, war dies jedoch einerseits von der vorhandenen Genauigkeit und andererseits von der militärischen Geheimhaltungspflicht her nicht sinnvoll bzw. gar nicht erst möglich. Zum damaligen Zeitpunkt waren GPS-Verfahren noch nicht so weit entwickelt, um diese in Troia sinnvoll und effektiv bzw. kostengünstig einsetzen zu können. Aus diesen Überlegungen heraus entschieden wir uns für ein lokales Festpunktfeld auf der Basis des Schliemann-Dörpfeld-Rasters. Diese Arbeiten wurden hauptsächlich 1987 und 1988 durchgeführt. In den folgenden Jahren wurde das Grabungsnetz nach Süden in Richtung Unterstadt erweitert.

## Schaffung eines geodätischen Festpunktfeldes

Zu Beginn der geodätischen Arbeiten wurden fünf Festpunkte an topographisch günstigen Punkten festgelegt und diese gut und dauerhaft mit Betonpunkten vermarktet. Diese Punkte wurden danach in einem vorläufigen und lokalen Koordinatensystem bestimmt. Die Definition der Höhe des Koordinatensystems erfolgte über das Propylon IIC ( $H = 30,79$  m), dessen Höhe eindeutig aus den Schliemann-Dörpfeld-Plänen entnommen werden konnte. Der Punkt 100/001 war mit

einem türkischen Vermessungspunkt identisch, von dem nur die Höhe von 36,06 m bekannt war. Die Höhe des Punktes im Schliemann-Dörpfeld-Systems beträgt 35,47 m. Der Wert ist 59 cm niedriger als die Höhe aus der Landesvermessung. Die Höhenkoordinaten haben sich später im Gegensatz zu den Lagekoordinaten nicht geändert. Alle Höhen des lokalen Systems beziehen sich auf die Höhe des Propylon IIC. Diese Höhe entspricht etwa dem aktuellen Meeresspiegel. Dies wurde von uns nachgemessen.

### Rekonstruktion des Schliemann-Dörpfeld-Grabungssystems

Nachdem weder Markierungspunkte, Vermessungspunkte noch Anhaltspunkte für eine Kennzeichnung oder Vermarkung des Schliemann-Dörpfeld-Netzes am Ort gefunden werden konnten, entschieden wir uns zur Aufnahme und Transformation von Passpunkten für die Rekonstruktion des Grabungsnetzes. Zu diesem Zweck wurden 26 identische Punkte an vorhandenen Mauern und markanten Punkten, die von Archäologen bestimmt wurden und eindeutig identifiziert werden konnten, in das vorläufige Koordinatensystem eingemessen. Aus den vorhandenen Plänen wurden die Koordinaten dieser Punkte im Schliemann-Dörpfeld-Raster (-Netz) graphisch ermittelt. In einer anschließenden 3-Parametertransformation (Maßstab = 1,0) wurden die Koordinaten der fünf Festpunkte in das Schliemann-Dörpfeld-Koordinatensystem 1987 (SDK87) transformiert. Der mittlere Fehler der Transformation betrug  $\pm 0,11$  m. Damit konnten fünf Festpunkte im Schliemann-Dörpfeld-Grabungsnetz mit Lage- und Höhenkoordinaten geschaffen werden, die später die Grundlage für alle weiteren Messungen bildeten. Die Identität zu früheren Plänen von Schliemann-Dörpfeld und von Blegen, der sich an den vorliegenden Plänen orientiert hatte, war damit im Rahmen der Möglichkeiten gegeben.

### Erweiterung des Festpunktfeldes in Außenbereichen

In den Jahren 1988 und 1999 wurde das Festpunktfeld nach Süden, insbesondere im Bereich der Unterstadt und nach Osten ständig erweitert, um den Bedürfnissen der Ausgrabung und der topographischen Aufnahme von Troia gerecht zu werden. Ausgangsbasis für die Bestimmung der neuen Punkte waren die fünf Grundnetzpunkte aus dem Jahre 1987.

### Überprüfung der Berechnung des Troia-Netzes über eine Ausgleichung

Zu Beginn der Vermessungsarbeiten in Troia 1987 waren die Rechenprogramme noch nicht so weit, dass sie auf einfachen Personal-Computern problemlos gelaufen wären. Die gesamten Bestimmungen und Berechnungen der Koordinaten wurden deshalb über Mehrfachbestimmung mit Mittelbildung unter Berücksichtigung verschiedener Gewichtungen manuell durchgeführt.

In den Jahren 1993 und 1995 wurden in zwei Diplomarbeiten der Studenten Wolfgang Wackenhut und Georg Eck sowie Ralph Mersi und Markus Ströbele die Netzmessungen

nochmals mit den originalen Beobachtungsdaten, mit den Ausgleichungsprogrammen Netz2D und Netz1D sowie HEIDI<sup>1</sup> berechnet und bearbeitet.<sup>2</sup> Das Ergebnis bestätigte, dass die bisherigen Koordinaten nur um wenige Millimeter von den ausgeglichenen Koordinaten in Lage und Höhe (y, x, z) abweichen. Der mittlere Fehler in der Lageausgleichung betrug  $\pm 1,8$  mm und in der Höhenausgleichung  $\pm 3$  mm. Dieses Ergebnis ist für eine trigonometrische Höhenübertragung gut. Die ausgeglichenen Koordinaten in Lage und Höhe des Schliemann-Dörpfeld-Netzes (SDK87) wurden seit 1997 weiterverwendet und sind in der Koordinatenliste Troia 2000 (SDK87) enthalten.

### Einmessung des Troia-Festpunktfeldes in das Internationale Koordinatensystem (ITRF)

Lokale Netze sind dauerhaft ungünstig und schwer zu bearbeiten, weil der Bezug zum Landes- oder Weltkoordinatensystem fehlt. Mit der Entwicklung kostengünstiger und zuverlässiger GPS-Empfänger, mit dem kontinuierlichen Ausbau der bestehenden GPS-Systeme Navstar-GPS (USA) und GLONASS (Russland) sowie dem Neuaufbau von weiteren GPS-Systemen wie GALILEO (Europa) und Compass (China), wird die GPS-Technologie für Archäologen immer interessanter. Deshalb war es im Jahre 2000 naheliegend, in Troia eine GPS-Kampagne mit zwei Zielen durchzuführen. Zum einen sollten die umliegenden Grabungen in das Troia-Koordinatensystem eingemessen werden, um die lokalen Pläne in ein einheitliches Koordinatensystem und in das Troia-System SDK87 überführen zu können, zum anderen sollte das lokale Koordinatensystem von Troia in das internationale Koordinatensystem ITRF eingemessen werden, um den Bezug zu anderen Koordinatensystemen herzustellen. Die Genauigkeit der Punkteinschaltung liegt bei etwa  $\pm 0,5$  cm. Damit kann jeder Punkt über das ITRF-System auf 1 cm wieder hergestellt oder rekonstruiert werden.

Um einen Punkt auf der Erde in dem ITRF-System zu bestimmen, benötigte man damals zusammenhängende GPS-Messungen ohne Unterbrechungen über 24 Stunden, möglichst nach Greenwichzeit (UTC) von 0.00 Uhr bis 24.00 Uhr. Damit alle Beobachtungen zuverlässig über die gesamte Zeit registriert werden, empfiehlt sich ein Beobachtungsfenster in UTC für die Messungen von 23.40 bis 0.20 des Folgetages. In der Türkei ist der Beginn aufgrund der Osteuropäischen Sommerzeit (EEST) um 3 Stunden zu verschieben (Beginn 2.40 Ortszeit). In dieser Zeit darf sich der Punkt nicht bewegen und sollte keine Stromunterbrechung erfahren. Nach ca. 24 Tagen können dann die exakten Daten der umliegenden International Geodynamic Service (IGS)-Stationen abgerufen werden. IGS ist ein Zusammenschluss von weltweit mehr als 200 Institutionen, die sich zum Ziel gesetzt haben, GPS-gestützte Forschungsaktivitäten im Gebiet der Geodäsie und der Geophysik durch Bereitstellen von Beobachtungen eines weltweiten Netzes von permanenten GPS-Stationen zu unterstützen. Derzeit gibt es ca. 420 permanente GPS-Sta-

<sup>1</sup> Alle Programme sind vom Geodätischen Institut der Universität Karlsruhe.

<sup>2</sup> Wackenhut – Eck 1994; Mersi – Ströbele 1996.

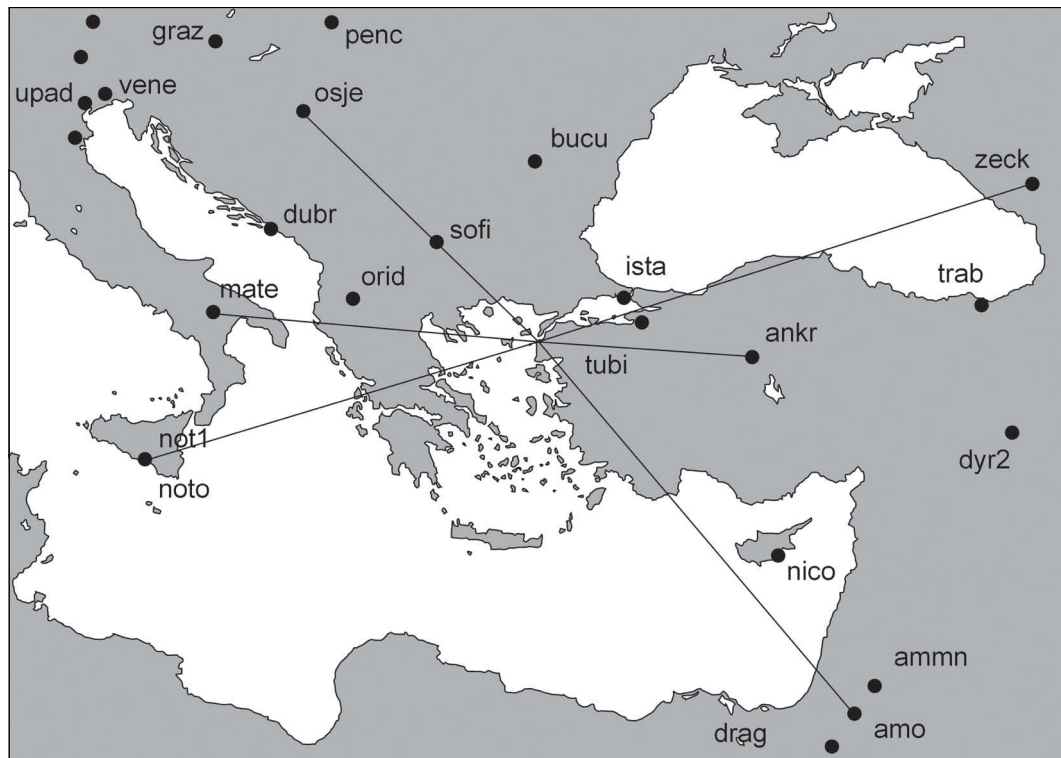


Abb. 1  
Baseline-Übersicht:  
ITRF-Einschaltung Troia  
(Hartmann 2000).

tionen, von denen 377 aktiv sind. Von den Datenzentren werden hochgenaue GPS-Bahndaten, Erdrotations- und Polparameter, Uhrparameter usw. für wissenschaftliche Zwecke und zur ITRF-Berechnung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Mit der sog. »Berner Software« vom Astronomischen Institut der Universität Bern<sup>3</sup> können danach die *baselines* (Strecken) von den entsprechenden Stationen zu den neuen Punkten berechnet werden. Mit diesen *baselines* wird der Neupunkt exakt berechnet. Die Berechnung kann bis heute immer noch nicht in Echtzeit, sondern nur im Nachhinein im sog. *postprocessing* erfolgen (Abb. 1).

In Troia wurden die Punkte 100/005 (TROI) beim Odeion (Theater C) und 100/027 (TROA) im Grabungsdorf in das ITRF-System überführt. Die Auswahl der Punkte hatte praktische Gründe. So sollten die GPS-Messpunkte zur ITRF-Einschaltung möglichst einen abschattungs-freien Empfang haben, um störungsbedingte Phasensprünge, sog. *cycle slips*, weitgehend im Vorfeld auszuschließen, damit möglichst alle Empfangsdaten für die *baseline*-Berechnung verwendet werden können. Weiterhin sollte die Stromversorgung mittels Batterie, Solarzellen oder Netzanschluss 24 Stunden hindurch gewährleistet sein. Nicht zuletzt sollten auch Diebstahl und Touristenneugier möglichst ausgeschlossen oder minimiert werden. Diese Kriterien haben beide Punkte erfüllt. Die GPS-Messungen fanden am 12. und 13. Juli 2000 statt. Zur unabhängigen Kontrolle wurden die Punkte am 22. und 23. Juli nochmals gemessen.

<sup>3</sup> Angelakis 2000.

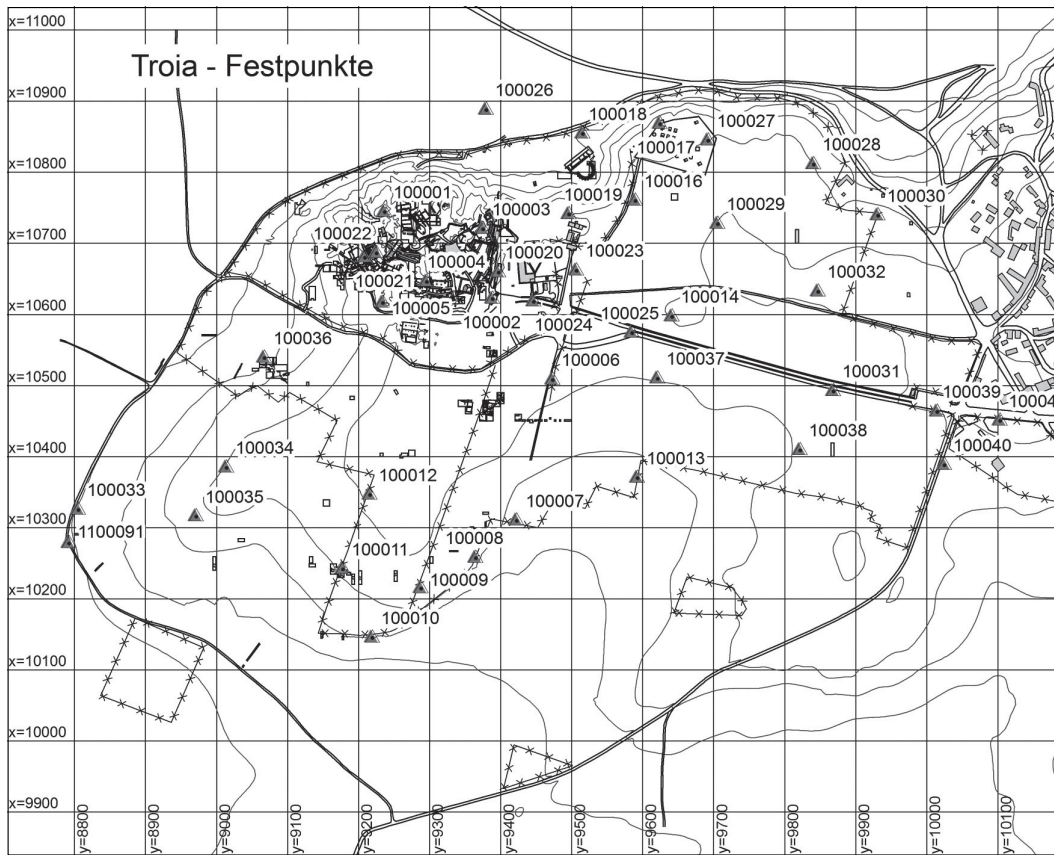


Abb. 2  
Übersichtsplan  
Grabungsnetz Troia  
(Troia-Projekt, Universität Tübingen).

Die Berechnung der Punkte erfolgte an der heutigen Hochschule für Technik in Karlsruhe mit der Berner Software Version 4.2. Die Auswertung wurde sowohl mit der QIF-Strategie als auch mit der SIGMA-Strategie durchgeführt. Beide Strategien sind nicht mit gewichteten, sondern mit elevationsabhängig gewichteten Beobachtungen berechnet worden. Die Daten wurden somit insgesamt viermal unabhängig ausgewertet. Die Zusammenführung der Einzelergebnisse erfolgte mit dem Programm ADDNEQ, einem Bestandteil der Berner Software. Dieses Ergebnis, die ADDNEQ-Koordinaten, wurden für die weiteren Berechnungen verwendet. Über die Programme Netz2D und HEIDI des Geodätischen Instituts der Universität Karlsruhe erfolgte im Anschluss die Qualitätskontrolle. Das Resultat ist eine Lagegenauigkeit von besser als  $\pm 4$  mm und eine Höhengenaugigkeit von besser als  $\pm 6$  mm. Als Datum der ITRF-Berechnung ist das System ITRF97 festzuhalten. Um die Transformationsparameter besser bestimmen zu können, wurden auch innerhalb von Troia GPS-Messungen auf Punkten, auf denen es möglich war, durchgeführt. Folgende Festpunkte im SDK87 wurden in Troia zusätzlich mit GPS mehrfach gemessen: 100/001, 100/002, 100/003, 100/004, 100/007, 100/011, 100/014, 100/016, 100/018, 100/020, 100/031, 100/033, 100/034, 100/035, 100/036, 1100/091. Die Punkte sind alle gut und tiefgründig vermarkt sowie über Einmess-Skizzen gut auffindbar und identifizierbar. Die für ITRF-Einbindung verwendeten Stationen sind in Tab. 1 aufgelistet.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Alle Tabellen und die meisten Abbildungen aus Hartmann 2000.

Die Abweichungen aus der Mittelbildung waren in der Lage bei 0,2 bis 0,7 cm und in der Höhe bei 0,5 bis 1,1 cm. Durch die große Anzahl der Punkte konnten die restlichen Punkte mit hoher Genauigkeit vom SDK87 in das ITRF97 endgültig transformiert werden.

Das Ergebnis der ITRF-Berechnung der Punkte 100/005 und 100/027 ist aus der Koordinatenliste zu entnehmen (Abb. 2, Tab. 2). Weitere Details über die einzelnen Berechnungsschritte sind aus der Diplomarbeit von Christian Hartmann zu ersehen.<sup>5</sup>

### Einmessung der umliegenden lokalen Grabungsnetze in das Grabungsnetz von Troia

Bereits vor Beginn der Arbeiten in Troia im Jahre 1987 wurde in der Troas südlich von Troia am Beşik-Sivritepe und am Beşik-Yassitepe gegraben (Abb. 3).<sup>6</sup> Die Einmessungen der Grabungen und Funde erfolgten über lokale Systeme, die vor Ort anfänglich mit Holzpflocken, später mit einbetonierten Holzpflocken und zuletzt mit Betonpunkten vermarktet wurden. Ziel dieser Messungen war es, diese lokalen Grabungsnetze und Grabungspunkte in das Troia-Koordinatensystem zu überführen, bevor die Punkte endgültig verloren gingen. Bisher war der Aufwand mit herkömmlichen terrestrischen Methoden groß, und das Verfahren auf diese weiten Entfernungen zu ungenau. So entschlossen wir uns, nachdem die GPS-Ausrüstung vor Ort war, die Einmessung dieser Punkte im Rahmen der ITRF-Einbindung durchzuführen. Mit dem Ergebnis dieser Einmessung kann später jederzeit mit GPS im gleichen System weitergemessen werden. Teilweise wurden auch neue Betonpunkte geschaffen, um später weiterarbeiten zu können.

Es ist nicht ganz einfach, viele Jahre nach Beendigung einer Grabung die damals verwendeten Netzpunkte auf Anrieb wiederzufinden und auf Identität zu prüfen. Weiterhin sind nicht mehr alle Netzpunkte vorhanden. Die Wahrscheinlichkeit, dass noch Holzpflocke vorhanden sind, ist oft nicht sehr groß. Ist ein Punkt vorhanden und noch identisch, so ist dieser Punkt nicht auch automatisch für GPS-Messungen geeignet. Bei Abschattungen infolge Bewuchs oder durch Bauwerke können GPS-Messungen nicht oder nur mit schlechter Qualität durchgeführt werden. Diese und andere Probleme traten bei den GPS-Messungen zur Netzanbindung auf.

Bevor diese Punkte mit GPS eingemessen werden konnten, waren die Punkte auf Identität und auf die GPS-Tauglichkeit wie Abschattungen usw. zu prüfen. Fast überall waren zusätzliche terrestrische Messungen notwendig, um lokale temporäre Netzpunkte für GPS-Messungen zu schaffen und einzubinden.

Alle GPS-Messungen wurden am selben Tag vor Ort ausgewertet und beurteilt. Beobachtungen, die nicht den Qualitätsanforderungen entsprachen, wurden am nächsten Tag wiederholt. Als Beobachtungsverfahren wurde das Verfahren Rapidstatic mit 60 Minuten Beobachtungszeit und 15 Sekunden Taktrate gewählt.

<sup>5</sup> Hartmann 2000.

<sup>6</sup> Korfmann 1986.



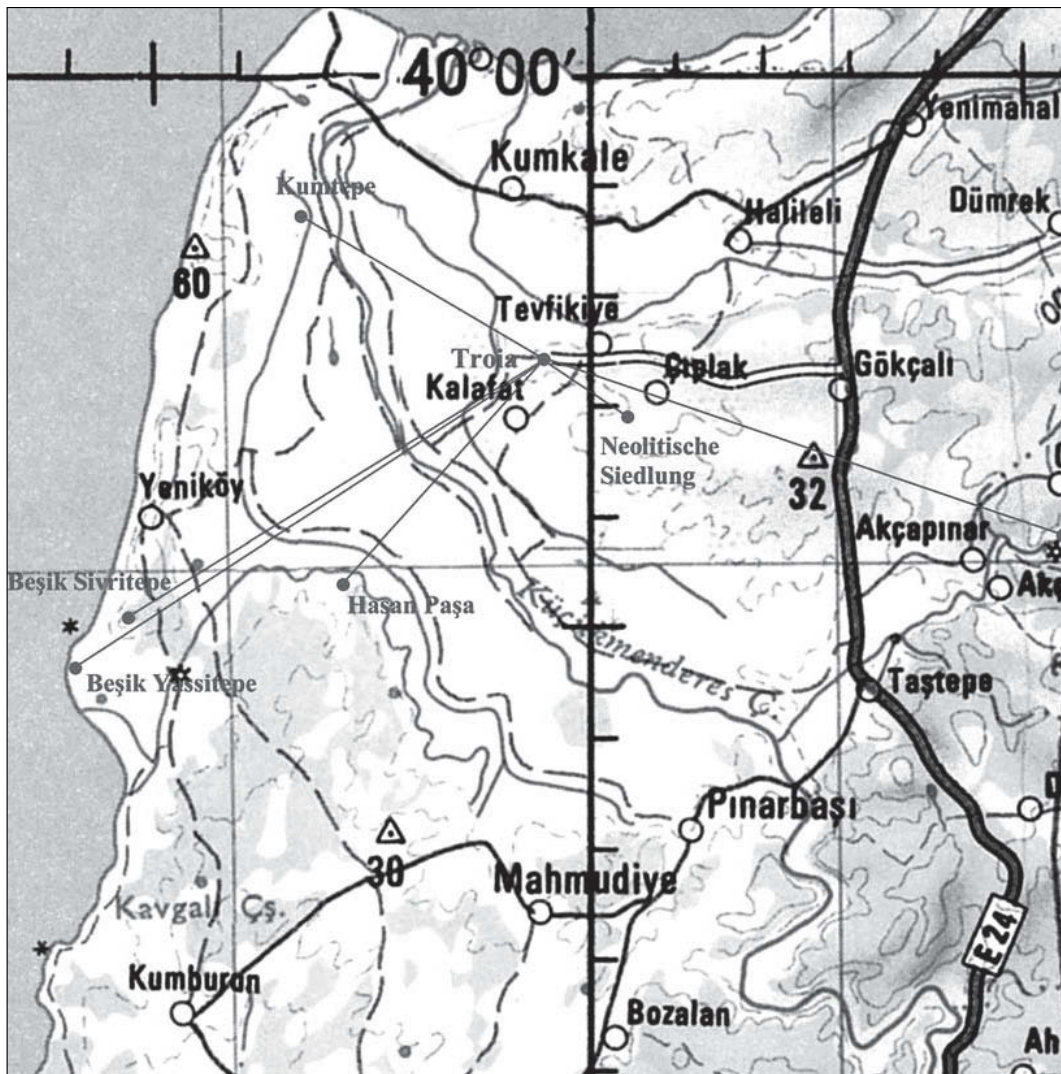
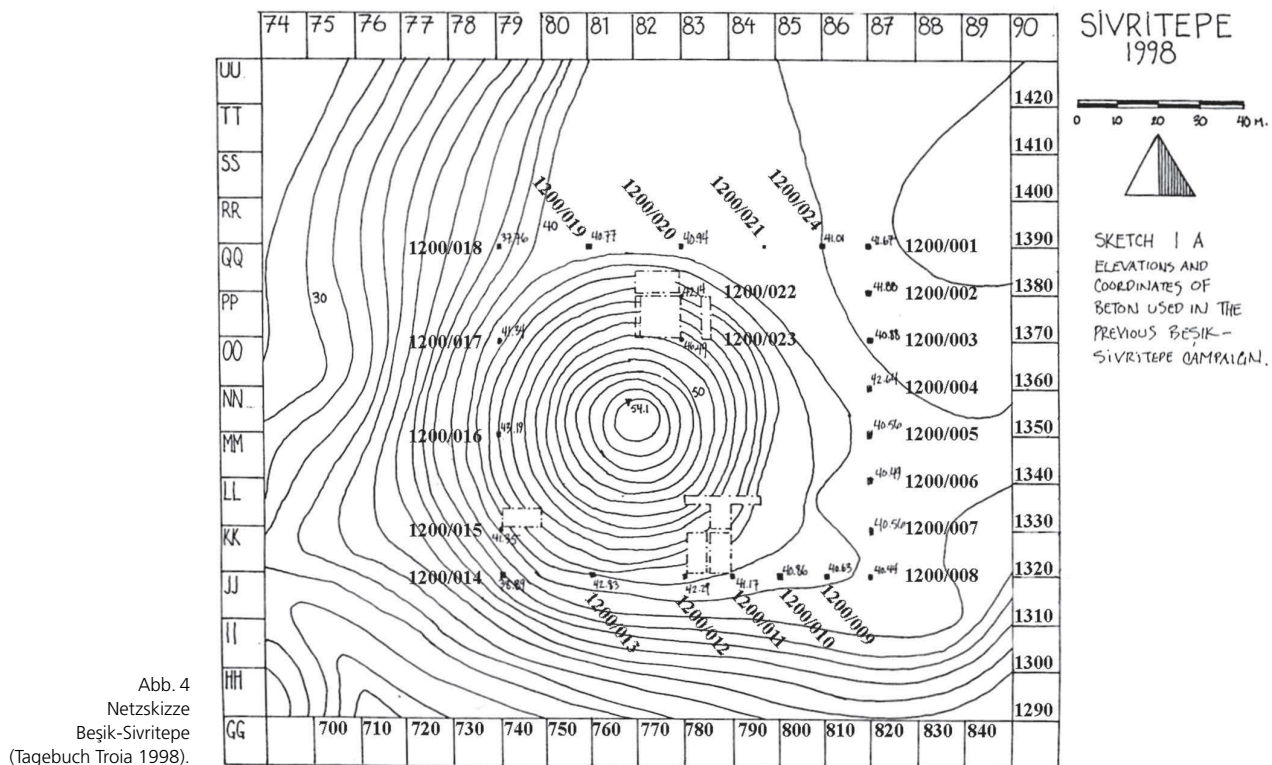


Abb. 3  
Übersichtsplan der eingemessenen Fundorte außerhalb von Troia (Hartmann 2000).

Ein weiteres Problem stellten die unterschiedlichen Höhensysteme dar. Die Höhen am Beşik-Sivritepe und Beşik-Yassitepe wurden 1994 mittels Pegelbeobachtungen definiert, die Höhen am Kumtepe wurden 1995 vom türkischen Höhensystem übernommen.

Die gemessenen GPS-Punkte haben ellipsoidische Höhen, die als Gebrauchshöhen ohne weitere Korrekturen nicht tauglich sind. An diesen Höhen muss noch die sog. Geoidundulation der Geoidmodelle angebracht werden, um zu orthometrischen Höhen für den praktischen Gebrauch zu kommen. Die Geoidundulation wurde mit dem »European Geoid and Quasigeoidmodel (EGG97)«, einem Programm der Universität Hannover, berechnet. Die Differenzen zu den Höhen im SDK87-System, der sog. *shift*, wurde an allen Höhen angebracht, so dass die folgenden Höhen auf das SDK87-System bezogen sind. Aufgrund der großen Entfernungen von mehr als 20 km und den fehlenden türkischen Höhen mit einer großen Genauigkeit konnte die Korrektur der GPS-Höhen über weite Strecken bisher noch nicht erfolgen. Im näheren Umfeld von



Troia bis ca. 5 km wurde dies 2004 von Matthias Cieslack in einer Diplomarbeit weiter untersucht und berechnet.<sup>7</sup> Im einzelnen gab es folgende Ergebnisse:<sup>8</sup>

»Die Grabungen Beşik-Sivritepe, Beşik-Yassitepe und Kumtepe haben vom troianischen System unabhängige SDK 87 Grabungsnetze.

Das Netz am Beşik-Sivritepe [Abb. 4, Tab. 3] besteht aus 24 betonierten Rasterpunkten, es wurde zuletzt 1998 genutzt. Das Zentrum der Punkte ist mit ca. 2 × 2 cm Kanthölzern markiert, in die Nägel geschlagen sind. Die Kanthölzer ragen einige Zentimeter aus dem Beton hervor. Es konnten neun Punkte gefunden werden, ein weiterer Punkt konnte als offensichtlich zerstört identifiziert werden. Die gefundenen Punkte waren äußerlich unversehrt, bei einigen waren die Kanthölzer abgebrochen, das Nagelloch war aber noch gut erkennbar. Es bestand keine Nummerierung der Punkte, auf Grund der vorliegenden Unterlagen konnten sie jedoch identifiziert werden.

Am Beşik-Yassitepe [Abb. 5, Tab. 4] besteht ein Netz aus mehreren betonierten Festpunkten sowie einer großen Anzahl betonierter oder verpflockter Rasterpunkte. Gemessen wurde das Netz von Adnan Şakar. Die neuesten mir vorliegenden Unterlagen stammen aus dem Jahr 1986. Es konnten fünf Punkte gefunden werden, bei mindestens einem müssen Zweifel an der unver-

<sup>7</sup> Cieslack 2004; vgl. auch seinen Beitrag in diesem Band.

<sup>8</sup> Hartmann 2000.

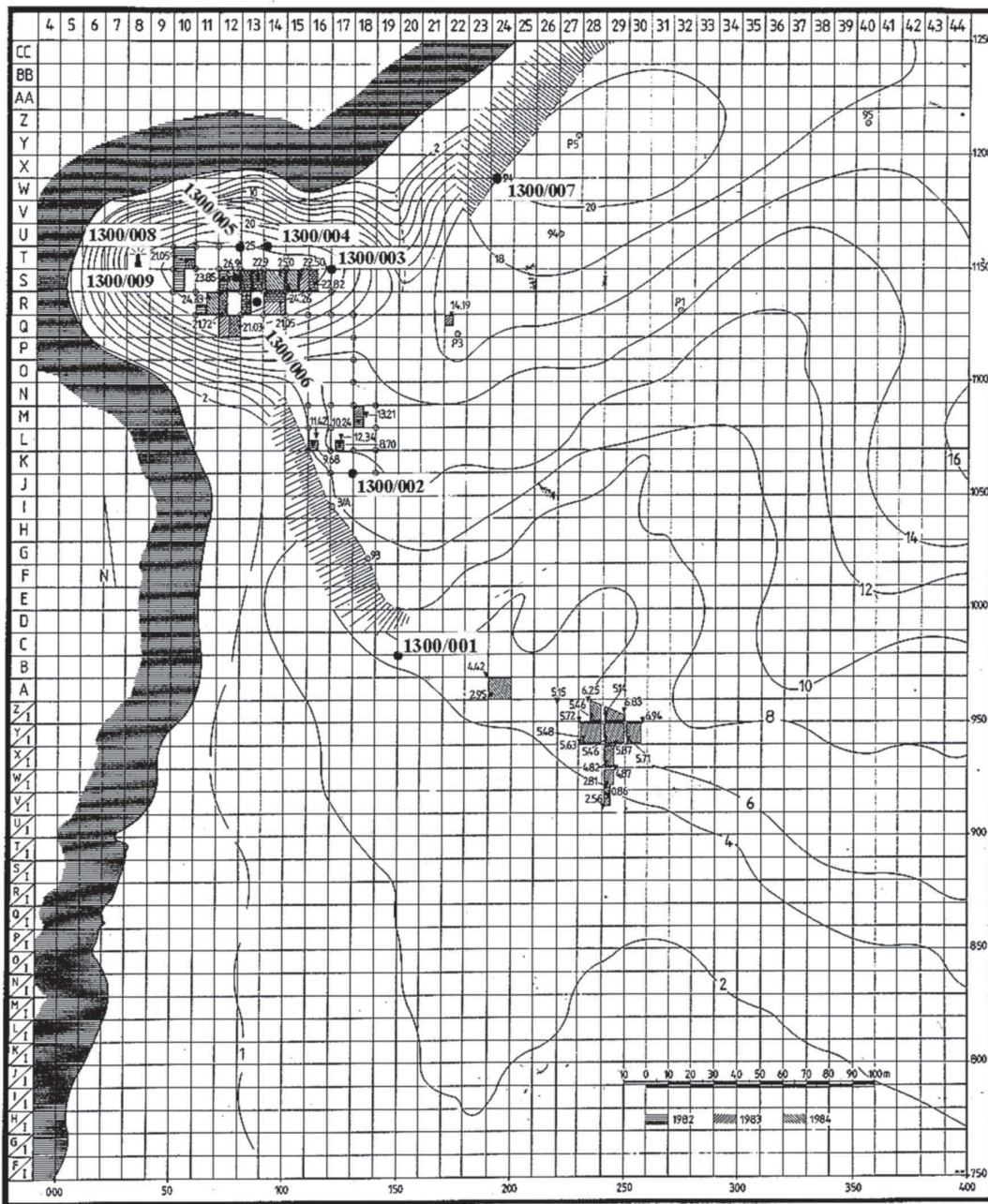


Abb. 5  
 Netzskizze Beşik-  
 Yassitepe (auf Plan aus  
 Korfmann 1986).

änderten Lage angemeldet werden. Die Festpunkte waren numeriert, nur von einigen konnten die Koordinaten in Erfahrung gebracht werden. Die Rasterpunkte waren nicht numeriert, die Koordinaten gehen aus den Unterlagen hervor. Die eindeutige Zuordnung erwies sich als schwierig. Es wurden zwei zusätzliche Betonpunkte geschaffen.

Vom Netz am Kumtepe [Abb. 6, Tab. 5], das für die Grabungen 1992 und 1995 [sic: richtig 1993–1995] angelegt worden waren, wurden ein Betonpunkt und vier Pflöcke vor Ort gefunden. In der Diplomarbeit Mersi und Ströbele 1995 wurde die Höhe von einem ca. 2,5 km entfernt lie-

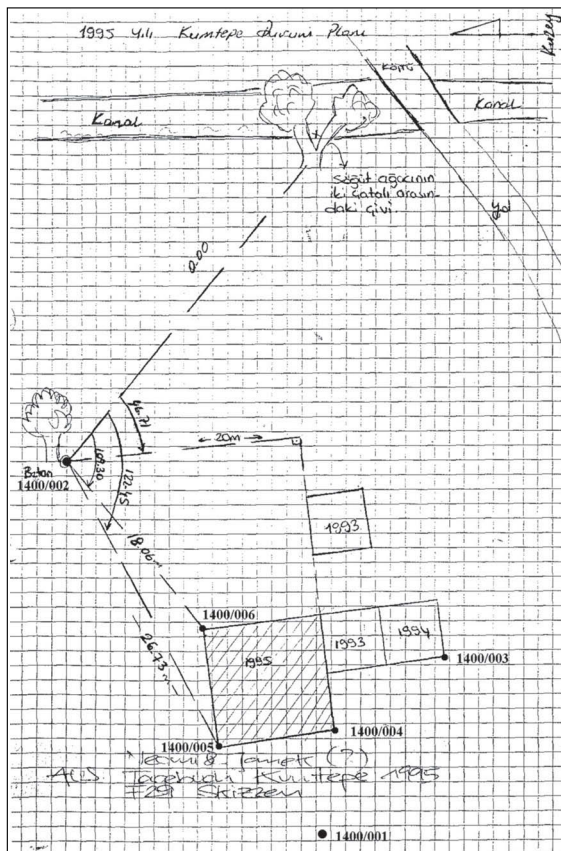


Abb. 6  
Netzskizze  
Kumtepe (Tagebuch  
Kumtepe 1995).

genden türkischen Festpunkt trigonometrisch und durch geometrisches Nivellement übertragen. Die Pflöcke sind Rasterpunkte mit bekannten Koordinaten und konnten eindeutig identifiziert werden. Die unveränderte Lage der Pflöcke zu beurteilen war schwierig und konnte erst in den späteren Berechnungen zweifelsfrei nachgewiesen werden. Der vorhandene Betonpunkt liegt unter einem Baum, konnte deshalb wegen der Abschattungen nicht mit GPS gemessen werden. Es wurde ein zusätzlicher Betonpunkt geschaffen, als Anschlusspunkte für die spätere Aufnahme wurde außerdem ein ca. 250 m entfernt liegender vorhandener trigonometrischer Punkt der türkischen Landesvermessung (TP) TP genutzt.

Die Netze am Aquädukt (Kemedere) [Abb. 7, Tab. 6], dem Hasan Paşa [Köşk] [Abb. 8, Tab. 7] und der Neolithischen Siedlung (Çıplak [Köy]) [Abb. 9, Tab. 8] mussten neu geschaffen werden.

Bei der Schaffung des Netzes am Aquädukt (Kemedere) erwies sich die Topographie als große Herausforderung. Der Aquädukt überspannt eine in Ost-West-Richtung verlaufende ca. 40 m tiefe und 20 m breite Schlucht. Die Hänge sind steil und zu großen Teilen bewaldet. Neben der Schwierigkeit, geeignete Stellen für eine GPS-Besetzung zu finden, verlangte die Vermarkung der Punkte nach kreativen Lösungen. Der felsige Untergrund und die schwer zugängliche Topographie machten die Schaffung von Betonpunkten unmöglich. Geeignete Vermessungsbolzen oder Nägel, die in den Fels eingebracht werden können, waren ebenfalls nicht vorhanden. So wurden Löcher in den Fels gebohrt und mit einem Kreuz aus rotem Nagellack markiert. Insgesamt wurden beim Aquädukt 3 Punkte geschaffen.

Die Ruine des Hasan Paşa liegt in einer Ebene, die umliegende Vegetation besteht vor allem aus Getreidefeldern. Die 3 neuen Betonpunkte wurden auf den breiten Ackerrainen angelegt.

Die Reste der Neolithischen Siedlung (Çıplak [Köy]) sind unter Getreideäckern verborgen. Die drei neuen Punkte wurden ebenfalls auf den Ackerrainen angelegt.«

Weiterhin wurden in der Umgebung von Troia noch türkische trigonometrische Punkte der Landesvermessung (TP) entdeckt, von denen Koordinaten bekannt waren (Abb. 10, Tab. 9).

»Die TP sind als Pfeiler vermarkt. Nicht alle Pfeiler standen lotrecht, was vermuten lässt, dass sich einige nach ihrer Fertigstellung geneigt haben. Die Gewinde zum Aufschrauben des Dreifußes waren in den meisten Fällen stark korrodiert, was größte Vorsicht beim Anbringen der Instru-

mente verlangte. Das Aufschrauben wurde zusätzlich dadurch erschwert, dass der Dreifuß über die Gewindeplatte hinausragte. Das Messen der Instrumentenhöhe gestaltete sich schwierig, da die Pfeileroberseite nicht eben war. Die Punktnummern waren in roter Farbe auf die Pfeiler geschrieben, Einmessungsskizzen lagen nicht vor.«

### Überprüfung der Netzpunkte durch Transformation

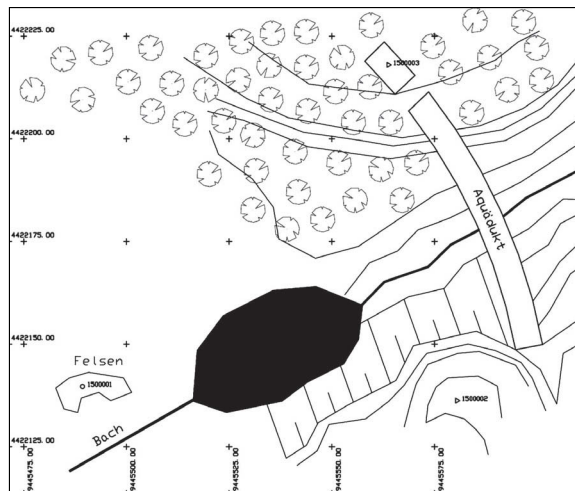


Abb. 7  
Netzskizze Aquädukt  
(Hartmann 2000).

Nach der Auswertung wurden die Punkte einer Helmert-Transformation (4 Parameter) unterzogen, um die Transformationsparameter zwischen den einzelnen Systemen zu bestimmen und die Identität der Punkte nachzuweisen. Zukünftig können über die folgenden Transformationsparameter jederzeit Koordinaten vom lokalen System in das ITRS97 (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84Ellipsoid, 27°-Meridian) transformiert werden (Tab. 10–14).

Bei dieser Transformation ergaben sich erhebliche Probleme:

»Beşik-Sivritepe und Beşik-Yassitepe haben ein einheitliches Koordinatensystem, sie wurden 1985 verknüpft (siehe Grabungsbericht Beşiktepe Vermessung 1985). Diese Information ermöglichte, die vorhandenen Unklarheiten bei der Punktzuordnung am Beşik-Yassitepe zu klären.

Über die identischen Punkte am Beşik-Sivritepe wurden Transformationsparameter von ITRF → Beşik-Sivritepe bestimmt. Diese wurden dazu verwendet, Näherungskoordinaten der Punkte am Beşik-Yassitepe zu berechnen. Die Gegenüberstellung der Näherungskoordinaten und Koordinaten aus den Unterlagen des Troia-Projekts der Universität Tübingen ergab folgendes: Der Versuch, die Widersprüche bei der Punktzuordnung zu klären, war leider nicht erfolgreich.

- Die Annahme, der Punkt 1300001 sei ein Rasterpunkt, wurde durch Unterlagen des Troia-Projekts der Universität Tübingen nicht bestätigt.
- Der Punkt 1300003 war zerbrochen, die großen Koordinatendifferenzen legen nun nahe, dass der am Hang liegende Punkt gerutscht ist.
- Die geringen Koordinatendifferenzen in den Punkten 1300002 und 1300005 lassen es wahrscheinlich erscheinen, dass diese Punkte unveränderte Rasterpunkte sind.«

Fazit:

»Es konnte keine ausreichende Anzahl identischer Punkte für eine kontrollierte Transformation zugeordnet werden. In Absprache mit Dr. Peter Jablonka vom Troia-Projekt der Universität Tü-

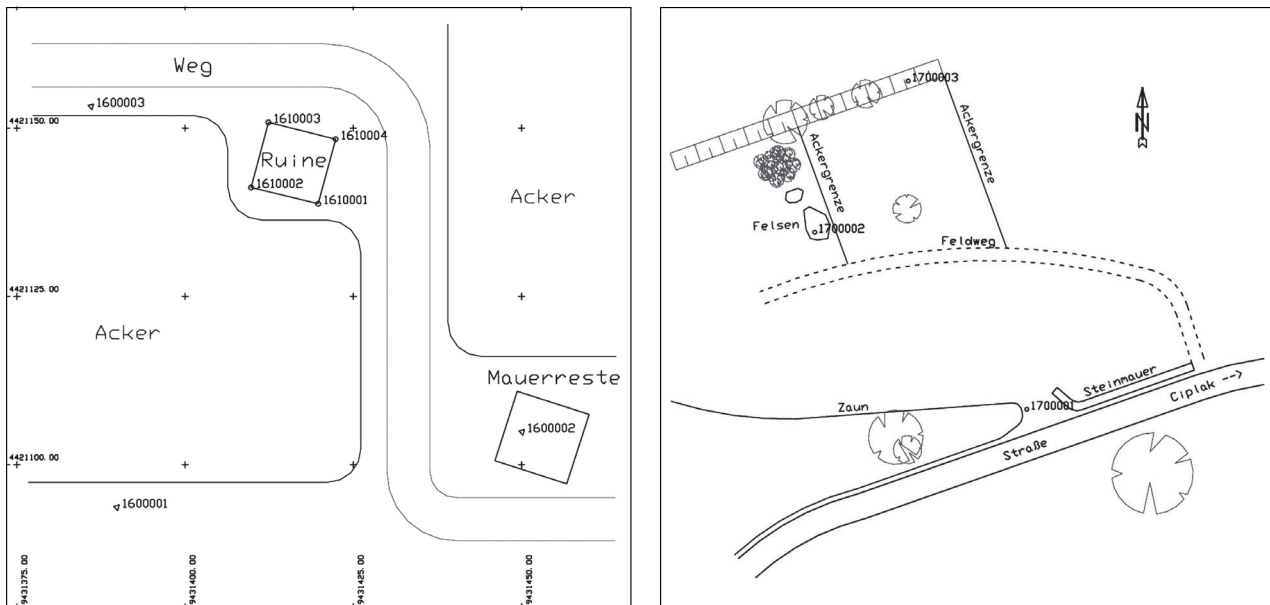


Abb. 8  
Netzskizze Hasan Paşa  
Köşk (Hartmann 2000).

Abb. 9  
Netzskizze Neolithische  
Siedlung Çıplak Köy  
(Hartmann 2000).

bingen kann an dieser Stelle nur darauf hingewiesen werden, dass die Unterlagen der Vermessungen von Herrn Adnan Şakar unzureichend sind und vor Ort keine Punkte außer den aufgenommenen auffindbar waren.

Zur Berechnung von ITRF-Koordinaten von Punkten am Beşik-Yassitepe können die am Sivritepe bestimmten Transformationsparameter nur unter Vorbehalt verwendet werden, da die Extrapolation eine große Unsicherheit birgt.

Zur sicheren Klärung der Widersprüche ist es unerlässlich, ausgehend von den im ITRF bekannten Punkten, weitere Punkte am Beşik-Yassitepe aufzunehmen, denen eindeutige Koordinaten im Yassitepe-System zugeordnet werden können. In Frage kommen z. B. markante Punkte in den Schnitten. Alternativ könnte der Versuch unternommen werden, weitere Rasterpunkte zu finden, indem man sie absteckt. Beides stellt einen nicht unerheblichen Aufwand bei ungewissem Ausgang dar. Dies ist bei späteren Grabungen in diesem Bereich zu berücksichtigen.«

## Schaffung eines GPS-basierenden Höhenmodells über finite Elemente

Aufbauend auf der Diplomarbeit von Christian Hartmann und auf der rasant fortschreitenden technischen Entwicklung im Bereich der GPS-Echtzeitmessung wurde 2004 in einer Diplomarbeit von Matthias Cieslack die Grundlage für sehr genaue Höhenmessungen mit GPS in Echtzeit geschaffen.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Das Ergebnis dieser Arbeit wird im nächsten Beitrag in diesem Band erläutert.

## Topographische Aufnahmen – Dokumentation

### Topographischer Plan 1:500

Seit 1988 wurde systematisch begonnen, das Gelände in Troia topographisch zu erfassen. Detail-Informationen wurden 1991 und 1992 publiziert; eine neue topographische Troia-Karte erschien 1994.<sup>10</sup>

### Vermessung und Aufnahme der Quelhöhle

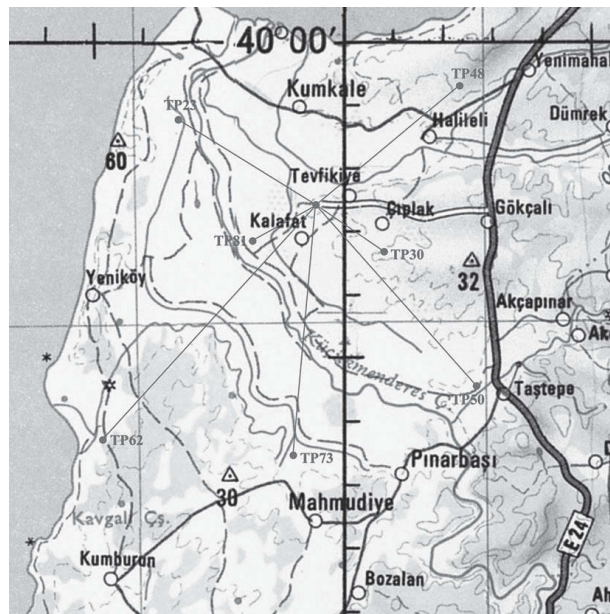


Abb. 10  
Netzskizze türkische trigonometrische Punkte (TP) (Hartmann 2000).

1999 wurde zum ersten Mal begonnen, die Quelhöhle durch eine Bauaufnahme zu erfassen (Abb. 11).<sup>11</sup> Dabei wurde mit Hilfe eines Kompasses und eines Messbandes die Höhle in ihren Ausmaßen erfasst. Durch die große Länge und durch die komplexe Ausdehnung war es schwer, die gewünschte Qualität mit einfachen Mitteln zu erreichen, zumal die Gänge sehr eng waren.

Im Jahr 2000 wurde das Problem an uns herangetragen und von Christian Hartmann innerhalb seiner Diplomarbeit gelöst. Eine zufriedenstellende Lösung ergab sich nur in Kombination von moderner Geräte- und Rechentechnik. Die klassische Methode über einen gestützten Polygonzug war nicht praktikabel, da die Höhle zu eng ist. Die Höhle mit ihren sechs Gängen beschrieb er folgendermaßen:

»Der Zugang zur Höhle wurde als Gang I bezeichnet. Er ist etwa 15 m lang und 5 m breit, in der Decke gibt es eine Brunnenöffnung. An den meisten Stellen kann man bequem stehen. Von Gang I zweigen die Tunnel II, III und IV ab. Im Bereich der Abzweige ist Gang I domartig erweitert. Obwohl er gerade wirkt, beschreibt Gang I eine leichte Linkskurve. Der Boden war zum Zeitpunkt der Vermessung vollständig mit Holzplanken ausgelegt.

Gang II zweigt etwa rechtwinklig von Gang I nach links ab und ist rund 10 m lang. Er verengt sich von gut 3 m am Abzweig von Gang I auf knapp 2 m am Ende. Im Eingangsbereich ist er geschätzte 1,8 m hoch, verjüngt sich dann auf unter 1 m und endet in einer domartigen Erweiterung mit Brunnen-schacht. Im Dombereich gibt es eine runde, mit Wasser gefüllte Vertiefung. Gang II beschreibt eine langgezogene Rechtskurve. Im Dombereich zweigen die Gänge V und VI ab, die Verbindungen zu diesen Gängen sind bis auf einen engen Durchgang zugemauert. Auch Gang II war vollständig mit Holzplanken ausgelegt.

<sup>10</sup> Messmer 1991, Messmer 1992; Karten erschienen im Anhang zu Hueber – Riorden 1994 (Burg und Umgebung) und als Beilage zu Studia Troica 8, 1998.

<sup>11</sup> Korfmann 2000, 32–37; Korfmann 2001, 36–40; Korfmann 2002, 20–23.

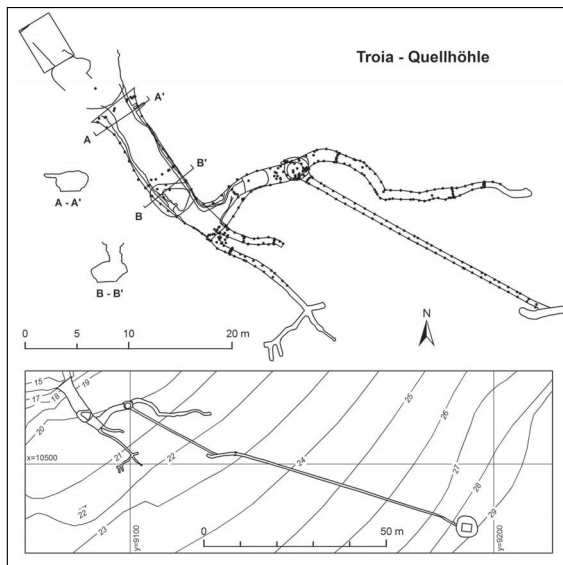


Abb. 11  
Plan und Schnitte der  
Quellhöhle (Christian  
Hartmann, Katharina  
Preisker; ergänzt).

Gang III ist die linke Verlängerung des Haupttunnels I. Er ist rund 10 m lang und von Anfang an nur knapp schulterbreit, nach hinten hin verengt er sich noch etwas. Im Eingangsbereich kann man noch so eben stehen, im hinteren Bereich ist dies nur noch sehr kleinen Personen möglich. Der Gang beschreibt erst eine leichte, langgezogene Krümmung nach links und anschließend eine Rechtskurve. Im Anfangsbereich war der Gang mit Holzplanken ausgelegt, weiter hinten stand man direkt auf dem schlammigen Boden.

Gang IV ist die rechte Verlängerung von Gang I. Er ist gut 15 m lang und

noch schmaler als Gang III. Im Eingangsbereich kann man gut stehen, im hinteren Bereich nimmt die Ganghöhe erheblich ab. Der Gang beschreibt mehrere enge Knicke, im hinteren Bereich zweigen weitere kurze Tunnel ab, in die nur sehr kleine Personen hineinkriechen können. Der Boden des Ganges war schlammig. Leider gelang es nicht, in dem engen Tunnel ein Stativ aufzustellen, so konnte nur der erste Abschnitt aufgenommen werden.

Gang V ist die Verlängerung von Gang II, er ist geschätzte 20 m lang, sein Eingangsbereich ist bis auf einen schmalen Durchgang zugemauert. Durch den Durchgang passt so gerade eben ein Theodolitenkoffer. Die Breite beträgt am Anfang rund 2 m, zum Ende hin verengte sich der Gang auf knapp 1 m. Im Anfangsbereich kann man meist aufrecht stehen, im Endbereich muss man den Kopf einziehen. Der Gang beschreibt erst eine weite Rechtskurve, knickt dann scharf nach links ab und beschreibt eine langgezogene Linkskurve. Der Gang war mit Wasser gefüllt, und da er ein Gefälle hat, nahm der Wasserstand von knietief am Anfang bis trocken am Ende ab.

Gang VI zweigt etwa rechtwinklig rechts von Gang II ab. Er ist nur über einen schmalen Durchgang erreichbar, der mit dem Zugang zu Gang V vergleichbar ist. Er ist geschätzte 105 m lang, wovon die ersten 27 m schnurgerade verlaufen. Er ist weniger als 2 m hoch und knapp 1 m breit. Der Gang war mit Wasser gefüllt, wobei durch das Gefälle die Wassertiefe von gut knietief am Anfang bis trocken im hinteren Bereich abnahm. Da es nicht möglich war, im Gang selbst ein Instrument aufzustellen, konnten nur die ersten 27 m aufgenommen werden.«

Ausgehend von einem Portalnetz am Tunneleingang wurde ein Polygonzug mit fünf Stativen gemessen. Wegen der großen Temperaturunterschiede und den daraus resultierenden Refraktionsinflüssen zwischen dem Außenbereich und dem Höhleninneren mussten die Arbeiten sehr früh morgens beginnen. Von einzelnen Standpunkten des Polygonzuges wurden zusätzlich Nägel an der Wand reflektorlos eingemessen. So konnte das Netz überbestimmt und somit stabilisiert werden. Stativstandpunkte, die länger als einen Tag standen, wurden nochmals vor Messbeginn beobachtet. Diese Daten wurden dann als unabhängige Messungen zusätzlich in die Ausgleichsberechnung eingeführt. Alle Netz- oder Polygonzugmessungen wurden in Lage I und



Lage II gemessen. Parallel dazu erfolgte die Aufnahme der Höhle in einzelnen Schnitten analog der klassischen Bauaufnahme. Die Streckenmessung wurde hauptsächlich reflektorlos mittels Laserstrahl durchgeführt. Zur sicheren Messung von kritisch reflektierenden Punkten konnte die Messung auf einem Meterstab erfolgen, der am Punkt aufgehalten wurde. Die mehrfach gemessenen Höhenunterschiede wurden gemittelt. Die Berechnung der Polygonpunkte in der Lage erfolgte mit dem Programm Netz2D (Tab. 15), die Höhenberechnung mit dem Programm HEIDI (Tab.16) (beide vom GIK). Die Qualität der Aufnahmedaten liegt im cm-Bereich.

### Polygonzug

Die endgültige Ausarbeitung der digitalen dreidimensionalen Vermessungsdaten zu einer fertigen Zeichnung erfolgte durch Katharina Peisker. Dieses Beispiel zeigte, wie vielseitig die Leistungen der Geodäten sind und in welcher kurzen Zeit mit den heutigen Mess- und Rechenmethoden sehr genaue und zuverlässige Ergebnisse vorgelegt werden können.

## Geodätischer Service

Neben dem Aufbau von Grabungsnetzen ist der Geodätische Service oft das erste, was die Archäologen vor Ort brauchen. Wir sind in der Regel sehr flexibel, doch ist es heute wichtig, besonders bei neuen Ausgrabungen die nötige Zeit für Grundlagenvermessungen zu haben. Wenn die Netzgeometrie und die Qualität stimmten und genügend Festpunkte gut und dauerhaft vermarktet vorhanden sind, können die Archäologen fast immer selbst die nachfolgenden Vermessungsarbeiten durchführen. Zukünftig wird sich auch die digitale Grabungsdokumentation durchsetzen. Damit entfallen viele Arbeiten, vor allem sind die Daten bereits gespeichert und müssen abends nicht nochmals eingegeben werden.

### Absteckung von Grabungsarealen

Bei Grabungsarealen ist die Anlage des Rastersystems von großer Bedeutung. In Troia war das Raster, historisch bedingt, mit Quadraten von  $20 \times 20$  m vorgegeben. Die Ausrichtung des rechtwinkligen Systems war von Nord nach Süd bzw. von Ost nach West. Die einzelnen Grabungsschnitte ergeben sich in der Regel aus dem Raster. Dabei sind Schnitte von  $5 \times 5$  m üblich, die dann vor Ort auch markiert werden müssen. Die beste Methode war hier die Markierung der Rasterpunkte mit Betonpunkten. Im Unterschied zu den Netzpunkten sind die sog. Rasterpunkte der Grabungsschnitte oder der Grabungsareale mit kleinen Schalungen rechteckig ca.  $20 \times 20$  cm geformt. Die rechtwinkligen Seiten eines Rasterpunktes sind in der Regel nach dem Grabungssystem von Nord nach Süd gerichtet, so dass die Richtung zur leichteren Auffindung der nächsten Punkte im Abstand von 5, 10 oder 20 m bereits vorgegeben ist. Dieses System hat sich bewährt. Zur exakten Markierung des Punktes wird ein Nagel einbetoniert. Dieser Nagel muss



Abb. 12  
 Betonieren eines  
 Rasterpunktes  
 mit exakter Lage  
 (Christian Hartmann).

nicht immer im Zentrum des Rechtecks liegen. Verschiedene Umstände bei der Absteckung oder beim Ausheben des Loches oder beim Betonieren verhindern oft ein optimales Betonieren eines Punktes (Abb. 12).

Der Arbeitsablauf einer Absteckung mit Betonpunktvermarkung sieht normalerweise so aus: Zuerst wird der Punkt auf einen Zentimeter genau abgesteckt und mit einem Nagel markiert. Dann wird ein Stativ mit Dreifuß über dem Punkt aufgebaut, mit dem optischen Lot zentriert und nochmals mit dem Dreifuß exakt abgesteckt. Danach wird ein Loch mindestens 40–50 cm tief ausgehoben, mit Beton gefüllt und mit der kleinen rechteckigen Schalung wird der Punkt fertiggestellt. Der Punkt sollte derart betoniert sein, dass das Zentrum möglichst in der Mitte des Rechtecks liegt. Eine halbe Stunde später, nachdem der Beton leicht

angezogen hat, wird der Nagel auf dem Beton exakt millimetergenau eingewiesen und in den frischen Beton hineingesteckt. Zwei bis drei Stunden später nach dem Abbinden des Betons kann die Schalung/Form entfernt werden. Der Punkt sollte dann abgedeckt und alle paar Stunden, wenn möglich auch noch am nächsten Tag, mit Wasser benetzt werden, um nicht zu schnell abzubinden. Am nächsten Tag wird der Punkt nochmals kontrolliert und in der Höhe eingemessen. Damit befindet sich das Höhenbezugssystem für die Archäologen direkt am Schnitt. Diese Methode hat sich seit Jahrzehnten bei vielen Ausgrabungen, u. a. in Pergamon und auch in Troia, bewährt. Die täglichen Messprotokolle sind abends auszudrucken, entsprechend zu bearbeiten, abzuspeichern und zu sichern. Die Pläne und Unterlagen über die abgesteckten Rasterpunkte sind im Grabungshaus in Troia deponiert.

### Aufnahme von Grabungsschnitten

Ähnlich wie bei der Absteckung von Rasterpunkten können auch mit modernen, registrierenden Tachymetern archäologische Schnitte und Befunde direkt aufgenommen werden. Dies geschieht mit graphischen Feldbüchern direkt im Feld, so dass nur noch eine Nachbearbeitung im Haus notwendig ist. Neben der Genauigkeitssteigerung können auch größere Datenmengen verarbeitet werden. Dazu ist ebenfalls ein gutes Festpunktfeld notwendig, das die Zuverlässigkeit der erzeugten Koordinaten im Zentimeter-Bereich garantiert. Als dies anfänglich noch nicht möglich war, wurden die entsprechenden Punkte zusammen mit dem Schnittleiter aufgenommen und anschließend vor Ort ausgeplottet. Diese Plots dienten dann als Grundlage für die Handzeichnung, die jedoch nicht digital vorlag, sondern wieder eingescannt werden musste.

## Verzeichnis der Netzpunkte mit Einmeßskizzen

In den letzten Jahren wurden von den vermarkten Vermessungspunkten des Schliemann-Dörpfeld-Koordinatensystems (SDK87) Einmessungsskizzen erstellt. Diese liegen digital als Dateien in verschiedenen Formaten bei der Grabungsleitung vor. Auf eine weitere Auflistung wird deshalb verzichtet.

## Tabellen

Stationsbezeichnung	(Nr.)	Stationsname	Receiver	Antenne
ANKR	-202	Ankara, Türkei	AOA SNR-8000 ACT	AOAD/M_T
GRAZ	-121	Graz, Österreich	Rogue SNR-8000	AOAD/M_T
MATE	-144	Matera, Italien	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
NOTO	-142	Noto, Italien	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
RAMO	-215	Mitzpe Ramon, Israel	Ashtech Z-XII3	ASH701945B_M
ZECK	-140	Zelenchukskaya, Russland	Rogue SNR-8000	AOAD/M_T
TROI	-500	Troia 100005, Türkei	Leica SR 399	LEISR399_INT
TROA	-501	Troia 100027, Türkei	Leica SR9500	LEIAT302-GP

Tab. 1  
Stationen für die ITRF-Einbindung.

PNR	ITRF (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84-Ellipsoid, 27°-Meridian)			Schliemann-Dörpfeld-Koordinaten 1987 (SDK87)		
	Rechtswert Y	Hochwert X	ortho. Höhe Z	Rechtswert y	Hochwert x	Höhe z
100001	9434864,809	4425129,006	35,466	9234,601	10746,61	35,466
100002	9435027,007	4425020,452	32,608	9386,677	10624,275	32,608
100003	9435004,992	4425117,086	35,871	9373,197	10722,466	35,871
100004	9434932,257	4425036,531	38,196	9293,702	10648,587	38,196
100005	9434873,524	4425001,64	34,672	9232,141	10618,967	34,672
100006	9435121,249	4424914,683	32,407	9471,298	10510,676	32,407
100007	9435088,084	4424712,685	23,903	9420,592	10312,364	23,903
100008	9435035,315	4424655,418	26,269	9363,014	10259,94	26,269
100009	9434962,124	4424606,067	27,682	9285,79	10217,185	27,682
100010	9434899,896	4424530,873	20,44	9217,225	10147,729	20,44
100011	9434850,043	4424623,259	25,643	9175,644	10244,114	25,643
100012	9434878,878	4424730,714	30,613	9213,774	10348,63	30,613
100013	9435252,314	4424787,394	24,364	9590,715	10372,415	24,364

Tab. 2  
Koordinatenliste Troia 2000 (Hinweis: die Koordinaten SDK87 sind der Ausgleich entnommen).

Fortsetzung Tab. 2

100014	9435280,779	4425017,849	35,632	9639,234	10599,48	35,632
100016	9435215,134	4425175,483	31,341	9587,633	10762,254	31,341
100017	9435240,24	4425285,914	27,253	9622,306	10870,05	27,253
100018	9435133,017	4425262,928	10,032	9513,492	10856,524	10,032
100019	9435123,481	4425148,321	29,08	9493,963	10743,209	29,08
100020	9435032,035	4425058,486	36,158	9395,018	10661,724	36,158
100021	9434842,447	4425062,359	31,563	9206,503	10682,171	31,563
100022	9434858,602	4425070,246	30,316	9223,285	10688,614	30,316
100023	9435141,224	4425070,66	30,732	9504,842	10664,298	30,732
100024	9435085,057	4425021,882	31,506	9444,626	10620,624	31,506
100025	9435226,626	4424990,023	33,007	9582,856	10576,503	33,007
100026	9434994,655	4425284,626	6,254	9377,565	10890,255	6,254
100027	9435309,743	4425268,769	29,694	9690,03	10846,894	29,694
100028	9435460,595	4425248,534	29,937	9838,532	10813,535	29,937
100029	9435333,364	4425153,25	34,963	9703,46	10729,755	34,963
100030	9435557,317	4425184,663	33,278	9929,289	10741,45	33,278
100031	9435516,291	4424933,186	33,439	9866,43	10494,537	33,439
100032	9435482,831	4425070,874	35,106	9845,137	10634,622	35,106
100033	9434471,75	4424673,932	9,915	8803,266	10327,694	9,915
100034	9434674,725	4424751,265	24,97	9012,218	10386,963	24,97
100035	9434638,133	4424679,129	24,232	8969,456	10318,316	24,232
100036	9434714,306	4424909,748	14,056	9065,507	10541,366	14,056
1100091	9434462,782	4424625,899	9,395	8790,134	10280,634	9,395

PNR	IRTF (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84-Ellipsoid, 27°-Meridian)			Lokales System		
	Rechtswert	Hochwert	ortho. Höhe	Rechtswert	Hochwert	Höhe
1200001	9428148,8	4420699,64	40,76	820	1390	41,67
1200002	9428148,81	4420689,64	40,98	820	1380	41,88
1200003	9428148,81	4420679,65	39,95	820	1370	40,88
1200004	9428148,81	4420669,64	39,71	820	1360	40,64
1200005	9428148,81	4420659,64	39,66	820	1350	40,56
1200006	9428148,81	4420649,64	39,53	820	1340	40,49
1200007	9428148,81	4420639,64	39,66	820	1330	40,56
1200008	9428148,81	4420629,63	39,54	820	1320	40,44
1200009	9428138,81	4420629,63	39,73	810	1320	40,63
1200010	9428128,81	4420629,63	39,95	800	1320	40,86

Tab. 3  
Koordinatenliste  
Beşik-Sivritepe.

1200011	9428118,81	4420629,63	40,26	790	1320	41,17
1200012	9428108,81	4420629,63	41,38	780	1320	42,29
1200013	9428088,81	4420629,62	41,91	760	1320	42,83
1200014	9428068,81	4420629,63	37,97	740	1320	38,89
1200015	9428068,8	4420639,63	40,43	740	1330	41,35
1200016	9428068,8	4420649,63	42,27	740	1350	43,19
1200017	9428068,8	4420679,63	40,42	740	1370	41,34
1200018	9428068,8	4420699,64	36,84	740	1390	37,76
1200019	9428088,8	4420699,64	39,86	760	1390	40,77
1200020	9428108,81	4420699,65	40,03	780	1390	40,94
1200021	9428128,81	4420699,64	39,99	800	1390	
1200022	9428108,8	4420689,64	41,23	780	1380	42,14
1200023	9428108,81	4420679,64	45,56	780	1370	46,49
1200024	9428138,81	4420699,64	40,1	810	1390	41,01

Fortsetzung Tab. 3

PNR	IRTF (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84-Ellipsoid, 27°-Meridian)		
	Rechtswert	Hochwert	ortho. Höhe
1300001	9427478,58	4420289,57	3,672
1300002	9427458,72	4420369,49	10,834
1300003	9427445,89	4420458,69	24,157
1300004	9427418,63	4420462,5	25,185
1300005	9427408,79	4420469,54	25,068
1300006	9427415,59	4420447,09	24,692
1300007	9427521,604	4420498,18	19,072
1300008	9427379,725	4420460,46	Leuchtturm
1300009	9427379,684	4420458,64	Leuchtturm
Höhe1			23,931
Höhe2			23,976

Tab. 4  
Koordinatenliste  
Beşik-Yassitepe.

PNR	IRTF (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84-Ellipsoid, 27°-Meridian)			Lokales System		
	Rechtswert	Hochwert	ortho. Höhe	Rechtswert	Hochwert	Höhe
1400001	9431307,52	4427502,74	4,423	44,985	275,522	4,111
1400002	9431339,18	4427525,04	5,948	75,061	299,978	5,636
1400003	9431317,12	4427496,54	5,118	55	270	4,806
1400004	9431312,82	4427506,86	4,87	50	280	5,566
1400005	9431313,51	4427516,82	4,65	50	290	4,338
1400006	9431323,48	4427516,13	4,918	60	290	4,606

Tab. 5  
Koordinatenliste  
Kumtepe.

Tab. 6  
Koordinatenliste  
Aquädukt.

PNR	IRTF (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84-Ellipsoid, 27°-Meridian)		
	Rechtswert	Hochwert	ortho. Höhe
1500001	9445489,31	4422139,71	97,329
1500002	9445580,44	4422136,24	135,37
1500003	9445563,77	4422218,03	122,069
Mittlere Höhe des Aquädukts			122,43

Tab. 7  
Koordinatenliste  
Hasan Paşa.

PNR	IRTF (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84-Ellipsoid, 27°-Meridian)		
	Rechtswert	Hochwert	ortho. Höhe
1600001	9431389,86	4421093,68	26,059
1600002	9431450,07	4421104,88	27,053
1600003	9431386,04	4421153,22	25,884
Ruine			
1610001	9431419,77	4421138,76	
1610002	9431409,8	4421141,19	
1610003	9431412,38	4421150,85	
1610004	9431422,37	4421148,36	

Tab. 8  
Koordinatenliste  
Neolithische Siedlung  
Çıplak Köy.

PNR	IRTF (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84-Ellipsoid, 27°-Meridian)		
	Rechtswert	Hochwert	ortho. Höhe
1700001	9436617,85	4423931,98	35,125
1700002	9436535,59	4424000,8	31,872
1700003	9436571,85	4424059,51	30,87

Tab. 9  
Koordinatenliste  
Türkische trigonometri-  
sche Punkte (TP).

PNR	IRTF (Gauß-Krüger-Koordinaten, WGS84-Ellipsoid, 27°-Meridian)			Türkisches Landessystem	
	Rechtswert	Rechtswert	Rechtswert	Rechtswert	Rechtswert
1100023	9431407,7	4427277,36	11,359	431449,752	4427465,31
1100030	9436749,48	4423436,88	54,068	436791,485	4423624,82
1100048	9439181,24	4428206,97	59,744	439223,26	4428394,91
1100050	9439559,77	4419612,09	37,661	439601,747	4419800,05
1100062	9429495,11	4419136,43	16,65	429537,142	4419324,42
1100073	9434974,97	4418032,66	16,125	435016,982	4418220,63
1100081	9432611,08	4423755,34	11,048	432653,149	4423943,31

PNR	R Dörpfeld	H Dörpfeld	R ITRF <sup>3)</sup>	H ITRF <sup>3)</sup>	VR	VH
100001	9234,601	10746,61	9434864,81	4425129,01	-0,009	0,008
100002	9386,677	10624,275	9435027,01	4425020,45	0	-0,004
100003	9373,197	10722,466	9435004,99	4425117,09	-0,006	0,002
100004	9293,702	10648,587	9434932,26	4425036,53	-0,001	0,001
100005	9232,141	10618,967	9434873,52	4425001,64	-0,004	-0,003
100007	9420,592	10312,36	9435088,08	4424712,69	0,005	-0,006
100011	9175,644	10244,114	9434850,04	4424623,26	-0,005	-0,004
100014	9639,234	10599,48	9435280,78	4425017,85	0,002	-0,002
100016	9587,633	10762,254	9435215,13	4425175,48	-0,004	0,008
100018	9513,492	10856,524	9435133,02	4425262,93	0,003	-0,011
100020	9395,018	10661,724	9435032,04	4425058,49	0,005	-0,001
100027	9690,03	10846,894	9435309,74	4425268,77	-0,009	0,003
100031	9866,43	10494,537	9435516,29	4424933,19	0,011	-0,005
100033	8803,266	10327,694	9434471,75	4424673,93	0,002	0,003
100034	9012,218	10386,963	9434674,73	4424751,27	0,003	-0,001
100035	8969,456	10318,316	9434638,13	4424679,13	0,002	0,006
100036	9065,507	10541,366	9434714,31	4424909,75	-0,001	0
1100091	8790,134	10280,634	9434462,78	4424625,9	0,005	0,005

Tab. 10  
Identische Punkte  
Dörpfeld (SDK87)  
→ ITRF97.

Masstab M	1,00005967
Drehung Phi	-5,57764016 Gon
Koordinatenverschiebung in X	-4414389,087 m
Koordinatenverschiebung in y	-9425646,691 m
Mittlere Koordiantenfehler	0,00528087 m
Mittlere Punktlagefehler	0,00746828 m

Tab. 10a  
Parameter der Helmert-  
Transformation  
Dörpfeld (SDK87)  
→ ITRF97.

PNR	R ITRF <sup>3)</sup>	H ITRF <sup>3)</sup>	R türk. LS	H türk. LS	VR	VH
1100023	9431407,7	4427277,36	431449,752	4427465,31	0	0,003
1100030	9436749,48	4423436,88	436791,485	4423624,82	0,011	0,014
1100048	9439181,24	4428206,97	439223,26	4428394,91	0,005	-0,015
1100050	9439559,77	4419612,09	439601,747	4419800,05	0,008	-0,001
1100062	9429495,11	4419136,43	429537,142	4419324,42	0,002	0
1100073	9434974,97	4418032,66	435016,982	4418220,63	0	0,012
1100081	9432611,08	4423755,34	432653,149	4423943,31	-0,026	-0,013

Tab. 11  
Identische Punkte  
ITRF97 → türkisches  
Landessystem.

Tab. 11a  
Parameter der Helmert-  
Transformation  
ITRF97 → türkisches  
Landessystem.

Massstab m	0,99999504
Drehung Phi	0,00021895 Gon
Koordinatenverschiebung in X	-187,9606 m
Koordinatenverschiebung in Y	8999957,98 m
Mittlere Koordiantenfehler	0,01276846 m
Mittlere Punktlagefehler	0,01805733 m

Tab. 12  
Identische Punkte  
Beşik-Sivritepe  
→ ITRF97.

PNR	R Sivritepe	H Sivritepe	R ITRF <sup>3)</sup>	H ITRF <sup>3)</sup>	VR	VH
1200020	780	1390	9428108,81	4420699,65	-0,004	-0,007
1200002	820	1380	9428148,81	4420689,64	0,001	0,003
1200008	820	1320	9428148,81	4420629,63	0,004	0,001
1200013	760	1320	9428088,81	4420629,62	-0,002	0,009
1200021	800	1390	9428128,81	4420699,64	-0,009	0,001
1200001	820	1390	9428148,8	4420699,64	0,007	0,005
1200003	820	1370	9428148,81	4420679,65	-0,002	-0,01
1200004	820	1360	9428148,81	4420669,64	0,003	-0,001
1200006	820	1340	9428148,81	4420649,64	0,001	0

Tab. 12a  
Parameter der Helmert-  
Transformation Beşik-  
Sivritepe → ITRF97.

Massstab M	1,00009776
Drehung Phi	-0,00560999 Gon
Koordinatenverschiebung in X	-4419309,64 m
Koordinatenverschiebung in Y	-9427328,81 m
Mittlere Koordiantenfehler	0,00584262 m
Mittlere Punktlagefehler	0,00826271 m

Tab. 13  
Identische Punkte  
Kumtepe → ITRF97.

PNR	R ITRF <sup>3)</sup>	H ITRF <sup>3)</sup>	R Kumtepe	H Kumtepe	VR	VH
1400003	9431317,12	4427496,54	55	270	-0,005	0,002
1400004	9431312,82	4427506,86	50	280	0,005	-0,007
1400005	9431313,51	4427516,82	50	290	0,001	0
1400006	9431323,48	4427516,13	60	290	-0,001	0,005

Tab. 13a  
Parameter der Helmert-  
Transformation  
Kumtepe → ITRF97.

Massstab M	0,99908008	
Drehung Phi	4,39766889	Gon
Koordinatenverschiebung in X	-4427226,59	m
Koordinatenverschiebung in Y	-9431262,98	m
Mittlere Koordiantenfehler	0,00553629	m
Mittlere Punktlagefehler	0,0078295	m



PNR	Koordinaten aus Trafo		Koordinaten aus Plan		Koordinatendifferenzen	
	R Yassitepe	H Yassitepe	R Yassitepe	H Yassitepe	dr	dh
1300001	149,801	980,031	Kein Punkt im Plan		Berechnung nicht möglich	
1300002	129,947	1059,944	130	1060	0,053	0,056
1300003	117,134	1149,133	120	1150	2,866	0,867
1300004	89,878	1152,952	Neuer Punkt		Berechnung nicht möglich	
1300005	80,032	1159,986	80	1160	-0,032	0,014
1300006	86,835	1137,535	Neuer Punkt		Berechnung nicht möglich	
1300007	192,842	1188,618	193,27	1188,91	0,428	0,292

Tab. 14  
Punkte Beşik-Yassitepe.

PNR	Hochwert	Rechteswert	mr m	mh m	mp m	Bem.
1002	9091,54858	10510,33111	0,338	0,351	0,487	Polygon-Punkte
1003	9080,01871	10523,99929	0,33	0,345	0,477	
1004	9094,84603	10515,04568	0,401	0,46	0,61	
1005	9096,29809	10508,98372	0,547	0,413	0,685	
1006	9099,17253	10516,0417	0,479	0,539	0,721	
1007	9101,14449	10517,52549	0,498	0,615	0,791	
1008	9105,89052	10516,34523	0,554	0,807	0,979	
1009	9107,91956	10513,97451	0,563	0,921	1,08	
1010	9112,62599	10513,61904	0,67	1,198	1,373	
1011	9091,76388	10509,07118	0,368	0,371	0,522	
2001	9092,06689	10513,15389	0,379	0,45	0,588	Hilfs-Punkte
2003	9096,87308	10514,82244	0,459	0,497	0,677	
2004	9096,51886	10515,95568	0,502	0,504	0,711	
2006	9105,18691	10517,07609	0,561	0,776	0,958	
2007	9104,0595	10517,52611	0,561	0,729	0,92	
2008	9110,12031	10513,23798	0,656	1,048	1,236	
100001	9234,60217	10746,6082	0,244	0,247	0,347	Anschluss-Punkte
100005	9232,14058	10618,97001	0,235	0,207	0,313	
100036	9065,50569	10541,36481	0,256	0,249	0,357	

Tab. 15  
Ergebnis der Netz2D-Ausgleichung Quelhöhle Troia (Lage).

PNR	Höhe	Genau mm	Bemerkung
1002	14,9926	0,4	Polygon-Punkte
1003	13,9615	0,3	
1004	15,1579	0,5	
1005	15,5154	0,8	
1006	15,398	0,6	
1007	15,6991	0,6	
1008	15,2746	0,7	
1009	15,3043	0,7	
1010	15,4137	0,8	
1011	15,1585	0,5	
2001	14,572	0,6	
2002	14,6053	0,9	
2003	14,9323	0,7	
2004	14,9177	0,7	
2005	14,9542	0,9	
2006	15,3202	0,7	
2007	15,3787	0,7	
2008	15,4219	0,8	
2009	15,0037	1	
100036	14,056	Anschluss-Punkt	

Tab. 16  
Ergebnisse der HEIDI-  
Ausgleichung Quell-  
höhle Troia (Höhe).

## Bibliographie

- Angelakis 2000 N. Angelakis, GPS-Auswertung der aktiv begleiteten Kilimanjaro-Expedition-99 mit der Berner GPS-Software, Qualitätskontrolle und Höhenbestimmung auf Basis des EGM96-Geoids sowie C++ Entwicklung zur GPS-Auswertung. Diplomarbeit an der Fachhochschule Karlsruhe – Hochschule für Technik 2000 (unpubl.).
- Cieslack 2004 M. Cieslack, Bestimmung einer hochgenauen Höhenbezugsfläche nach der Methode der digitalen finiten Elemente für Troia. Diplomarbeit an der Technischen Fachhochschule Georg Agricola in Bochum 2004 (unpubl.).
- Cieslack 2005 M. Cieslack, Bestimmung einer hochgenauen Höhenbezugsfläche. Präzise GNSS-Höhenintegration am Beispiel des archäologischen Projektes Troia. *Der Vermessungsingenieur* 56, 2005, 142–145.
- Hartmann 2000 Ch. Hartmann, ITRF basierter Aufbau und Integration präziser archäologischer und geowissenschaftlicher Grundlagennetze ... – Projekt Troia und Georgien. Diplomarbeit an der Fachhochschule Karlsruhe – Hochschule für Technik 2000 (unpubl.).
- Hueber – Riorden 1994 F. Hueber – E. Riorden, Plan von Troia 1994 and Troia. Freiliegende Ruinen und Besucherwege 1994. *Studia Troica* 4, 1994, 115–120.
- Korfmann 1986 M. Korfmann, Beşik-Tepe. Vorbericht über die Ergebnisse der Grabungen von 1984. *Archäologischer Anzeiger* 1986, 303–363.
- Korfmann 2000 M. Korfmann, Troia – Ausgrabungen 1999. *Studia Troica* 10, 2000, 1–52.
- Korfmann 2001 M. Korfmann, M. 2001. Troia/Wilusa – Ausgrabungen 2000. *Studia Troica* 11, 2001, 1–50.
- Korfmann 2002 M. Korfmann, Die Arbeiten in Troia/Wilusa 2001 – Work at Troia/Wilusa 2001. *Studia Troica* 12, 2002, 1–33.
- Mersi – Ströbele 1996 R. Mersi – M. Ströbele, Erweiterung des Festpunktfeldes in Troia, Ausgleichung mit Netz2D/1D, Topographische Aufnahme, PRO-CART-Versionsvergleich: Standard-Compact; Archäologische Servicevermessungen. Diplomarbeit an der Fachhochschule Karlsruhe – Hochschule für Technik 1996 (unpubl.).
- Messmer 1991 E. Messmer, Vermessungsarbeiten und Aufbau eines archäologischen Informationssystems in Troia/Türkei, *Der Vermessungsingenieur* 42, 1991, 14–18.
- Messmer 1992 E. Messmer, Grundlagenvermessung als Basis für ein archäologisches Informationssystem in Troia. *Studia Troica* 2, 192, 71–82.
- Messmer 1998 E. Messmer, Topographische Karte von Troia – Beilage in *Studia Troica* 8, 1998.
- Wackenhuth – Eck 1994 W. Wackenhuth – G. Eck, Topographische Aufnahme in Troia, Überprüfung des Festpunktnetzes durch Netzausgleichung in Lage und Höhe mit den Programmsystemen Netz2D und Netz1D. Diplomarbeit an der Fachhochschule Karlsruhe – Hochschule für Technik 1994 (unpubl.).