

Zeitschrift:	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber:	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
Band:	81 (1983)
Heft:	12
Artikel:	Archäologische Vermessung in Eretria (Griechenland)
Autor:	Glutz, R.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-231660

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Archäologische Vermessung in Eretria (Griechenland)

R. Glutz

Für die schweizerischen Ausgrabungen in Eretria wurde das griechische Koordinatennetz mit Hilfe noch vorhandener Polygonpunkte rekonstruiert, verdichtet und über eine Fläche von 2 km² ausgeweitet. Die zuverlässige Versicherung (Vermarkung) der Punkte bildete die Hauptschwierigkeit, welche nur durch eine Kombination verschiedenster Massnahmen zufriedenstellend behoben werden konnte. Das über 100 Punkte umfassende Netz ist mit Punktprotokollen dokumentiert und somit von Fachleuten verschiedener Nationen beliebig benützbar.

Pour les fouilles Suisses à Eretria on a reconstruit, affiné et étendu à une surface de 2 km² le réseau des coordonnées grecques à partir des points polygonaux encore subsistants. Le marquage solide des points dans le terrain a été le problème principal qui n'a pu être résolu que par la mise en œuvre de moyens très différents. Le nouveau réseau, comprenant plus de 100 points, est représenté sous forme d'esquisses munis de coordonnées; il est donc bien utilisable par des spécialistes de n'importe quelle nation.

1. Zur Einführung

Der vorliegende Bericht schildert den Ablauf einer grösseren Vermessungsarbeit auf einem Ausgrabungsplatz der Schweizer Archäologen in Griechenland. Wenn auch die angewandten Verfahren durchaus konventioneller Messtechnik entsprechen, mag es den Vermessungsfachmann doch interessieren, wie aus den archäologischen Bedürfnissen in langwierigen Abklärungen die Problemstellung formuliert und schliesslich der zum Ziel führende Lösungsweg gefunden werden konnte; dies alles unter Erschwernissen, wie sie die Arbeit im Ausland, eine unbekannte Sprache, die starre Begrenzung der verfügbaren Zeit und das Fehlen von Gehilfen mit sich bringen. Gerade die letztlich sehr einfache Lösung in Form eines Fixpunktnetzes zeigt, dass sie wohl für andere Ausgrabungen als Beispiel dienen und somit auch Archäologen und Ausgrabungstechniker auf die Möglichkeiten und Grenzen der Vermessung hinweisen könnte.

2. Archäologischer und organisatorischer Rahmen

Eretria ist heute ein Dorf an der Südküste der Insel Euböa, ca. 50 km von Athen entfernt (Abb.1). Vor mehr als 2000 Jahren war Eretria eine blühende Stadt der griechischen Antike, ein Hauptzentrum der ionischen Stadtkultur. Die frühesten Siedlungsspuren stammen aus dem 3. Jahrtausend; im 8. Jahrhundert v. Chr. wurde der Ort und seine Akropolis jedoch neu besiedelt. Die Stadt gründete Kolonien bis nach Süditalien, wurde mehrfach zerstört und zerfiel im ersten nachchristlichen Jahrhundert endgültig (Verlandung des Hafens, Entstehung von Sümpfen). Im 19. Jahrhundert (1834) versuchte die griechische Regierung,

den Ort als Heimstätte für Flüchtlinge aus Psara (bei Chios) neu zu beleben und mit Hilfe des spätklassizistischen Stadtplanes von Kleanthes und Schaubert zu seiner früheren Bedeutung zurückzuführen. Das ungesunde Klima (Sümpfe und Malaria) verhinderte aber den Aufschwung, Eretria blieb ein Dorf, auch wenn heute nach weitgehender Trockenlegung der Tümpel im Osten und unter dem Einfluss der relativ nahen Grossstadt Athen eine rasche bauliche Entwicklung festzustellen ist.¹ Da bedeutende Teile der im Boden steckenden Ruinen (noch) nicht überbaut sind, ist der Ort seit 1964 der gemeinsame Ausgrabungsplatz der Lehrstühle für Klassische Archäologie an den schweizerischen Universitäten. Diese «Schweizerische Archäologische Schule in Griechenland» wird zur Hauptsache vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanziert und arbeitet zusammen mit dem griechischen archäologischen Dienst (Ephorie in Chal-



Abb.1 Kartenskizze von Attika und Euböa

kis) an der Erforschung der antiken Stadt. In den vergangenen Jahren hat es der seinerzeitige Direktor der Ausgrabungen, Dr. Clemens Krause, verstanden, auch Geologen, Geophysiker und Architekten für eine breit angelegte interdisziplinäre Untersuchung heranzuziehen. Bei den alljährlich durchgeführten Plan- und Notgrabungen (letztere meist mit äusserst knappen Mitteln vom erwähnten archäologischen Dienst unternommen) machte sich das Fehlen einer einheitlichen und genauen Vermessungsgrundlage immer störender bemerkbar.²

Als Ingenieur-Geometer am Institut für Denkmalpflege der ETH Zürich erhielt ich 1978 den Auftrag, die Vermessungsgrundlagen von Eretria zu Handen der Archäologen zu verbessern. Es war zunächst ziemlich unklar, was darunter zu verstehen sei und in welcher Grösseordnung der Arbeitsaufwand liegen durfte. Trotz vorgängigen Abklärungen in der Schweiz konnte nur eine Rekonnoisierung an Ort und Stelle die offenen Fragen beantworten, wobei ich – wie üblich auf ausländischen Grabungsorten – im sog. Grabungshaus die notwendige Infrastruktur voraus. Nachdem das erarbeitete Konzept Anklang gefunden hatte, folgte 1980 eine zweite Feldkampagne von sechs Wochen, in welcher ich alle wesentlichen Lagemessungen durchführte und damit buchstäblich auf die Stunde genau zu Ende kam (Einziehen der Signale, Aufräumen und Packen in der Nacht vor der Abreise). 1981 war nochmals eine Aktion von gleicher Dauer nötig zur Bestimmung von Höhen und zum Erstellen der Punktprotokolle mit Skizzen und Einmessungen.³ Die Punktversicherung und deren Dokumentation machte somit im Feld (und dann auch im Büro) ca. die Hälfte des gesamten Zeitaufwandes aus! Zum Verständnis der angegebenen Zeiten ist beizufügen, dass ich – der Grösse und Struktur des Institutes für Denkmalpflege entsprechend – den grössten Teil der Tätigkeiten allein ausführte und nur gerade für die Arbeit mit Nivellier und Messband den auf dem Platze tätigen Ausgrabungstechniker oder meine Frau als Gehilfen beanspruchen musste. Es würde zu weit führen, hier auf die Nachteile, aber auch durchaus vorhandenen Vorteile dieser Arbeitsweise einzugehen. Die Hilfe Dritter eingerechnet, belief sich der gesamte Zeitaufwand im Feld auf 71 Manntage, wozu noch etwa doppelt so viele Büroarbeitsstage kamen.

3. Grundlagen

Von den auf Grabungsplätzen normalerweise durchgeführten Vermessungen fanden sich nur dürftige Unterlagen. Die vielen Pläne, vor allem in grossen Massstäben, konnten für die vorgesehene Arbeit nichts beitragen. Der Gesamtplan der Ruinen wies zwar ein Quadratnetz (Hektarraster) auf, welches aber nur auf dem Papier, ohne Bezug zum Gelände gezeichnet worden war und somit höchstens der internen Verständigung diente.

Griechische Geometer hingegen hatten während der Junta-Zeit, d.h. 1972/74, eine Katastervermessung des Dorfes durchgeführt und einen Plan 1:500, bestehend aus 18 Blättern im Format 100 x 70 cm hinterlassen, welcher in Form einer Serie Lichtpausen von eher geringer Qualität zur Verfügung stand. Es versteht sich, dass dies für die dortigen Verhältnisse einen unwahrscheinlichen Glückfall darstellt, welcher alle weiteren Massnahmen wesentlich beeinflusste. Abgesehen von gravierenden Mängeln des mehrfachen Umkopierens entspricht das Operat mehr oder weniger heutigen Ansprüchen. Dagegen war es trotz etwlicher Bemühungen nicht möglich, zugehörige Koordinatenverzeichnisse, z.B. der Polygonpunkte, aufzutreiben.⁴ Immerhin liess sich im Laufe der Zeit und mit Hilfe verschiedener Beobachtungen im Feld und auf Plänen folgender Arbeitsablauf mit hoher Wahrscheinlichkeit rekonstruieren:

Ausgehend von drei mit Betonpfeilern (Abb. 2) versicherten Triangulationspunkten (einer davon auf der Akropolis gelegen) waren fünf weitere TP rund um das Dorf bestimmt, provisorisch versichert und im örtlichen Koordinatensystem berechnet worden. An diese fünf Punkte (Bezeichnung *«Neov»* = Neupunkt) schloss man zahlreiche Polgonzüge an und versicherte die Brechpunkte mit Schraubenköpfen im As-

phalt der Strassen oder mit roten Farbringen auf Steinblöcken (Bezeichnung *«Σ»* für *Σημειον* = Zeichen, Punkt). Halbkugelige Bolzen an Hauswänden dagegen stammen von einem separaten Nivellement und waren mit *«R»* für Repère markiert. Dies ist insofern erstaunlich, als hier ein lateinischer Buchstabe für einen französischen Fachausdruck verwendet wurde.⁵ Von den insgesamt 205 PP aus wurde die Situation polar aufgenommen und teilweise kotiert, zusammen mit weiteren Geländekoten in rasterförmiger Anordnung, aus denen Kurven von 0,5 m Äquidistanz resultierten. Es entstand so ein detailreicher Plan, von welchem die Skizze in Abb. 7 einen Eindruck vermittelt.

Was hingegen gänzlich fehlt, ist jede Nachführung, weshalb das gesamte Werk – zumal bei der grossen Bautätigkeit, wie sie gerade aus dem Plan selber ersichtlich wird – Jahr für Jahr beträchtlich an Wert verliert. Mit Hilfe dieses Planes und bei systematischer Suche gelang es aber, noch 23 (= 11%) der alten PP aufzufinden, was genügte, um eine sichere Rekonstruktion des ursprünglichen Koordinatennetzes in Angriff zu nehmen. Von den erwähnten fünf Triangulationspunkten dagegen fand sich trotz stundenlanger Such- und Grabarbeit keine Spur mehr.

4. Vorarbeiten und Konzept (1979)

Die erste zweiwöchige Rekognosierung diente dazu, die Möglichkeiten einer Grundvermessung im Gelände abzuklären, die Randbedingungen zu ermitteln, ein Konzept aufzustellen und soweit als möglich Vorrarbeiten auszuführen.

Entsprechend dem auf Ausgrabungen üblichen Vorgehen wünschten sich die Archäologen als Vermessungsgrundlage einen im Terrain abgesteckten quadratischen Raster von z.B. 50 x 50 m Seitenlänge. Diese Idee erwies sich bald einmal als völlig utopisch. Denn die Möglichkeiten, Punkte im Boden überhaupt zu versichern, sind derart eingeschränkt, dass der Vorschlag technisch nicht durchführbar war (ganz abgesehen vom riesigen Perimeter und daraus folgendem Zeitaufwand). Zwar ist das Strassennetz gemäss dem rechtsgültigen Stadtplan aus dem 19. Jahrhundert auffallend regelmässig und rechtwinklig (vgl. Abb. 4), aber zusammen mit den seither eingetretenen Veränderungen bei weitem nicht geeignet, um als Gerippe für die gewünschten Axen zu dienen, selbst wenn diese nur gerade rechtwinklig und auf ganzen Metern liegen sollten.

Im Hinblick auf die aktuellen Bedürfnisse und zum Sammeln von Erfahrungen versuchte ich trotzdem, im Zentrum (Agora) wenigstens eine einzelne, nord-

süd-gerichtete Axe von 636 m Länge parallel zum griechischen Koordinaten- netz abzustecken. Diese Arbeit erfolgte mit den einfachsten, im Grabungshaus vorhandenen Mitteln (alter Theodolit und Messband), dafür aber mit umso grösserem Mess- und Berechnungsauf- wand. Im folgenden Jahr wurden dann einzelne Pfähle durch einbetonierte Nägel ersetzt und direkt als Polygonpunkte neu bestimmt, was Differenzen bis zu 5 cm ergab (vgl. Abb. 4, mit Buchstaben bezeichnete Punkte).

Aus unzähligen Diskussionen und laufenden Anpassungen an die örtlichen und zeitlichen Zwänge kristallisierte sich nach und nach folgendes Konzept heraus, welches natürlich erst im Laufe der Feldarbeiten in dieser umfassenden und klaren Weise formuliert werden konnte:

- Das griechische Koordinatensystem wird übernommen und bildet nunmehr die einheitliche Grundlage für alle zukünftigen Vermessungs- und Kartierungsarbeiten der Archäologen.
- Hierfür stehen nur die Pläne 1:500 mit den im Gelände auffindbaren Polygonpunkten zur Verfügung; Koordinaten können nicht beschafft werden.
- So sehr Vermessungen mittels Luftaufnahmen und Photogrammetrie für manche oberflächlich sichtbaren und in Kürze überdeckten Ruinen wünschbar wären, kann dies nicht das Hauptziel sein, da in erster Linie die kontinuierliche Einmessung der grössten Teils noch im Boden verborgenen Befunde nötig ist.⁶
- Es wird somit nicht darum gehen, «die Vermessung» von Eretria ein für alle Male zu erledigen, vielmehr ist eine Grundlage zu schaffen, welche über Raum und Zeit hinweg den Zusammenhang zwischen den einzelnen Detailaufnahmen sicherstellt.
- Die Absteckung von sich rechtwinklig schneidenden Axen muss an die neue Grundvermessung angeschlossen werden können, ist aber Sache des Ausgrabungstechnikers. Eine auch nur lokale Materialisierung des Netzes selber ist nicht in Betracht zu ziehen, da die meisten heutigen Strassen sehr schiefwinklig zum griechischen Koordinatensystem verlaufen.
- Für archäologische Zwecke (Pläne in den Massstäben bis 1:20) wird normalerweise eine Genauigkeit (in diesem Fall = Maximalfehler) von wenigen Zentimetern verlangt. Für die Grundlage ist daher ein mittlerer Koordinatenfehler von $\pm 1-2$ cm anzustreben, was fraglos den Einsatz einer modernen Ausrüstung mit elektro-optischer Distanzmessung bedingt.



Abb. 2 Triangulationspunkt in Form eines Betonpfeilers; Text auf der Plakette: «Geographischer Dienst der Armee – Trigonometrisches Netz – 1969»

- Das Hauptproblem ist offensichtlich die mangelnde Stabilität der Punktversicherungen im Gelände, bedingt durch die anhaltende Bautätigkeit, die schlechte Qualität des Baumaterials und die Unmöglichkeit, Punkte vor unabsichtlicher oder gar böswilliger Zerstörung zu schützen (zumal, wenn sie von einem Ausländer stammen).
- Höchstens Punkte auf den Ruinen selber sind einigermassen sicher, aber auch nur, solange diese nicht ausgegraben und allenfalls konserviert werden. Damit ergeben sich grosse Lücken im Stadtgebiet, in denen theoretisch überhaupt keine gute Punktversicherung möglich ist.
- Dieses Problem kann grundsätzlich nicht gelöst, sondern nur in verschiedener Weise abgeschwächt werden, nämlich:
 - a) durch Bestimmung einer möglichst grossen Zahl von Punkten, so dass auch ein Verlust von 50% noch tragbar erscheint (dementsprechend ist das vorgesehene *Polygonnetz* auszulegen)
 - b) durch Einmessung ganzer *Punktgruppen*, d. h. zusätzlicher Exzentren bei besonders gefährdeten Stellen und geringer Punktdichte (vgl. als Beispiel die Punktgruppe 98 in Abb. 7)
 - c) durch Ausnutzung aller wenigstens offiziell vom Gesetz geschützten Ruinen (so z.B. Stadtmauer im Osten)
 - d) durch Beizug von Gebäuden bekannter Grundeigentümer (Grabungshaus, Hotel Perigiali, Haus Dr. Metzger)
 - e) durch Einbetonieren einzelner wichtiger Punkte
 - f) durch Ausweiten des Netzes in die weitere Umgebung (vor allem auf Felsen), wo der Einfluss von Bautätigkeit und Landwirtschaft gering und zufällig bleibt (daraus folgt wegen der grossen Distanzen die Anlage eines *Triangulationsnetzes*, vgl. Abb. 4)
 - g) durch Einbezug der Masten von Hochspannungsleitungen, welche nicht nur ziemlich sicher, sondern als ständig signalisierte Fernzielpunkte auch sehr praktisch sind (sog. *Mastnetz*)
 - h) durch Erstellen von detaillierten *Punktskizzen* mit möglichst vielen Massen, so dass zerstörte Punkte mit genügender Zuverlässigkeit wieder rekonstruiert werden können (auch ohne Verwendung eines Instrumentes, vgl. Abb. 7).
- Da die archäologische Tätigkeit mit ihren gesetzlichen Auflagen für die Dorfbewohner je länger desto weniger willkommen ist, müssen die Versicherungs- und Messarbeiten

sehr behutsam erfolgen, also nur auf dem öffentlichen Grund (vor allem Strassen), unter weitgehender Schonung der privaten Grundstücke.⁷

- Die Errichtung von Fixpunkten mit zugehöriger Dokumentation (Punktplan, Koordinatenverzeichnis und Lage-Skizzen) stellt eine bekannte und universell anwendbare Grundvermessung dar, welche auch für andere Zwecke und von Fachleuten verschiedener Nationalität und Sprache verwendet werden kann.
- Das ganze Vermessungsoperat hat natürlich nur dann einen Sinn, wenn es auch wirklich über längere Zeit benutzt und dementsprechend periodisch nachgeführt wird!

Eine aus den Umständen enorm aufwendige Detailabklärung führte somit zu einem ganz normalen Fixpunktnetz, wie ich es in wesentlich kleinerem Umfang schon an anderen archäologischen Stätten auszuführen hatte. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass archäologische Berichte nur selten von vermessungstechnischen Beiträgen begleitet sind.⁸ Die jeweils verwendeten Verfahren können allenfalls auf Grund knappster Hinweise und allgemein gültiger Vermessungsgrundsätze vermutet werden.

5. Versicherungen (1979–81)

Für die schweizerischen Ergänzungen des griechischen Polygonnetzes liessen sich vor allem Stahlnägel im Asphalt und gemeisselte Kreuze mit drei Balken auf Stein verwenden. Je nach Umständen

waren aber auch Plastik-Pfähle, einbetonierte Nägel oder Bolzen günstig. Fünf speziell wichtige Punkte wurden in Röhren aus Asbestzement einbetoniert. Um nicht zu viel Aufmerksamkeit zu erregen, durften einzelne Kreuze nicht bemalt werden.

Man beachte, dass Versicherungen im wesentlichen auf Strassen erfolgen mussten, welche mit ziemlicher Sicherheit in relativ kurzen Zeiträumen wieder neu asphaltiert werden. Leider kamen auch sonst manche Punkte aus messtechnischen Gründen an eher ungünstige Stellen zu liegen, wo ein Verlust in Kürze zu erwarten war und die Versicherung demzufolge auf ein Minimum beschränkt bleiben konnte. Entsprechend dem Konzept muss da vor allem die Menge der Punkte, verbunden mit laufender oder kurzperiodischer Nachführung, das Überdauern des Netzes sicherstellen.

Wie Abb. 3 zeigt, gelang es, ziemlich symmetrisch und gleichmäßig verteilt vier Räume und sechs Punkte bzw. Punktgruppen zu schaffen, welche vielleicht nur zum Teil, dann aber mit grösster Sicherheit erhalten bleiben und somit das Gerüst für ein langzeitliches Bestehen des Netzes darstellen.

6. Signalisierung (1980)

Für die Triangulation war es notwendig, zahlreiche Punkte gleichzeitig zu signalisieren. Nebst behelfsmässig gezimmernten Signalen wurden für die kürzeren Visuren Jalons verwendet und mangels genügend Böcken mit Schnüren senk-

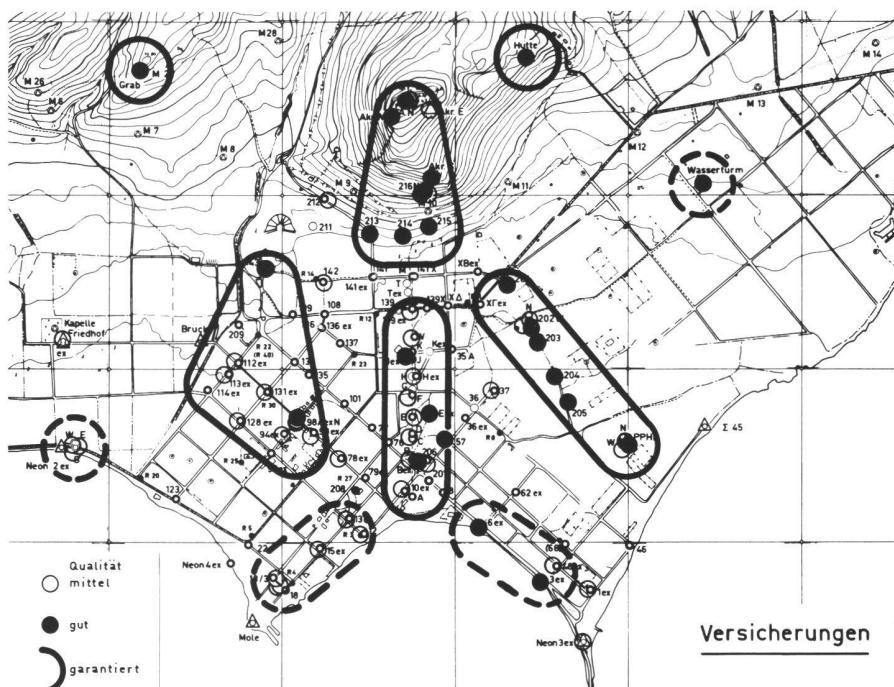
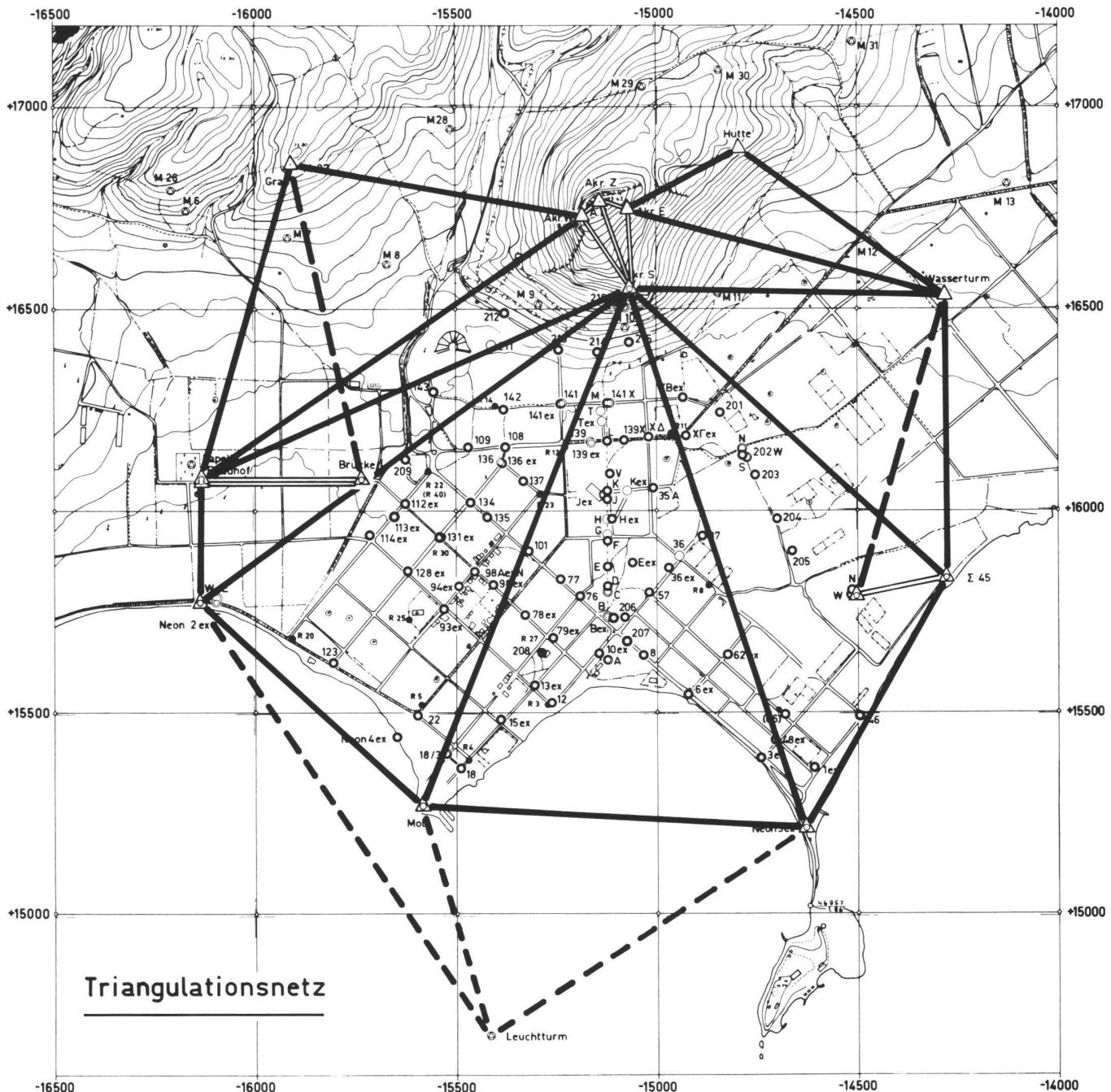


Abb. 3 Die Lösung des Hauptproblems: der langfristige Bestand des Netzes ist durch symmetrisch verteilte Punkträume und Punktgruppen gewährleistet, in denen jeweils einige Punkte genügend zuverlässig versichert sind

Eretria (Griechenland)

Topographische Übersicht

Institut für Denkmalpflege
ETH Zürich



Legende:

- Polygonpunkt (Hauptpunkt)
 - abgeleiteter Punkt (Nebenpunkt)
 - Punkt nicht versichert (oder zerstort)

- △ Polygonpunkt & Triangulationspunkt
 - ▲ reiner Triangulationspunkt
 - ◎ Fernzielpunkt
 - griechischer Höhenfixpunkt (R = Repère)

Abb. 4 Topographische Übersicht von Eretria sowie Punktplan und Triangulationsnetz (die Skizze zeigt nur den grundsätzlichen Netzaufbau; es wurden natürlich wesentlich mehr Richtungen beobachtet)

recht gestellt. Diese Methode ist nicht nur billig, sondern auch sehr bequem, sofern man vier Verspannungen im rechten Winkel anordnet (anstelle von drei, wie es der an Dreifüsse gewohnte Geometer sozusagen instinktiv tun würde). Hinsichtlich der angetroffenen Schwierigkeiten sei auf Abschnitt 7.3 verwiesen.

7. Lagemessungen und provisorische Berechnung (1980)

7.1 Allgemeines

Eine Messarbeit von solcher Grösse (gemessen an der Einmann-Kapazität und der verfügbaren Zeit) erweist sich als ein ausgesprochenes Optimierungsproblem:

- dem Zeit- und Materialaufwand sind von vornherein Grenzen gesetzt
- die Anzahl der Punkte, Messungen und Überbestimmungen ist ziemlich frei wählbar
- die Planung ist dauernd den Gegebenheiten und Umweltbedingungen anzupassen
- noch während der Messungen selber können Visuren oder Punkte ausfallen
- jedes Problem lässt sich letzten Endes lösen – es fragt sich nur, mit welchem Zeitaufwand
- die meisten Arbeiten dauern zum Schluss länger als geplant, da nötig werdende Kontakte mit Einheimischen, fehlendes Material und überhaupt jede Schwierigkeit sich gleich als spürbarer Zeitverlust im Arbeitsprogramm niederschlägt.⁹

Kurz und gut, der Erfolg der Aktion bestand im Grunde genommen darin, jede auch kleinste Teilaufgabe bezüglich Qualität (und somit Zeitaufwand!) so zu lösen, dass im Ganzen ein optimaler Wirkungsgrad resultierte – wobei die Ergebnisse relativ frei wählbaren, aber schon am Anfang festzulegenden Randbedingungen wie Gesamtzeit, Punkt-dichte, Genauigkeit, Sicherung gegen grobe Fehler usw. zu genügen hatten.

Es zeigte sich mehrfach, dass das Messtempo einen nicht zu unterschätzenden Faktor bezüglich Zeitgewinn, Sicherheit und Genauigkeit darstellte; so bei den Polygonzugmessungen mitten im Dorf, wenn z.B. die Schulpause nahte und der Theodolit oder Reflektor plötzlich von neugierigen und ballspielenden Kindern umringt war. Auch sonst erweckten die Signale rasch die tätliche Neugier der Bevölkerung, weshalb es gelegentlich angezeigt war, zu Beginn eines Messtages einzelne Signale noch in der Nacht aufzustellen und im Morgengrauen mit den Messungen zu beginnen.

7.2 Polygonzug-Messungen

Es war von Anfang an ziemlich klar, dass in der überbauten Ebene nur

Polygonzüge längs Strassen zum Erfolg führen konnten; dafür kam ein Theodolit Kern K1-S mit elektro-optischem Distanzmesser DM 500 zum Einsatz. Die Winkel wurden zwangszentriert und auf mgon gemessen. Um die provisorische Auswertung im Feld etwas zu vereinfachen, konzipierte ich jede Zugmessung für sich allein, mit je nur einer Anschlussvisir an den beiden Endpunkten. Die Berechnungen konnten aus Zeitmangel nicht im gewünschten Umfang ausgeführt werden, genügten aber zum Schutze vor groben Fehlern. Im Hinblick auf das verwendete Ausgleichungsprogramm wäre eine etwas dichtere Vermischung vorteilhaft, jedoch zu zeitraubend gewesen.

7.3 Triangulation (inkl. Mastnetz)

Für die Bestimmung von Punkten weit ausserhalb der antiken und der heutigen Besiedlung genügte die Reichweite des verwendeten DM 500 nicht, um die in Frage kommenden Felsen direkt, d.h. ohne weitere aufwendige Polygonzüge zu erreichen. Dem definitiv positionierten Polygonnetz wurde deshalb ein Triangulationsnetz (Abb. 4) überlagert, welches gleichzeitig die Einmessung zahlreicher Masten von Hochspannungsleitungen durch Vorwärtseinschneiden erlaubte (Mastnetz). Der Burghügel über der Stadt, die Akropolis, gestattete als zentraler und erhöhter Punkt fast beliebig viele und lange Visuren nach allen Seiten, wobei allerdings wegen der Topographie vier Exzentren des griechischen Pfeilers nötig waren. Ich beobachtete jeweils 3

Sätze mit einem Kern DKM 2 (Abb. 5) und erhielt einen mittleren Fehler an den Satzmitteln zwischen ± 5 und 10^{cc} . Demzufolge fielen auch die Dreickschlüsse und Abrisse schlechter aus als erwartet. Folgende Gründe kamen hierfür in Frage:

- kurze bzw. ungleich lange Distanzen
- Lindenmann-Jalons sind für lange Visuren oder schlechte Sichtbedingungen zu dünn; anderseits geben die dickeren, aber nicht bemalten Holzsignale zu wenig Kontrast (Einfluss der jeweiligen Beleuchtung)
- mehrheitlich geringes Messtempo mangels Gehilfen
- ständiger Zeitdruck, daher nur 3 Sätze gemessen
- Sonnenstrahlung auf metallene Stativbeine
- Zentrierfehler.

Es wäre im Feld nur mit beachtlichem Zeitaufwand möglich gewesen, einen richtigen Netzplan für die Vorwärtseinschritte auf die Masten aufzustellen und diese vor der Messung eindeutig zu identifizieren. Somit ergab sich im Büro ein mehrstufiges Vorgehen von der graphischen Aufzeichnung und Grob-Ansprache über die Berechnung der Vorwärtseinschritte bis zur Kontrolle durch sämtliche Näherungsabrissse, welche schliesslich die letzten Unsicherheiten der Zuordnung beseitigten.

7.4 Einzelpunkt-Einschaltungen

In Abhängigkeit von der am Schluss verfügbaren Zeit ergaben sich noch da und dort ergänzende Einmessungen, insbesondere wenn es darum ging, das Netz in solchen Gebieten besser zu versichern, wo nur wenige und stark gefährdete Punkte vorhanden waren. Korrekt gemessene Polygonzüge lassen sich hierbei problemlos mit der erwarteten Genauigkeit einpassen, andere Messungen erfolgten hingegen unter grossem Zeitdruck oder etwas improvisiert. Wo Überbestimmungen vorlagen, traten denn auch genau in diesen Fällen Lagefehler von 5–20 cm auf, die ohne Nachprüfung im Feld nicht mehr abgeklärt, sondern nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eliminiert werden konnten. Andere Punkte wurden nur als Vektoren oder mit einfacherem Vorwärtseinschneiden bestimmt und ermangeln somit jeglicher Kontrolle. Es versteht sich, dass diese Lücken im Vermessungsrapport sorgfältig festgehalten sind.

8. Basismessung (1980)

Eine Basis von 400 m Länge erlaubte, die verschiedenen Distanzmessmethoden miteinander zu vergleichen und den Massstab des Netzes zu kontrollieren. DM 500, Basislatte und Stahlband passten im Rahmen ihrer Genauigkeit (± 10 resp. ± 22 mm) sehr gut zueinan-



Abb. 5 Triangulationsmessung auf Station „Akropolis Süd“ (R. Glutz und A. Liver); Blick auf Dorf, Meer und Festland (Küste von Attika)

der, wobei aber eine Additionskonstante des DM 500 von 12 mm eruiert wurde. Der Kern DK-RT als nicht eingesetztes Reserve-Instrument war mit 26 cm Differenz auf 400 m offensichtlich dejustiert. Für die Messbänder bestätigte sich die starke Abhängigkeit von Materialqualität und angewandtem Zug.

9. Lagerung und Ausgleichung des Netzes (1981/82)

Die Verarbeitung der Messdaten erfolgte stufenweise:

- Berechnung der Näherungskoordinaten mit Tischrechner HP 97, z.T. im Feld, ausgehend von der 1979 abgesteckten Axe, damit Kontrolle auf grobe Fehler und Ermittlung von drei griechischen Polygonpunkten, welche sich für die Positionierung des Netzes als unbrauchbar erwiesen und auf Grund der damit übereinstimmenden Beobachtungen im Gelände eliminiert werden konnten (Abb. 6).
- Berechnung, Ausgleichung und Lagerung des Polygonnetzes in einem Guss mit Hilfe des Programmes «Netz-3D» des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ, basierend auf den 23 verbliebenen griechischen Passpunkten (ebene Helmert-Transformation), selbstverständlich unter Beibehaltung des vom DM 500 gegebenen Massstabes. Wie Abb. 6 zeigt, ist ein um ca. 5 cm/100 m kleinerer Massstab des ursprünglichen griechischen Netzes zu vermuten. Die Klaffen erreichen 50 cm, wobei zusätzlich auch die ungenaue Punktdefinition im Gelände und der Abgriff der Koordinaten auf der Lichtpause Einfluss hat. Immerhin darf festgehalten werden, dass die Verteilung der Passpunkte im Gelände und deren Restfehler (± 25 cm) eine genügend zuverlässige Übereinstimmung des Netzes mit dem ursprünglichen griechischen Koordinatensystem garantieren.
- Berechnung und Ausgleichung des Triangulationsnetzes analog, mit dem gleichen Programm der ETH, unter Übernahme des Massstabes aus dem Polygonnetz; Mittelung der Koordinaten der gemeinsamen Punkte im Hinblick auf die hohe Genauigkeit und gute Übereinstimmung der beiden Netze (Differenzen unter 10 mm).
- Berechnung und Ausgleichung des Mastnetzes analog, unter Berücksichtigung der verschiedenen Gewichte der Richtungen, wobei ungünstige Schnitte natürlich mittlere Lagefehler bis zu ± 5 cm bewirken.
- Einpassung der übrigen Axpunkte mittels Helmert-Transformation und Anpassung des Massstabes, da die

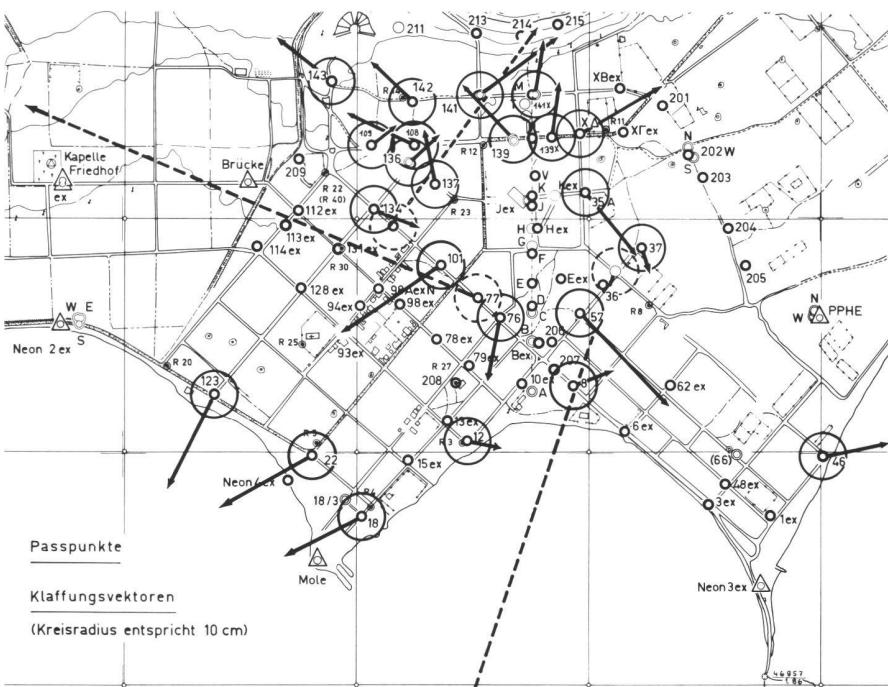


Abb. 6 Passpunkte für die Positionierung des Netzes, sowie Klaffungsvektoren; 3 Punkte sind offensichtlich zu eliminieren; der Massstab differiert um ca. 5 cm/100 m

Messbanddistanzen von 1979 systematisch verfälscht waren.

- Einrechnung der restlichen Punkte (von Hand), welche infolge Beschränkung der Computer-Kapazität beim Polygonnetz noch weggelassen oder erst in der dritten Feldkampagne gemessen worden waren.

Als Resultat der Ausgleichungen ergibt sich, dass – von den erwähnten Ausnahmen abgesehen – das Netz eine innere Genauigkeit von $\pm 1-2$ cm (= mittlerer Koordinatenfehler) aufweist, wogegen der Einpassfehler $\pm 20-30$ cm betragen dürfte.

10. Höhenbestimmung (1981)

Im Gegensatz zur Lagebestimmung liessen sich die Höhen auf einfachste Weise mit einem Wild NA 2 inkl. Plattenmikrometer ermitteln, wobei es mit dieser genauen Ausrüstung nur darum ging, die Millimeter zu messen statt zu schätzen und auf diese Weise eine etwas bessere Grundlage zur Beurteilung des griechischen Nivelliermaßes zu erhalten. In den genannten Plänen 1:500 sind die Koten der PP und der Höhenfixpunkte auf Zentimeter eingetragen. Obwohl die Höhenbolzen keine eindeutige Auflagestelle aufweisen (vermutlich wegen neuer Putzschichten an den Hauswänden), passen ihre Höhen tadellos mit denjenigen der PP zusammen. Es genügte also, mittels einer ersten, in sich geschlossenen Nivelliermaßschleife eine möglichst grosse Anzahl kotierter Punkte zu erfassen. Nach Eliminierung von fünf groben

Fehlern in den Planblättern ergab sich aus 21 Punkten der Horizont mit einem mittleren Fehler von ± 12 mm. An diese erste Serie definitiver Höhen liessen sich dann beliebige weitere Schleifen anhängen. Aus Zeitmangel war es leider nicht möglich, die Höhen sämtlicher neuen Punkte zu bestimmen, doch könnte dies jederzeit nachgeholt werden.

Zwecks Eichung der leichten Aluminium-Latte nivellierte ich eine Höhendifferenz von 33 m ein zweites Mal mit einer Invarlatte. Mit der entsprechenden minimalen Korrektur ergab sich für den höchsten Punkt auf der Akropolis (123 m ü. M.) eine Abweichung von nur 14 mm gegenüber dem griechischen Wert.

Zum einwandfreien Aufsetzen und Drehen der Latte auf den eingemeisselten Zentrumslöchern verwendete ich Kugeln verschiedener Durchmesser.

11. Resultat

Wichtigstes Ergebnis des Operates sind die 106 Punktprotokolle (Beispiel in Abb. 7) mit insgesamt 148 Punkten, ergänzt durch Technischen Bericht, Koordinatenverzeichnis, Punkt- und Netzpläne, alles zusammengestellt in einem umfangreichen *Vermessungsrapport*. Die Darstellung in Zahlen, Skizzen und Plänen, versehen mit Hinweisen in neugriechischer und französischer Sprache, ermöglicht jedem, auch nicht deutschsprachigen Fachmann, das Fixpunktnetz zu benutzen. Dies mag den griechischen archäologischen

Dienst zum Einmessen seiner Notgrabungen ebenso treffen wie die Gemeindebehörden Eretrias, welche die Nachführung des Katasterplanes wie auch alle sonstigen Vermessungsarbeiten darauf abstützen könnten. Ob sie es wagen, mangels eigener Mittel dem Werk eines Ausländer zu vertrauen, bleibe dahingestellt.

Axen gestatten dem Archäologen, seine Vermessungen und Detailaufnahmen ohne schiefe Winkel und Verwendung trigonometrischer Funktionen auszuführen.

Die Erfüllung einer solchen, an sich verständlichen Forderung konnte weder technisch noch finanziell in Betracht gezogen werden. Hingegen ermöglicht dieses Netz dem Ausgrabungstechniker, die Vermessungsraster der einzelnen Grabungsfelder mit einfachsten Polygonzügen anzuschliessen oder sogar nach dem Grundnetz auszurichten. Soll das Operat Jahrzehnte überdauern, wird trotz aller in Abschnitt 4 geschilderten Massnahmen eine periodische Nachführung nicht zu umgehen sein.

Ein vollständiger Verlust ist jedoch kaum zu befürchten, da aller Wahrscheinlichkeit nach genügend weit auseinander liegende Punkte erhalten bleiben, die in der gleichen Art und Weise wieder eine Rekonstruktion ermöglichen würden.

Anmerkungen

¹ Angaben u.a. aus der Richtplanstudie «Eretria 1976» der Architekturabteilung ETHZ (Prof. Schnebli, Hofer und Krause).

² Eine klare Analyse gab Dr. R. Moosbrugger in seinem internen Bericht vom 30.9.1977.

³ Dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETH Zürich und Materialverwalter W. Wattenhofer sei die bereitwillige Ausleihe aller benötigten Geräte inkl. Distanzmesser bestens verdankt.

⁴ Das zuständige Geometerbüro war nicht ausfindig zu machen; die Koordinaten von Triangulationspunkten stehen ebenso unter militärischer Geheimhaltung wie Karten in grossen Massstäben.

⁵ Eine nachträgliche Bestätigung dieses Sachverhalts gab G. Panotopoulos, Ingenieur-Geometer in Chalkis.

⁶ In der Beschränkung auf das zeitlich und finanziell überhaupt Machbare musste schliesslich jeder Gedanke an luftphotogrammetrische Arbeiten fallengelassen werden, jedoch erstellten amerikanische Spezialisten im Sommer 1980 Luftaufnahmen mit Ballonen.

⁷ Es darf festgehalten werden, dass diese Vorsicht, verbunden mit der an sich selbstverständlichen Höflichkeit gegenüber den Einwohnern, wesentlich zum Erfolg beigetragen hat, wäre es doch 1978 noch nicht möglich gewesen, sich mit einem Vermessungsgerät im Dorf zu zeigen. Auf die Wichtigkeit der sprachlichen Verständigung kann in diesem Zusammenhang nicht eindringlich genug hingewiesen werden; vom Bemühen, auch nur einige Worte oder Sätze der einheimischen Sprache zu lernen, hängt es u.a. ab, ob die Bevölkerung solche Arbeiten unterstützt oder sabotiert.

⁸ Ausnahmen, welche die Regel bestätigen, sind etwa:

- De Geyter, J. et al.: Thorikos 1964. Rapport préliminaire sur la deuxième campagne de fouilles, Bruxelles 1967.

- Grawe, K.: Der Fulbert-Stollen am Laacher See. Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters, Jg. 7/1979; Sonderdruck, Bonn 1979.

- Kasser, R.: Kellia topographie. Recherches Suisses d'Archéologie Copte, Volume II, Genève 1972.

- Krause, C., Schuler, K., Stucky, R. A.: Tell el Hajj in Syrien, Erster vorläufiger Bericht Grabungskampagne 1971. Herausgegeben vom Archäologischen Seminar der Universität, Bern 1972.

⁹ Es hat sich deshalb bei Arbeiten im Ausland sehr bewährt, selbst einfachste Dinge wie Nägel, Holzlatten, Schnur, Klebbänder und dgl. mitzubringen, da für deren Beschaffung an Ort und Stelle bald einmal halbe Arbeitstage eingesetzt werden müssten.

Adresse des Verfassers:
Rudolf Glutz, dipl. Ing. ETH
Hübeli
CH-4504 Solothurn

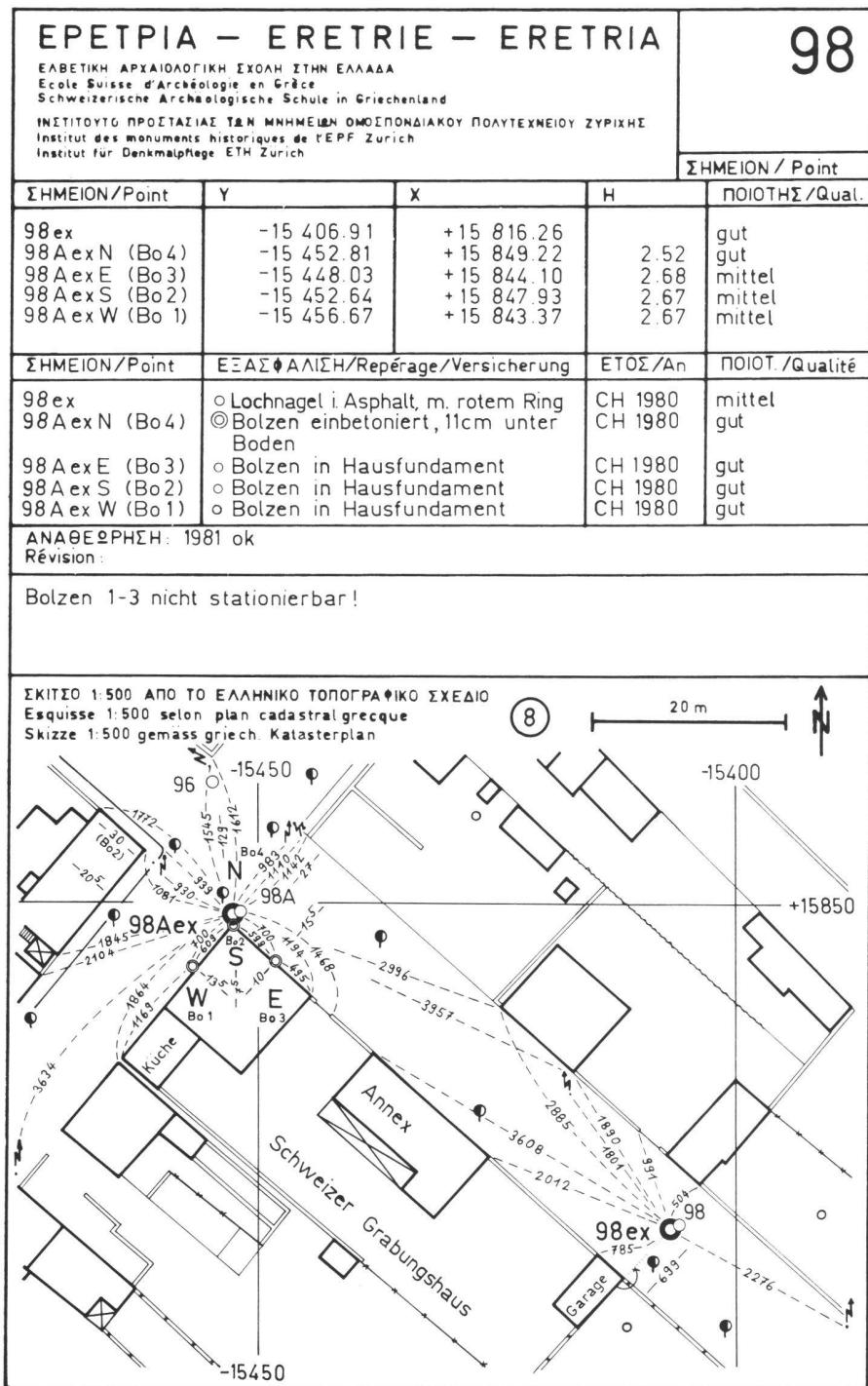


Abb. 7 Muster eines Punktprotokolls (Punktgruppe 98 beim Grabungshaus der Schweizer); die griechischen PP 98 und 98 A existieren nicht mehr (Zeichnung: K. Schoch)