

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

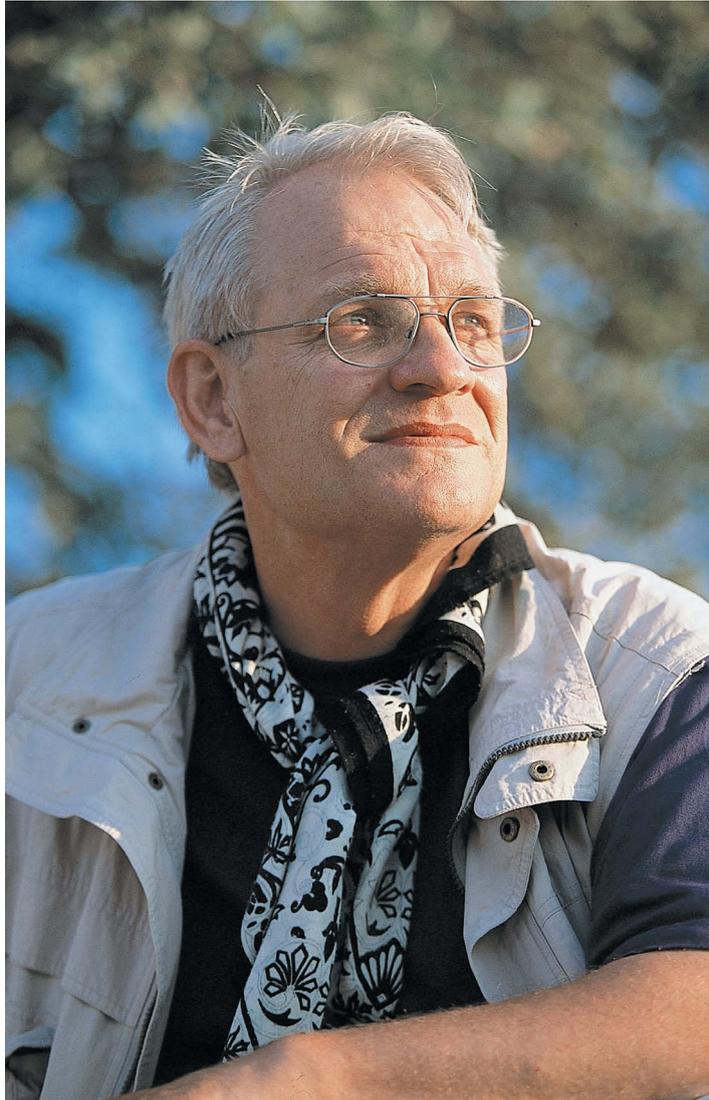
Wissenschaftliche Redaktion:
Stephan W. E. Blum
Peter Jablonka
Mariana Thater
Diane Thumm-Doğrayan

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 |
| Forschungsgeschichte | |
| 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 |
| Methoden und Strategien | |
| Archäologie und Vermessungstechnik | |
| 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 |
| Erhaltung und Präsentation | |
| 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 |

Matthias Cieslack*

Die Bestimmung einer hochgenauen Höhenbezugsfläche (DFHBF) für Troia

Zusammenfassung

Schwerpunktthema meiner Diplomarbeit war die Berechnung einer »<1 cm DFHBF Troia«-Datenbank für das Gebiet der nordwestlichen Troas. Diese Datenbank soll es ermöglichen, mit DGPS (Differential Global Positioning System) gemessene Höhen in Landeshöhen mit hoher Genauigkeit zu überführen (DGPS-Höhenintegration). Um die Grundlage für die Berechnung zu schaffen, mussten zahlreiche Vermessungen in den Bereichen DGPS, Nivellement und Tachymetrie durchgeführt werden. Als Resultat konnte eine DFHBF_DB Troia berechnet werden, die die gewünschte Genauigkeit (<1 cm) erreicht. Da das türkische Höhennetz in der Troas hohen Genauigkeitsansprüchen nicht genügt, wurde die örtliche Höhe in Troia (Dörpfeld-System) als Bezugssystem für die Datenbank gewählt. Dadurch ist es nun möglich, mittels DGPS in Troia und Umgebung (mindestens 5 km rund um Troia) eine präzise und wirtschaftliche physikalische Höhenbestimmung durchzuführen. Die Umrechnung in das türkische Landessystem kann dennoch durch Anbringen eines *shifts* durchgeführt werden. Dabei kann von einer mittleren Genauigkeit ± 5 cm ausgegangen werden, also einer Lösung, die für archäologische und geologische Zwecke hilfreich zum Einsatz kommen kann. Sofern in Zukunft genaue Höhenpunkte in der nordwestlichen Troas zur Verfügung stehen, sollten Testmessungen durchgeführt werden, um die Qualität und Genauigkeit der DFHBF_DB zu steigern, sowie den Einsatzbereich zu vergrößern.

Abstract

The main topic of my thesis was the computation of a database for the northwestern Troad called »<1 cm DFHBF Troy_DB«. This database enables the conversion of DGPS (Differential Global Positioning System) elevations in the Troad to high-precision local heights. Data was collected from many points measured with DPGS, levelling instrument and theodolite. Results allowed the creation of a database with <1 cm precision. Because Turkish national survey elevations do not meet precision requirements, local heights at Troy (Dörpfeld system) were used as reference for the database. It is now possible to record elevations precisely and efficiently in Troy and its environs (at least 5 km around the site). Measurements, which can be converted to Turkish national survey heights, are accurate within ± 5 cm, which is adequate for applications in archaeology and geology. If better elevation points will be available in the area in the future, both overall quality and accuracy of the database, and its range of application can be improved with the help of additional test measurements.

* Danken möchte ich Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger und Dipl.-Ing. Eberhard Messmer, Prof. Dr.-Ing. Knud Saueremann sowie den Mitgliedern der Grabung in Troia, insbesondere Prof. Dr. Manfred Korfmann und Dr. Peter Jablonka für Ihre Hilfe bei der Realisierung der Diplomarbeit. Dieser Beitrag ist ein Auszug der Diplomarbeit »M. Cieslack, Bestimmung einer hochgenauen Höhenbezugsfläche nach der Methode der digitalen finiten Elemente für Troia (unpubl. Diplomarbeit an der Technischen Fachhochschule Georg Agricola in Bochum 2004).« und die Überarbeitung von »M. Cieslack, Bestimmung einer hochgenauen Höhenbezugsfläche. Präzise GNSS-Höhenintegration am Beispiel des archäologischen Projektes Troia. Der Vermessungsingenieur 56, 2005, 142–145« (freundliche Genehmigung des VDV-Magazins).



Einleitung

Die Idee für diese Diplomarbeit stammt von Eberhard Messmer in Zusammenarbeit mit Reiner Jäger (FH Karlsruhe). Grundlage der Überlegung war, dass im Rahmen der Diplomarbeit von Christian Hartmann das lokale Grabungsnetz Troias und umliegende Fundstellen mittels DGPS¹ (Differential Global Positioning System) an das globale einheitliche Bezugssystem ITRF (International Terrestrial Referenz Frame) angeschlossen wurde. Somit ist es nun möglich, genaue Lagemessungen mittels DGPS schnell und wirtschaftlich durchzuführen. Aufgrund mangelnder Höhenpasspunkte konnte aber eine genaue Höhenbestimmung mit DGPS für Troia bzw. die Troas² nicht realisiert werden. Dies gewinnt insofern an Bedeutung, da ein genaues, flächendeckendes türkisches

Abb. 1
DGPS-Vermessung
in Troia.

Höhenfestpunktfeld, normalorthometrische Höhe³ mit Bezugspegel Antalya, in der Provinz Troas nicht verfügbar ist. Jede Höhenbestimmung außerhalb Troias, z. B. für die Georeferenzierung von Erdbohrungen, ist deshalb mit erheblichem Aufwand verbunden.

Ziel der Diplomarbeit war es daher, eine Höhentransformationsdatenbank (DFHBF⁴-Datenbank) zu erstellen, mit der es möglich ist, die mit DGPS bestimmten Höhen h direkt, *online* (direkt im Feld) und passpunktfrei mit hoher Genauigkeit (<1 cm) in die Gebrauchshöhe H – in diesem Fall mit dem Nullpunkt des türkischen Landeshöhendatums – umzurechnen. Hier kann lediglich ein allgemeiner Überblick gegeben werden. Detaillierte Informationen sind in der Diplomarbeit mit allen Anlagen enthalten.

DFHBF-Konzept

Während die Überführung der DGPS Koordinaten (z. B. geographische Länge L und Breite B) in Landeskoordinaten (z. B. Gauß-Krüger-Koordinaten) mittlerweile zu den Standardaufgaben im Vermessungswesen gehört, ist die DGPS-Höhenintegration, also die Überführung der DGPS-

¹ Zusätzlich zu GPS wird eine Referenzstation verwendet, um die Positionsgenauigkeit zu steigern; steht im Gegensatz zum autonomen Einzelempfänger (GPS). Siehe Ch. Hartmann, ITRF basierter Aufbau und Integration präziser archäologischer geowissenschaftlicher Grundlagennetze (unveröffentl. Diplomarbeit, FH Karlsruhe 2000).

² Die nordwestliche Troas, ein Gebiet im Umkreis von ca. 20 km um Troia.

³ Normalorthometrische Höhe – Bezugsfläche der Höhe ist die Normal-Null-Fläche (NN), die über Punkte bekannter Höhe realisiert ist. NN-Höhen berücksichtigen keine lokalen Schwereanomalien.

⁴ Digitale Finite Elemente Höhenbezugsfläche.

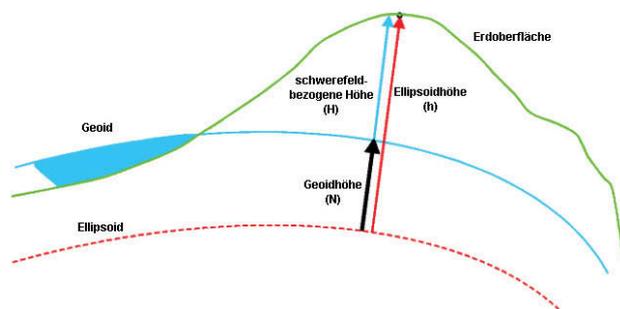


Abb. 2
Zusammenhang
Landeshöhe H und
GPS-Höhe h .

Höhen in Landeshöhen, wesentlich komplexer. Im Gegensatz zu den mit DGPS gemessenen Höhen, die sich auf ein mathematisch definiertes Ellipsoid beziehen, haben die physikalischen Gebrauchshöhen H Bezug zu einer Äquipotenzialfläche⁵ des Erdschwerfeldes (Abb. 2). Diese Äquipotenzialfläche entspricht ein-

em Körper, der näherungsweise mit dem Meeresspiegel zusammenfällt und allgemein Höhenbezugsfläche (hier HBF genannt) wird. Diese Höhenbezugsfläche (Geoid) ist aufgrund der ungleichmäßigen Dichteverteilung im Erdkörper sehr unregelmäßig. Die DGPS-Höhenintegration mit hoher Genauigkeit ist also nur mit genauer Kenntnis der HBF möglich. An dieser Stelle setzt das DFHBF-Konzept, von Reiner Jäger entwickelt, an, indem es versucht, diese unregelmäßige HBF mit Hilfe von geeigneten Informationen (Höhenpasspunkten, Geoidmodell u. a.) möglichst genau nachzumodellieren. Die Repräsentation der HBF geschieht durch ein Finite Elemente Modell, die modellierte HBF wird in einer Datenbank (DFHBF_DB) gespeichert. Indem der DGPS-Nutzer auf die DFHBF-Datenbank zugreift, erhält er eine Höhenkorrektur, mit welcher eindeutig und passpunktfrei die am Ort (L, B) ermittelte Ellipsoidhöhe h in die Landeshöhe H (direkt) umgerechnet wird. Die Umrechnung kann in Echtzeit im Felde (DB im GPS-Empfänger hinterlegt) oder bei der häuslichen Auswertung (DB auf CD-ROM) erfolgen.

Vorhandene Grundlagen

Für die Berechnung einer »<1 cm DFHBF_DB Troia« ist ein Lagereferenzsystem notwendig. Dieses ist gegeben durch die Vermessungen von Hartmann im Rahmen seiner Diplomarbeit. Weiterhin sind die Koordinaten und präzise Höhen der Höhenpasspunkte (Vermessungspunkte, die sowohl mit DGPS gemessen als auch im Landessystem koordiniert sind und somit für eine Umformung genutzt werden können), erforderlich. Dieser Gesichtspunkt erwies sich dabei als Herausforderung, da das Gebiet der nordwestlichen Troas für das türkische Militär strategisch wichtig ist und damit das Vermessungswesen einer strengen Geheimhaltung unterliegt. Insgesamt konnten die Koordinaten von neun Höhenpunkten, allesamt türkische Trigonometrische Punkte (TP), in Erfahrung gebracht werden (Abb. 3). Angaben in Bezug auf Genauigkeit und Aktualität der Koordinaten sowie die Einmessungsskizzen der TP's fehlten. Somit war bereits vorauszusehen, dass die hohen Genauigkeitsanforderungen für eine »<1 cm DFHBF_DB« sowie eine gute Passpunktdichte nicht unmittelbar erreicht werden konnten. Deshalb wurden zusätzlich sieben Neupunkte (temporär vermarktet) bestimmt, die das bestehende Netz verdichten und notfalls als eigenständiges Höhennetz fungieren sollten. Neben den nun insgesamt 16 Punkten wurden weitere fünf Punkte (Troia-Festpunkte 100037–100041) ausgewählt. Diese sollen das troianische

⁵ Punkte gleicher Höhe besitzen das gleiche Schwerepotential (z. B. die Wasseroberfläche).



Abb. 3
Türkischer TP als
Messpfähler.

Festpunktnetz nach Osten (Troia-Netz Ost) erweitern und sind bis jetzt nur vorläufig terrestrisch bestimmt worden. Somit lagen 21 Passpunkte vor.

Messausrüstung und Messmethoden

Die GPS-Messung wurde mit dem Leica »GPS System 500« durchgeführt. Aufgrund der hohen Genauigkeitsanforderung wurde jeder Punkt zweimal je eine Stunde von beiden Referenzstationen statisch gemessen. Als Referenzstationen wurden die schon von Hartmann für die ITRF97- Einschaltung benutzten Festpunkte (FP) in Troia 100005 und 100027 ausgewählt.

Die Nivellements mit dem Leica Digitalnivelliergerät »NA 2000« wurden im Anschluss an die GPS-Messung durchgeführt und hatten den Zweck, die Höhen der Neupunkte zu bestimmen sowie die Höhen der türkischen TP's zu kontrollieren. Als Höhenbezugspunkt wurde das Propylon IIC in Troia (FP Troia 100000 mit der Höhe = 30,790 m ü. NN) verwendet. Dieser wurde durch eine trigonometrische Höhenbestimmung an den TP 400129 (= FP Troia 100001, mit Landeshöhe) angeschlossen. Zentral von diesem Propylon aus wurde das GPS-Netz sternförmig nivelliert.

Aus zeitlichen Gründen konnten die Verbindungen zwischen den GPS-Netz-Punkten und den türkischen TP's, die einige Kilometer Luftlinie von Troia entfernt liegen, nicht nivelliert werden. Behelfsweise kam bei den türkischen TP's die trigonometrische Höhenbestimmung zur Anwendung. Für die trigonometrische Höhenbestimmung sowie für die archäologischen Serviceleistungen wurde der Tachymeter »TCR 705« der Firma Leica verwendet. Als Messpunkte wurden die TP's 400127, 400137, 400138, 400142, 400143 und 1100023 bestimmt. Anschlusspunkte waren die Punkte 300001 und 300002 (temporäre einnivellierte Punkte).

Auswertung

Nach der Auswertung der DGPS Messung erfolgte die Ausgleichung der Messwerte (weiche Lagerung an von Hartmann bestimmten Punkten), getrennt nach Lage und Höhe. Als Ergebnis ergaben sich die ausgeglichenen DGPS-Koordinaten und ellipsoidischen Höhen. Damit sind die Genauigkeitsanforderungen an das Quellsystem (ellipsoidische Höhen h) für die DFHBF-Berechnung erreicht. Da die Auswertung der trigonometrischen Kontrollmessungen, die bereits vermutete Ungenauigkeiten in den Landeshöhen der türkischen TP's bestätigte (Genauigkeit 0,7–0,8 m), wurde entschieden, die lokale Troia-Höhe (Dörpfeld-System) als Bezugshöhe für die endgültige Berechnung der DFHBF_DB zu verwenden (= Zielsystem). Die Ausgleichung der durchgeführten Nivellements wurde an sieben Troia-Festpunkten weich gelagert. Mit einem erzielten Punktfehler von 2,2 mm konnte die benötigte Genauigkeit für die Höhen im Zielsystem (~5 mm) erreicht werden. Aufgrund der sternförmigen Netzgeometrie ist zu erwarten, dass die tatsächliche Genauigkeit einen größeren Betrag aufweist als die hier theoretisch berechnete, da nur die Widersprüche aus Hin- und Rückmessung, aber keine Schleifenfehler bestimmt werden konnten. Die Genauigkeit der trigonometrisch bestimmten Troia-Höhen wurde in der Auswertung mit etwa 10 cm bestimmt. Diese Höhen fließen dennoch mit in die Berechnung der DFHBF_DB ein, wenn auch mit geringem Gewicht.

Berechnung der DFHBF_Troia

Die Basis der Berechnungen bilden zwei Dateien:

1. die Troia-Höhen der identischen Punkte und deren Genauigkeiten (Zielsystem)
2. die dreidimensionalen DGPS-Positionen (B, L, h) der identischen Punkte im ITRF und deren Genauigkeiten (Quellsystem)

Als weitere Beobachtungskomponenten wurden Geoidundulationen⁶ sowie Lotabweichungen⁷ aus dem EGG97 Geoidmodell in der Auflösung 2×2 km verwendet

Insgesamt wurden 20 Passpunkte, 52 Geoidundulationen, 16 Stetigkeitsbedingungen⁸ und 104 EGG-Lotabweichungen sowie sämtliche Kreuzkorrelationen in die Ausgleichung eingeführt (Abb. 4). Die Unbekannten ergeben sich mit 20 Höhen im Zielsystem, 1 Maßstabs- unterschied, 10 Parameter für den Geoid-Datumsübergang sowie 40 Polynomparameter. Daraus resultiert eine Redundanz von 104. Die Berechnung der DFHBF_DB Troia verlief ohne Probleme, die Qualitätskontrolle wurde bestanden. Zusätzlich wurde im Rahmen der Qualitätskontrolle mit der

⁶ Abweichung zwischen Geoid (physikalischer HBF) und Ellipsoid (mathematische HBF).

⁷ Abweichung von der wahren Lotrichtung durch Masseunregelmäßigkeiten im Erdkörper.

⁸ Stetigkeitsbedingungen sorgen für die Übergänge des DFHBF-Modells entlang gemeinsamer Maschenkanten.

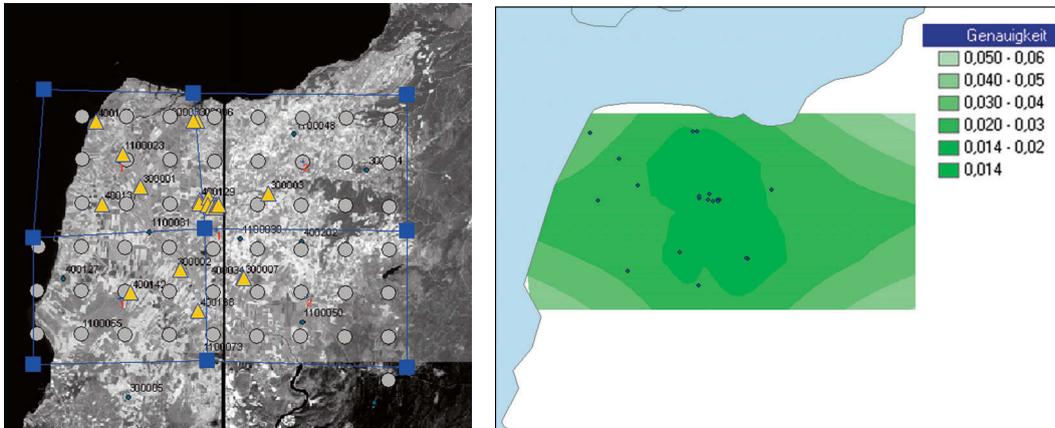


Abb. 4
Berechnung der
DFHBF_DB Troia.

Abb. 5
Visualisierung der
Genauigkeit der
DFHBF-Korrektur
für Troia.

Software DFHBF_Viewer die resultierende Kovarianzmatrix »abgetastet« und die Genauigkeitsfläche berechnet sowie graphisch dargestellt (Abb. 5).

Ergebnis

Als Resultat konnte eine DFHBF_DB Troia berechnet werden, die in einem Großteil des Gebietes die gewünschte Genauigkeit von 1–2 cm erreicht (Abb. 5). Da das türkische Höhennetz in der Troas hohen Genauigkeitsansprüchen nicht genügt, wurde die örtliche Höhe in Troia (Dörpfeld-System) als Bezugssystem für die Datenbank gewählt. Sofern in Zukunft genaue Höhenpunkte in der Troas zu Verfügung stehen, sollten Testmessungen durchgeführt werden, um die Qualität und Genauigkeit der DFHBF_DB zu steigern sowie den Einsatzbereich zu vergrößern.

Ausblick

Mit der erfolgreichen Berechnung der DB ist Troia die erste archäologische Ausgrabungsstätte weltweit, die über solch ein geodätisches Produkt verfügt. Mit Hilfe der DFHBF_DB und Differenziellen GPS wird es Archäologen und Geowissenschaftlern in Zukunft ermöglicht, bei umliegenden örtlichen Grabungsetzwerken oder lokalen Fundstellen sowie bei geowissenschaftlichen Erkundungen den physikalischen Höhenbezug präzise und wirtschaftlich herzustellen, ohne über ein hohes Maß an vermessungstechnischem Fachwissen zu verfügen. Werden künftig weitere Höhenpasspunkte gemessen, so kann mit diesen Informationen ein Update der DB berechnet werden. Das ermöglicht es, die Datenbank stets aktuell zu halten und den Anforderungen anzupassen. In Kombination mit der ITRF-Einschaltung ist damit die Voraussetzung geschaffen, geodätische DGPS-Empfänger zukünftig umfassend und mit hoher Effektivität für die Vermessung in Troia und der nordwestlichen Troas einzusetzen.