

Konrad Peters

DER TUNNEL

Das Eupalineion auf der Insel Samos



vor 2500 Jahren von Eupalinos gebaut
vor 100 Jahren von Fabricius entdeckt
vor 10 Jahren erforscht und vermessen

Allgemeine und kritische Betrachtungen zu einer
bedeutenden Ingenieurleistung der Antike.

Veröffentlichungen
des Förderkreises
Vermessungstechnisches Museum e.V.

Nr. 8

Konrad Peters

DER TUNNEL

Das Eupalineion auf der Insel Samos

vor 2500 Jahren von Eupalinos gebaut
vor 100 Jahren von Fabricius entdeckt
vor 10 Jahren erforscht und vermessen

*Allgemeine und kritische Betrachtungen zu einer bedeutenden Ingenieur-
leistung der Antike*

1984

Veröffentlichungen
des Förderkreises
Vermessungstechnisches Museum e.V.

Nr. 8

Konrad Peters

DER TUNNEL

Der Bepfeiler auf der Insel Semoz

vor 2500 Jahren von Semoz gebaut
vor 100 Jahren von Semoz entdeckt
vor 10 Jahren erforscht und vermessen

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Genehmigung des Verlegers.

Herausgegeben vom Förderkreis Vermessungstechnisches Museum e.V.,
Postfach 473 . D - 4600 Dortmund 1

© 1984

Anschrift des Verfassers :

Dipl.-Ing. Konrad Peters, Wiegandweg 63, D-4400 Münster

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Verzeichnis der Bilder	5
Vorwort	6
Herodot berichtet über den Tunnel	8
Eupalinos und seine Zeit	9
Zur Topographie der Wasserleitung	10
Vermessungsmethoden für die Planung des Tunnels	18
Neue Daten über den Tunnel und deren Auswertung	28
Kritische Beurteilung der Planungsidee des Eupalinos	32
Warum ist der Nordstollen 200 m länger als der Südstollen ?	36
Das Längenmeßsystem im Tunnel	39
Die Richtungsabweichungen im Tunnel	41
Betrachtungen zur Lage und Richtung der Stollenachsen	45
Vermessungsarbeiten für den Vortrieb der Tunnelstollen	47
Daten zur Bau- und Entdeckungsgeschichte des Tunnels	49
Ionische Ingenieure zur Zeit des Tunnelbaus	50
12 Tunnelbauten der Antike	58
Literaturhinweise	59
Schlußwort	60

VERZEICHNIS DER BILDER

	Seite
Bild 1 Gesamtanlage der Wasserleitung	11
Bild 2 Der Tunnel nach der Aufnahme von Fabricius im Jahre 1882	14
Bild 3 Treffpunkt der Stollen	14
Bild 4 Südeingang mit Stadtberg	15
Bild 5 Kloster auf Samos	15
Bild 6 Archaischer Ausbau im Tunnel	16
Bild 7 Tunnel mit Wasserleitungsgraben	16
Bild 8 Landmesser auf Samos bei der Arbeit am Theodoliten	17
Bild 9 Pythagoras vor dem Museum in Pythagoreion	17
Bild 10 Orthogonalpolygon nach Heron zur Berechnung der Tunnelachse nach dem Pythagoras	19
Bild 11 Darstellung der Verfahren bei Messung über den Berg	21
Bild 12 Triangulation über den Stadtberg mit Hilfe von rechtwinkligen Dreiecken	22
Bild 13 Nivelliervorgang mit dem Chorobat nach Vitruv	24
Bild 14 Verfahren der trigonometrischen Höhenmessung	24
Bild 15 Rekonstruktion der Groma aus Pompeji	26
Bild 16 Die Dioptra des Heron	27
Bild 17 Längenprofil des Tunnels mit Grundriß und Tunnel- meßsystem	29
Bild 18 Detailplan, Nordstollen bei Station 250 m	30
Bild 19 Treffpunkt der Stollen nach Lage und Höhe	31
Bild 20 Trassenmöglichkeiten für Eupalinos	33
Bild 21 Längenprofil durch den Südausgang des Tunnels	35
Bild 22 Schematische Darstellung der Baulängen	37
Bild 23 Meßsystem im Tunnel	39
Bild 24 Lage und Richtung der Tunnelachsen	44
Bild 25 Aufmessung und Absteckung der Winkel im Tunnel	48
Bild 26 Übersichtsplan Ionien	56
Bild 27 Darstellung der Lebensdaten ionischer Wissenschaftler	57
Bild 28 12 Tunnelbauten der Antike	58

Bildnachweis:

Bild 2 nach AM 9, 1884, Tafel 8;

Bild 4 bis 9 Fotografien;

alle übrigen Bilder Entwürfe des Verfassers

Vorwort

Der Baumeister Eupalinos aus Megara baute vor 2500 Jahren im Auftrag des "Tyrannen" Polykrates den über 1000 m langen Wasserleitungstunnel auf der griechischen Insel Samos. Damit schuf er ein Ingenieurbauwerk, das mit Recht als das "achte" Weltwunder der Antike bezeichnet werden kann.

Seit der Erforschung des Tunnels durch den Archäologen Ernst Fabricius im Jahre 1882¹⁾ beschäftigt sich die Fachwelt mit dem Tunnel und seinen Rätseln. Dies ist aus zahlreichen Veröffentlichungen ersichtlich.

Die Freilegung und Neuvermessung der gesamten Wasserleitungsanlage durch das Deutsche Archäologische Institut (DAI) in Athen in den Jahren 1971-1975 stellt die Arbeit des Eupalinos - nunmehr mit exakten Daten - erneut zur Diskussion. Das ansteigende Interesse weiter Teile der Bevölkerung für die Baukunst der Antike veranlaßte das ZDF am 5.7.1978, den Tunnel in dem Fernsehfilm "Wasser für Polykrates" einer breiten Öffentlichkeit bekanntzumachen. In dem Film, dessen Herstellung unter Mitarbeit des DAI erfolgte, wurden die Zuschauer aufgefordert, bei der Lösung eines Problems mitzuhelfen, für das die Archäologen bis heute noch keine befriedigende Lösung finden konnten. Das Problem besteht darin, daß der Tunnel in seinem mittleren Teil bis zu 30 m aus der Achse abweicht.

Dem Wunsch der Archäologen komme ich mit dieser Arbeit nach. Im Ergebnis der Forschungen wurde jedoch sichtbar, daß nicht nur "das Problem der Achsabweichung", sondern noch eine weitere Anzahl von Fragen zur Vermessung und Planung des Tunnels durch Eupalinos offen stehen. Sie werden nachfolgend mit dem Wissen und den Möglichkeiten eines historisch forschenden Vermessungsingenieurs dargestellt und mit der Zielvorgabe untersucht, zu ergründen, wie Eupalinos vor 2500 Jah-

1) *Fabricius, E.*: *Altertümer auf der Insel Samos*. In: *Athenische Mitteilungen*, 9, 1884.

ren geplant, gemessen oder sich auch vermessen hat. Dabei entsteht zwangsläufig ein kritischer Dialog zu dem Fernsehfilm und den Auffassungen der Archäologen.

Für Untersuchungen zum Tunnel stehen die Daten und Pläne der Neuvermessung aus dem Jahre 1975 nicht zur Verfügung, da sie im vollen Umfang bisher noch nicht veröffentlicht worden sind. So war ich auf Planunterlagen angewiesen, die W. Kastenbein 1959 im Ergebnis der ersten Vermessung des Tunnels aufstellte.²⁾ Ferner standen die Arbeit von H. Kienast³⁾ sowie die Arbeitsberichte im Archäologischen Anzeiger über die Wasserleitung des Eupalinos - Samos 1971, Samos 1972 und Samos 1973 - zur Verfügung.

"Kann man mit diesen Wunderbauten der Wasserleitungen, die so vielen Bedürfnissen der Menschen dienen, die müßigen, nur für einen toten König errichteten Pyramiden oder zahllose andere unnütze Bauwerke vergleichen, die man dazu noch als Weltwunder betrachtet ?"

(Sextus Julius Frontinus, um 70 n.Chr.)

2) Kastenbein, W.: Untersuchungen am Stollen des Eupalinos auf Samos. In: Archäologischer Anzeiger, 1960, S. 178-198.

Ders.: Markscheiderische Vermessung im Dienst archäologischer Forschung. In: Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, 1966, S. 26-36.

3) Kienast, H.J.: Der Tunnel des Eupalinos auf Samos. In: Architectura, München 1977, S. 97-116.

Herodot berichtet über den Tunnel

Zur Geschichte von Samos, über den "Tyrannen" Polykrates und über den Tunnel selbst ist Herodot auch heute noch die bedeutendste Quelle aus der Antike.⁴⁾ Da Herodot mehrere Jahre auf Samos lebte, konnte er sehr enge Beziehungen zur Insel entwickeln. Als großer Bewunderer der samischen Baukunst schreibt er im III. Buch, Abschnitt 60:

"Ich habe so ausführlich über Samos berichtet, weil die Samier die gewaltigsten Bauwerke geschaffen haben, die sich in ganz Hellas finden. Erstens haben sie durch einen einhundertfünzig Klafter hohen Berg einen Tunnel gebort, der am Fuße des Berges beginnt und nach beiden Seiten Mündungen hat. Dieser Tunnel ist sieben Stadien lang und acht Fuß hoch und breit. Unter diesem Tunnel ist seiner ganzen Länge nach ein zweiter, zwanzig Ellen tiefer und drei Fuß breiter Tunnel gegraben. Durch diesen letzteren wird aus einer großen Quelle das Wasser in Röhren in die Stadt geleitet. Diese Wasserleitungsanlage wurde gebaut von Eupalinos, Naustrophos' Sohn aus Megara."

Nach Herodot ist der Tunnel des Eupalinos im 6. Jh. v.Chr. gebaut worden. Nach den neueren Forschungsergebnissen des DAI läßt sich der Tunnelbau auf das dritte Viertel des 6. Jh. v.Chr. präzisieren. Ein Vergleich der Tunneldaten nach Herodot mit den aus der Neuvermessung gewonnenen Ergebnissen zeigt, daß Herodot sehr genaue Angaben über den Tunnel überliefert hat.⁵⁾ Diese Angaben konnte er nur aus Unterlagen und Plänen des Tunnels gewonnen haben. Ferner ist anzunehmen, daß er den Tunnel aus eigener Anschauung kannte.

4) Herodot: Historien. Deutsche Gesamtausgabe. Stuttgart 1955.

5) Tölle-Kastenbein, R.: Herodot und Samos. Bochum 1976, S. 68 ff.

Eupalinos und seine Zeit

Für Untersuchungen über die Arbeitsweise des Eupalinos und die Besonderheiten des Tunnels sind die historischen Kenntnisse über den Auftraggeber Polykrates und das allgemeine Wissen über Vermessungs- und Baukunst in Griechenland um 550 v. Chr. Voraussetzung. Ferner sind der damalige Entwicklungsstand der vermessungstechnischen Instrumente und Geräte sowie die mathematischen Möglichkeiten, die Eupalinos zur Verfügung standen, zu berücksichtigen.

Herodot schreibt in den Büchern I bis IX in etwa 90 Abschnitten über den Inselstaat Samos und seinen Tyrannen Polykrates (573 bis 522 v. Chr.). Es gelang Polykrates, Samos mit Hilfe einer starken Flotte zur größten See- und Handelsmacht mit eigenem "Kolonialbesitz" zu machen. Im Stile europäischer Fürsten zur Zeit des Absolutismus baute er die Stadt Samos zu einer glänzenden Metropole aus, die bedeutende Künstler und Wissenschaftler anzog. Unter ihnen war auch Eupalinos, Naustrophos' Sohn aus Megara (Herodot III, 60). Ihm übertrug er die Bauleitung des Tunnels, da wahrscheinlich nur er in der Lage war, einen Tunnel im zweiseitigen Vortrieb zu planen und zu bauen.⁶⁾

Die Entwicklung der griechischen Geometrie erreichte im 6. Jh. v. Chr. in Samos und Milet ihre erste große Blütezeit. Für die Vermessung, Berechnung und Absteckung einer Tunnelachse sind neben den entsprechenden Meßgeräten auch bestimmte geometrische und mathematische Kenntnisse erforderlich, welche durch die Forschungen von Thales, Pythagoras und Anaximander gegeben waren. (s. hierzu S. 50-57)

Die Lehrbücher des Physikers Heron, "Metrika" und "Dioptra", werden in dieser Arbeit zum Nachweis über Vermessungsmethoden und Meßinstrumente beim Tunnelbau mehrfach herangezogen, obwohl Heron erst nach dem Tunnelbau lebte. Sie sind die umfassendsten und bedeutendsten Quellen der Antike über griechische Feldmeßkunst.⁷⁾

6) s. Tölle-Kastenbein, S. 54 ff.

7) Peters, K.: Die Dioptra des Heron. In: Der Fluchtstab, 1960, S. 21-27 und 48-50.

Zur Topographie der Wasserleitung

Die Gesamtanlage der Wasserleitung besteht aus dem Quellhaus, der Leitung von der Quelle bis zum Tunneleingang, dem Tunnel mit Wasserleitungsgraben sowie der Leitung vom Tunnelausgang bis in die Stadt Samos. (s. Bild 1)

Dem von Herodot genannten Baumeister Eupalinos war die Aufgabe gestellt, das Wasser einer starken Quelle bei Agiades zur Stadt Samos zu leiten. Der zwischen der Quelle und der Stadt liegende Berg Kastro stellte für den Bau das größte Hindernis dar. Die Wasserleitung mußte daher entweder westlich um den Berg herumgeführt oder durch den Berg als Tunnel gebaut werden. Eupalinos wählte die zweite Lösung wegen einiger bedeutender Vorteile.

- Die Leitung wurde kürzer.
- Sie kam hoch über der Stadt aus dem Berg.
- Ihre unterirdische Lage bot größeren Schutz vor Zerstörungen.
- Der Tunnel konnte sowohl als Flucht- als auch als Angriffsweg dienen.

Der erste Teil der Leitung führt von der Quelle bei Agiades, die in einem massiv gebauten Quellhaus gefaßt ist, oberhalb der Höhenlinie 55,00 m am Abhang des Berges entlang, unterquert zwei Bäche und stößt dann fast im rechten Winkel auf den Tunneleingang. Dieses 840 m lange Teilstücke der Wasserleitung - Gefälle etwa 0,5 ‰ - konnte größtenteils in offener Bauweise aus dem Fels gehauen werden. Wo es erforderlich war, wurden die Seitenwände durch Ausbauten gesichert. Die oben durch Platten abgedeckte Leitung war dem Gelände angepaßt. Die letzten 150 m der Leitung vor dem Tunnel wurden auf Grund der Geländesituation tunnelartig gebaut. Dazu trieb man in Abständen von 30 bis 50 m bis zu 15 m tiefe Senkrechtschächte nach unten. Von den Schachtsohlen aus erfolgte die Verbindung zwischen den einzelnen Schächten durch tunnelartigen Vortrieb. Die Leitung enthält nur ein geringes Gefälle und mündet mit einer Tiefe von 3,50 m unter der Tunnelsohle in den Tunnel ein.

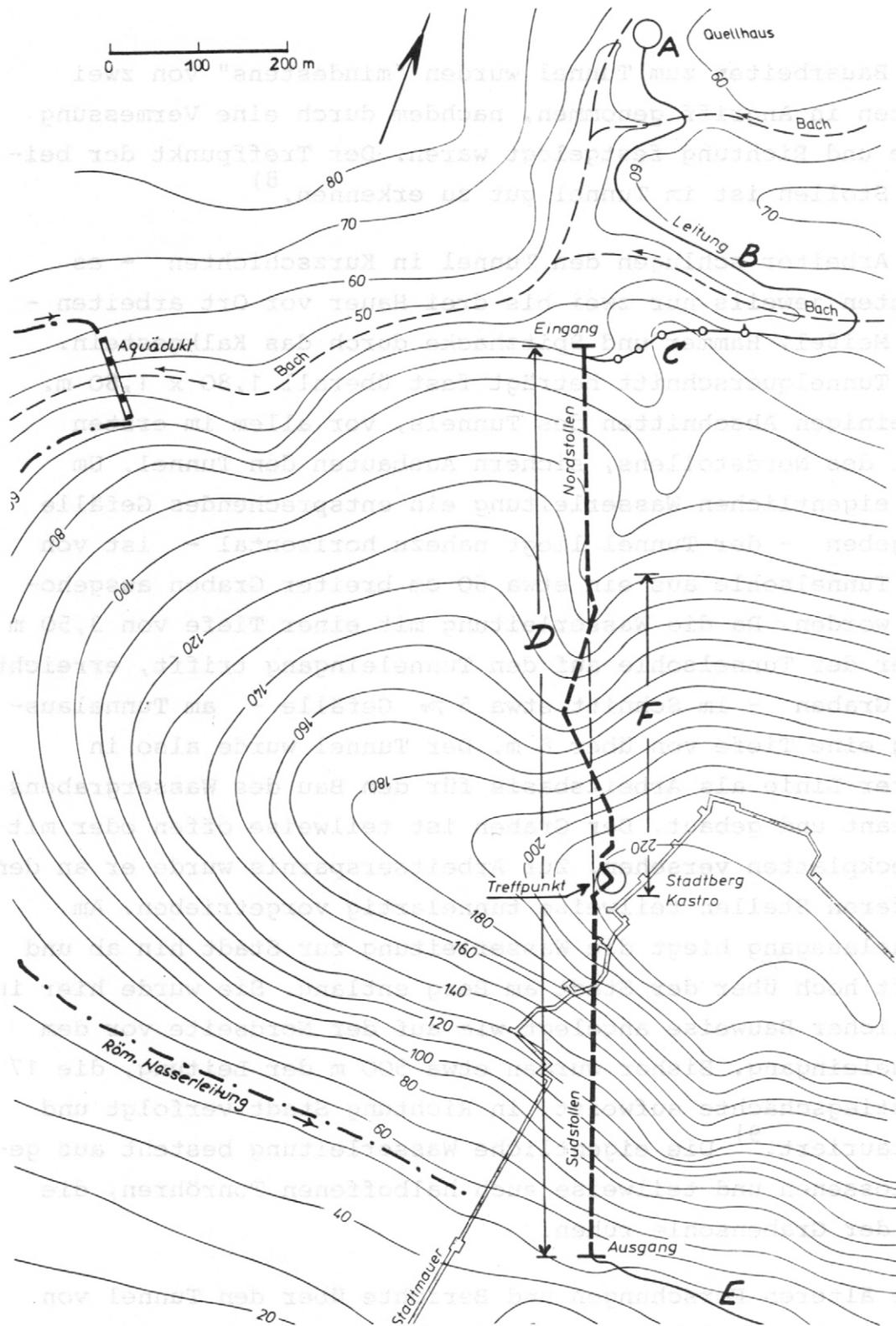


Bild 1:

Gesamtanlage der Wasserleitung

- A = Quellhaus mit Kapelle
- B = Wasserleitung verdeckt gebaut
- C = Schächte für tunnelartigen Vortrieb
- D = Tunnel mit Nord- und Südstollen
- E = Wasserleitung zur Stadt
- F = Richtungsabweichungen (Knicke)
Suchen des Treffpunktes

Die Bauarbeiten zum Tunnel wurden "mindestens" von zwei Seiten in Angriff genommen, nachdem durch eine Vermessung Höhe und Richtung festgelegt waren. Der Treffpunkt der beiden Stollen ist im Tunnel gut zu erkennen.⁸⁾

Die Arbeiter schlugen den Tunnel in Kurzschichten - es konnten jeweils nur zwei bis drei Hauer vor Ort arbeiten - mit Meißel, Hammer und Spitzhacke durch das Kalkgestein. Der Tunnelquerschnitt beträgt fast überall 1,80 x 1,80 m. In einigen Abschnitten des Tunnels, vor allem im ersten Teil des Nordstollens, sichern Ausbauten den Tunnel. Um der eigentlichen Wasserleitung ein entsprechendes Gefälle zu geben - der Tunnel liegt nahezu horizontal - ist von der Tunnelsohle aus ein etwa 60 cm breiter Graben ausgehoben worden. Da die Wasserleitung mit einer Tiefe von 3,50 m unter der Tunnelsohle auf den Tunneleingang trifft, erreicht der Graben - im Schnitt etwa 5 ‰ Gefälle - am Tunnelausgang eine Tiefe von über 8 m. Der Tunnel wurde also in erster Linie als Arbeitsbasis für den Bau des Wassergrabens geplant und gebaut. Der Graben ist teilweise offen oder mit Abdeckplatten versehen. Zur Arbeitersparnis wurde er an den tieferen Stellen teilweise tunnelartig vorgetrieben. Am Tunnelausgang biegt die Wasserleitung zur Stadt hin ab und läuft hoch über der Stadt am Berg entlang. Sie wurde hier in ähnlicher Bauweise angelegt wie auf der Nordseite vor dem Tunneleingang. Bisher wurden etwa 500 m der Leitung, die 17 Einstiegschächte aufweist, in Richtung Stadt verfolgt und restauriert.⁹⁾ Die eigentliche Wasserleitung besteht aus geschlossenen und teilweise auch halboffenen Tonröhren, die auf der Grabensohle ruhen.

Alle älteren Forschungen und Berichte über den Tunnel von Samos stützen sich im wesentlichen auf die Arbeiten und Da-

8) Dieser Arbeit liegen Planunterlagen zugrunde, die *W. Kastenbein* im Ergebnis seiner Vermessung aufstellte (2). Außerdem wurden Daten und Gesamtplan (3) aus dem Archäologischen Anzeiger der Jahre 1973 und 1975 (Arbeitsberichte Samos 1971, 1972, 1973) benutzt.

9) s. *Tölle-Kastenbein*, S. 67.

ten von Fabricius, der im Jahre 1882 erste und umfangreiche Untersuchungen und Messungen am Tunnel durchführte. (s. Bild 2) Obwohl der Tunnel besonders im Nordstollen teilweise verschüttet war, haben viele Aussagen von Fabricius auch heute noch Gültigkeit. Besonders gut hat Fabricius (1) den Treffpunkt der beiden Stollen erkannt, untersucht und beschrieben. (s. Bild 3)

"Von ganz besonderer Wichtigkeit für die Beurteilung des Bauwerkes ist eine Stelle im Innern des Tunnels, aus deren genauer Betrachtung sich die interessante Tatsache ergibt, daß der Tunnel von zwei Seiten aus gebrochen worden ist. Die beiden Stollen sind im Innern des Berges, etwas näher der Süd- wie der Nordseite zusammengetroffen. In einer Entfernung von 425 m von der Mündung des Tunnels läuft der in gerader Richtung von Süden kommende Stollen im Felsen tot; das aufgegebene Ende ist deutlich sichtbar. Auf der Westseite ist die Wand und ein Teil der Decke des Stollens ca. 1 1/2 m vor dem Ende durchgeschlagen: hier mündet fast im rechten Winkel der von Norden kommende Gang in den Südstollen ein. Auf der Nordseite ist der Tunnel vor der Stelle, wo er in den Südstollen mündet, nicht weniger wie 4 bis 5 m hoch. Diese ungewöhnliche Höhe rührt nicht etwa davon her, daß hier ein Teil des Tunnels eingestürzt ist, sondern erklärt sich vielmehr aus dem Umstand, daß der Boden des Nordstollens mehr wie einen Meter höher lag, wie die Decke des Südganges, und daß erst nach Durchschlagung des letzteren das Zusammentreffen erfolgte. Man sieht noch jetzt, wie der Nordstollen ein Stück quer über den Südstollen hinweggelaufen war, und kann die Stelle am Felsen, wo zuerst das beide Gänge verbindende Loch geschlagen worden ist, nicht verkennen."



Die Zeichnung zeigt den Verlauf der beiden Stollen im Innern des Berges. Der Nordstollen verläuft von oben links nach unten rechts, während der Südstollen von unten links nach oben rechts verläuft. Die beiden Stollen treffen sich in der Mitte. Die Zeichnung zeigt die Wände und die Decke der Stollen. Ein Teil der Decke des Südstollens ist durchgeschlagen, was die Verbindung zum Nordstollen darstellt. Die Zeichnung ist eine perspektivische Darstellung der Tunnelstruktur.

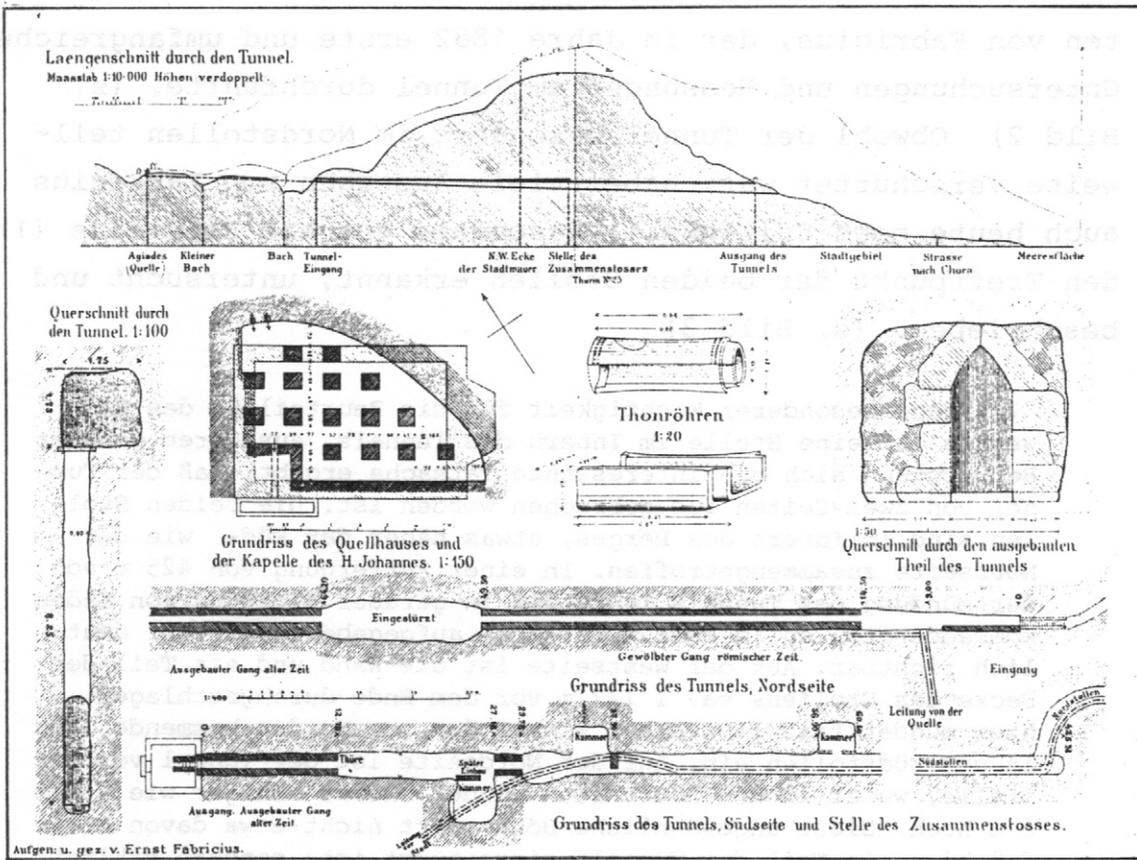


Bild 2:

Der Tunnel nach der Aufnahme von Fabricius im Jahre 1882.

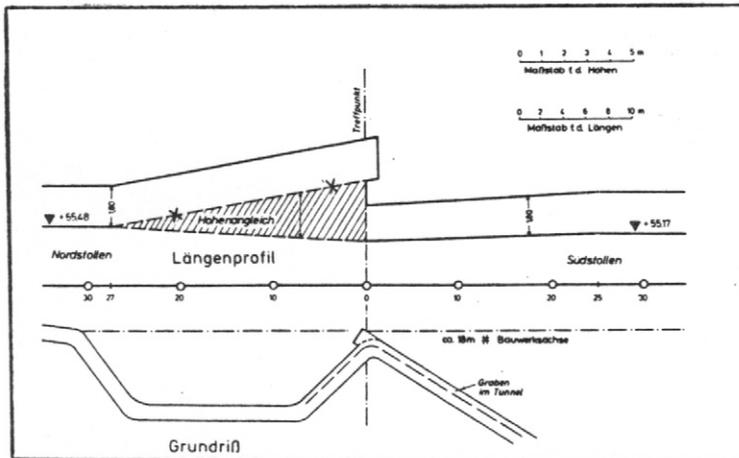


Bild 3:

Treffpunkt der Stollen nach Lage und Höhe.
Der Grundriß zeigt deutlich das Suchen des Treffpunktes. Das Längsprofil zeigt, daß bei Vortrieb der Stollen von der Höhe + 55,48 nach der Höhe + 55,17 der Zusammenstoß erfolgt. Von Eupalinos also nur ein Höhenfehler aus Unsicherheit !

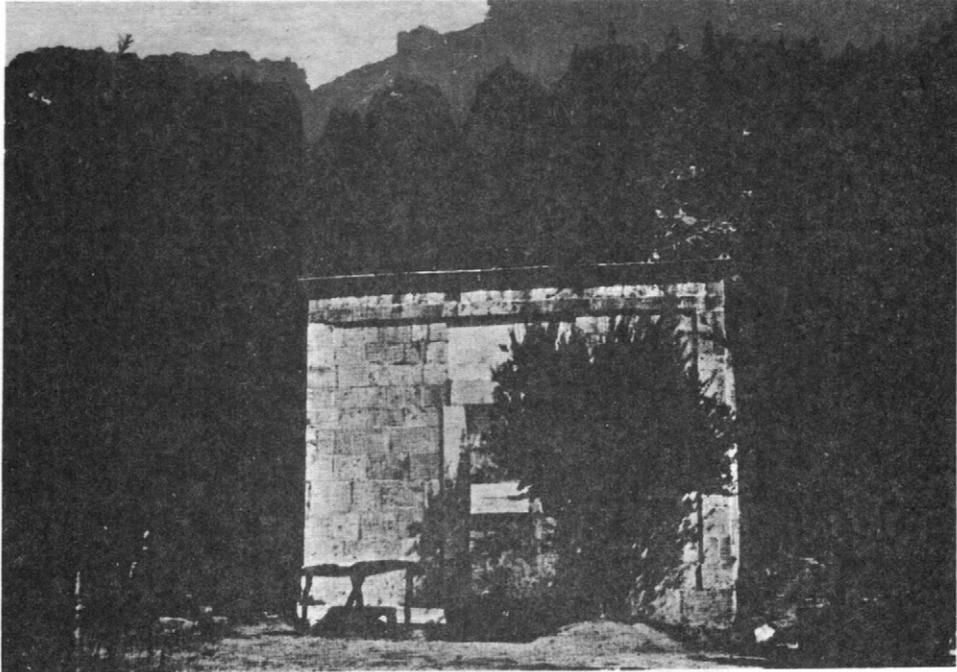


Bild 4:
Südeingang mit Stadtberg

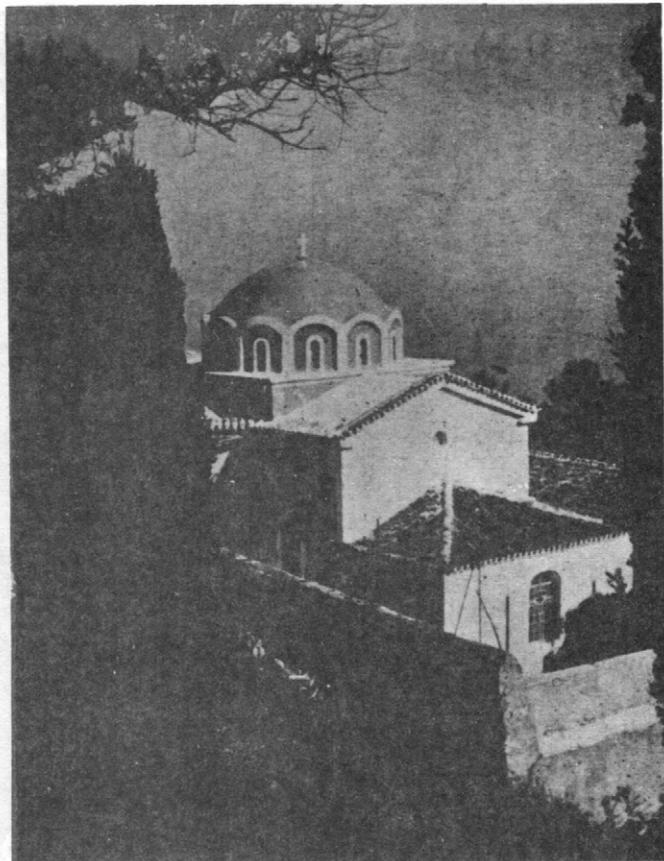


Bild 5:
Kloster auf Samos

Bild 6:

*Archaischer Ausbau
im Tunnel*

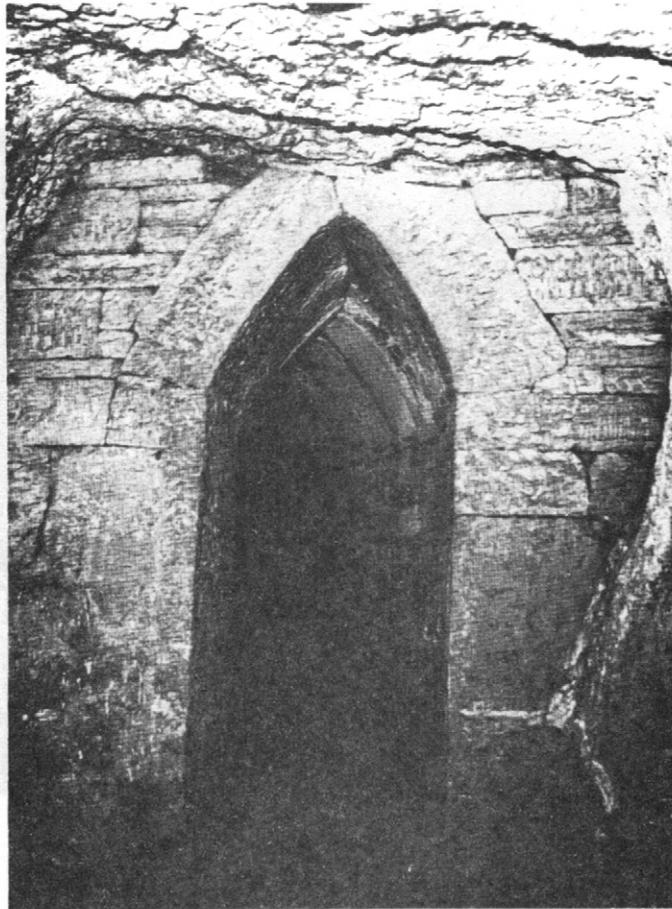


Bild 7:

*Tunnel mit Wasser-
leitungsgraben
(rechts unten)*

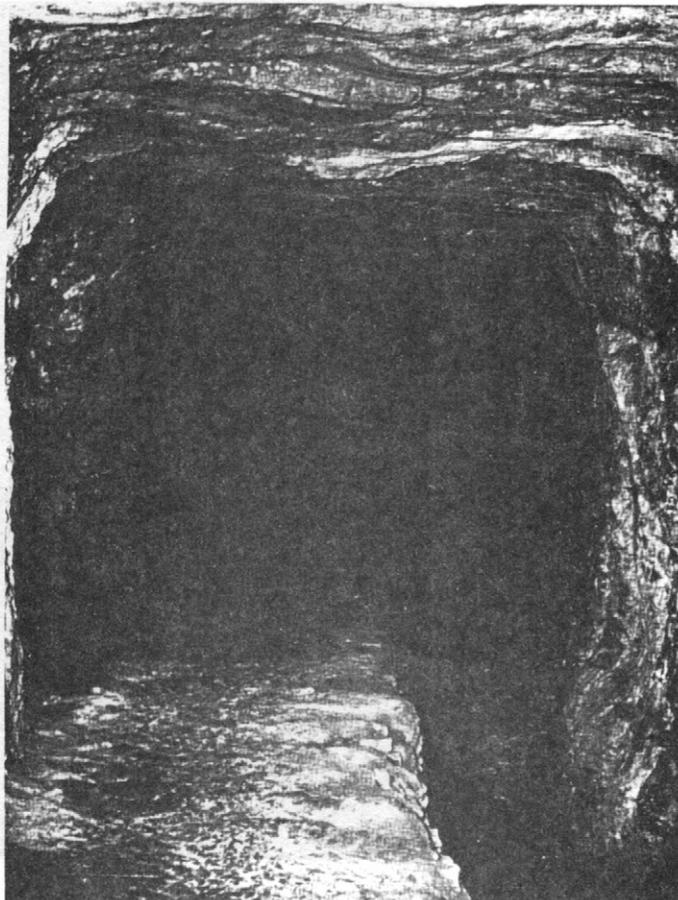




Bild 8:
*Landmesser auf Samos bei der Arbeit
 am Theodoliten*



Bild 9:
Pythagoras vor dem Museum in Pythagoreion

Vermessungsmethoden für die Planung des Tunnels

Die Ergebnisse der für eine Bauplanung erforderlichen Vermessungen werden in Lage- und Höhenplänen mit den erforderlichen Lage-, Richtungs- und Höhendaten dargestellt. Dabei ist es Sache des Baumeisters, eine für das Objekt geeignete Aufnahmemethode zu finden.

Nach der aus der Zeit des Tunnelbaus vorliegenden Literatur standen für die Vermessung und Festlegung einer Tunnelachse folgende Methoden zur Verfügung:

- Messung eines Orthogonalpolygons nach Heron um den Berg Kastro mit Dioptra oder Groma. Längenmessung mit Meßkette. Kontrolle der Rechtwinkel durch Bogenschlag oder nach dem Pythagoras. (Bild 10)
- Ausfluchten der Achse aus der Mitte oder Vortreiben der Richtung über den Berg. Längenmessung in der Achse durch Staffelmessung mit Hilfe von Meßplatten mit etwa 700 Aufstellungen für Hin- und Rückweg. (Bild 11)
- Ausfluchten der Achse über den Berg nach Rauchsignalen am Eingang und Ausgang des Tunnels. Staffelmessung in der Achse.
- Triangulation über den Berg mit Hilfe von rechtwinkligen Dreiecken. (Bild 12)
- Für die Höhenmessung: Nivellement als Staffelmessung über den Berg mit etwa 700 Aufstellungen für Hin- und Rückweg.
- Nivellement um den Berg mit etwa 30 Aufstellungen für Hin- und Rückweg.
- Trigonometrische Höhenmessung mit Hilfe von rechtwinkligen Dreiecken. (Bild 14)

Welches Verfahren Eupalinos für seine Lage- und Höhenmessung angewandt hat, wird sich mit Sicherheit nicht ergründen lassen. Betrachtet man jedoch die Aufgabe Herons über die Festlegung der Tunnelachse durch einen Berg (XV. Abschnitt seines Buches 'Dioptra'), dann könnte man zu der Feststellung kommen, daß Heron den Samostunnel vor Augen hatte. In dieser Aufgabe wird von A nach B ein Tunnel durch einen Berg gebaut, wobei der Vortrieb der Stollen von zwei Seiten erfolgt. Für den Vortrieb muß die Richtung und die Länge der Tunnelachse vorgegeben sein. Heron löst die Aufgabe mit Hilfe eines Orthogonalpolygons (Bild 10), das er am Fuße des Berges

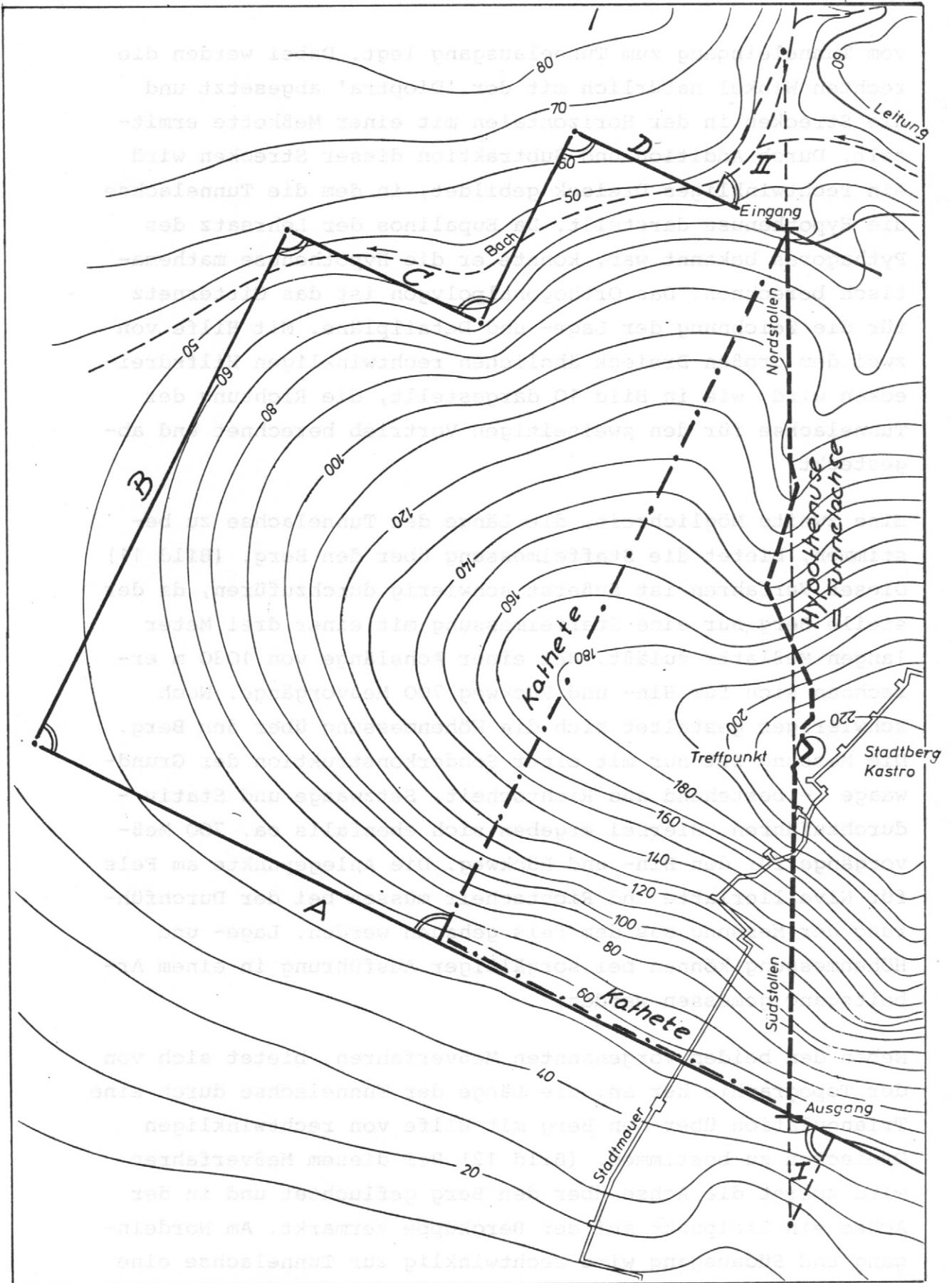


Bild 10:

Orthogonalpolygon nach Heron zur Berechnung der Tunnelachse nach dem Pythagoras.

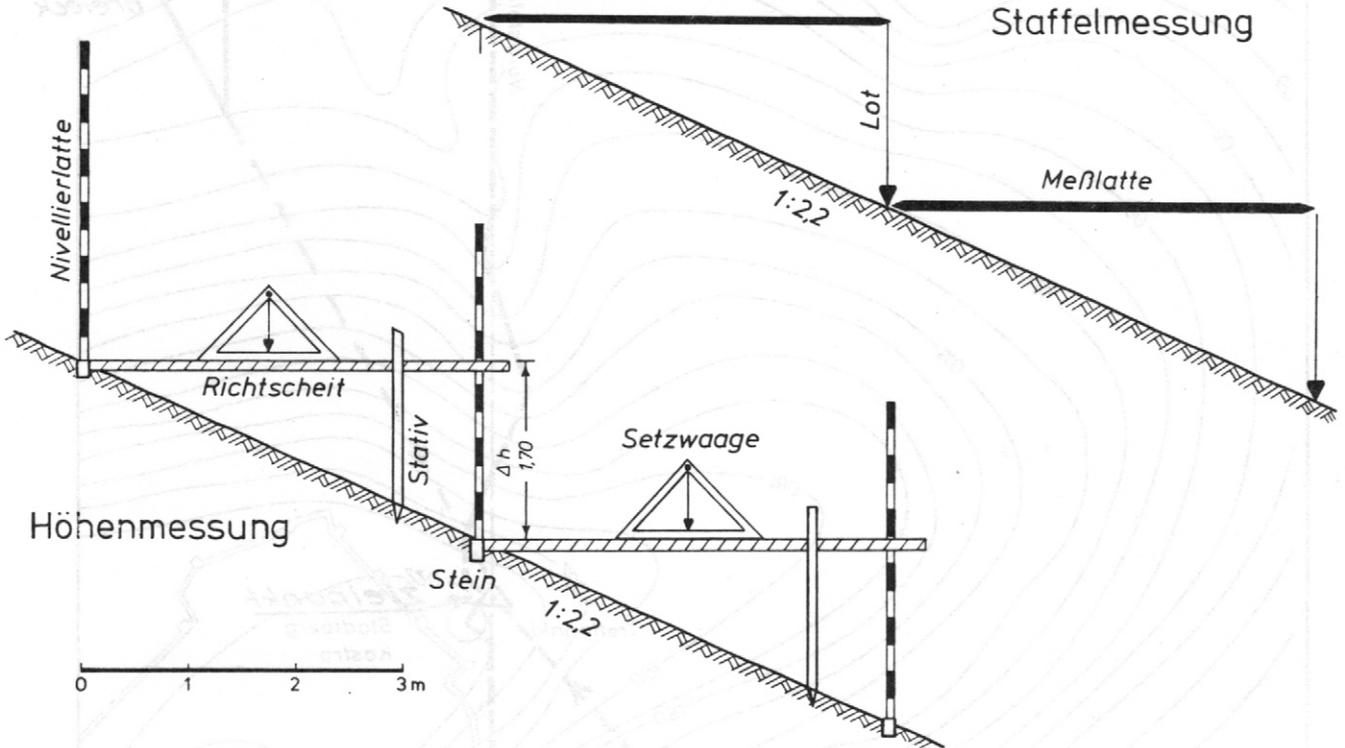
vom Tunneleingang zum Tunnelausgang legt. Dabei werden die rechten Winkel natürlich mit der 'Dioptra' abgesetzt und die Strecken in der Horizontalen mit einer Meßkette ermittelt. Durch Addition und Subtraktion dieser Strecken wird ein rechtwinkliges Dreieck gebildet, in dem die Tunnelachse die Hypothenuse darstellt. Da Eupalinos der Lehrsatz des Pythagoras bekannt war, konnte er die Hypothenuse mathematisch berechnen. Das Orthogonalpolygon ist das Gitternetz für die Zeichnung der Lage- und Detailpläne. Mit Hilfe von zwei dem großen Dreieck ähnlichen rechtwinkligen Hilfsdreiecken wird, wie in Bild 10 dargestellt, die Richtung der Tunnelachse für den zweiseitigen Vortrieb berechnet und abgesteckt.

Eine zweite Möglichkeit, die Länge der Tunnelachse zu bestimmen, bietet die Staffelmessung über den Berg. (Bild 11) Dieses Verfahren ist äußerst schwierig durchzuführen, da der steile Berg nur eine Staffelmessung mit einer drei Meter langen Meßlatte zuläßt. Bei einer Achslänge von 1030 m errechnen sich für Hin- und Rückweg 700 Meßvorgänge. Noch schwieriger gestaltet sich die Höhenmessung über den Berg. Die Messung ist nur mit einer Sonderkonstruktion der Grundwaage - bestehend aus Richtscheit, Setzwaage und Stativ - durchzuführen. Hierbei ergeben sich ebenfalls ca. 700 Meßvorgänge für den Hin- und Rückweg. Die Anlegepunkte am Fels für Nivellierlatte und Richtscheit müssen bei der Durchführung der Messung aus dem Fels gehauen werden. Lage- und Höhenmessung können bei sorgältiger Ausführung in einem Arbeitsgang gemessen werden.

Neben den beiden vorgenannten Meßverfahren bietet sich von der Topographie her an, die Länge der Tunnelachse durch eine Triangulation über den Berg mit Hilfe von rechtwinkligen Dreiecken zu bestimmen. (Bild 12) Bei diesem Meßverfahren wird zuerst die Achse über den Berg gefluchtet und in der Achse ein Zielpunkt auf der Bergkuppe vermarktet. Am Nordeingang und Südausgang wird rechtwinklig zur Tunnelachse eine Basis gelegt, von der aus jeweils ein gut meßbares recht-

Bild 11:

Darstellung der Verfahren bei Messung über den Berg



Wegen des steilen Berges war eine Sonderkonstruktion von Setzwaage und Richtscheit notwendig.
Ca. 350 Meßvorgänge vom Nord- bis zum Südeingang.
Beide Verfahren sind auch in einem Arbeitsgang durchzuführen.

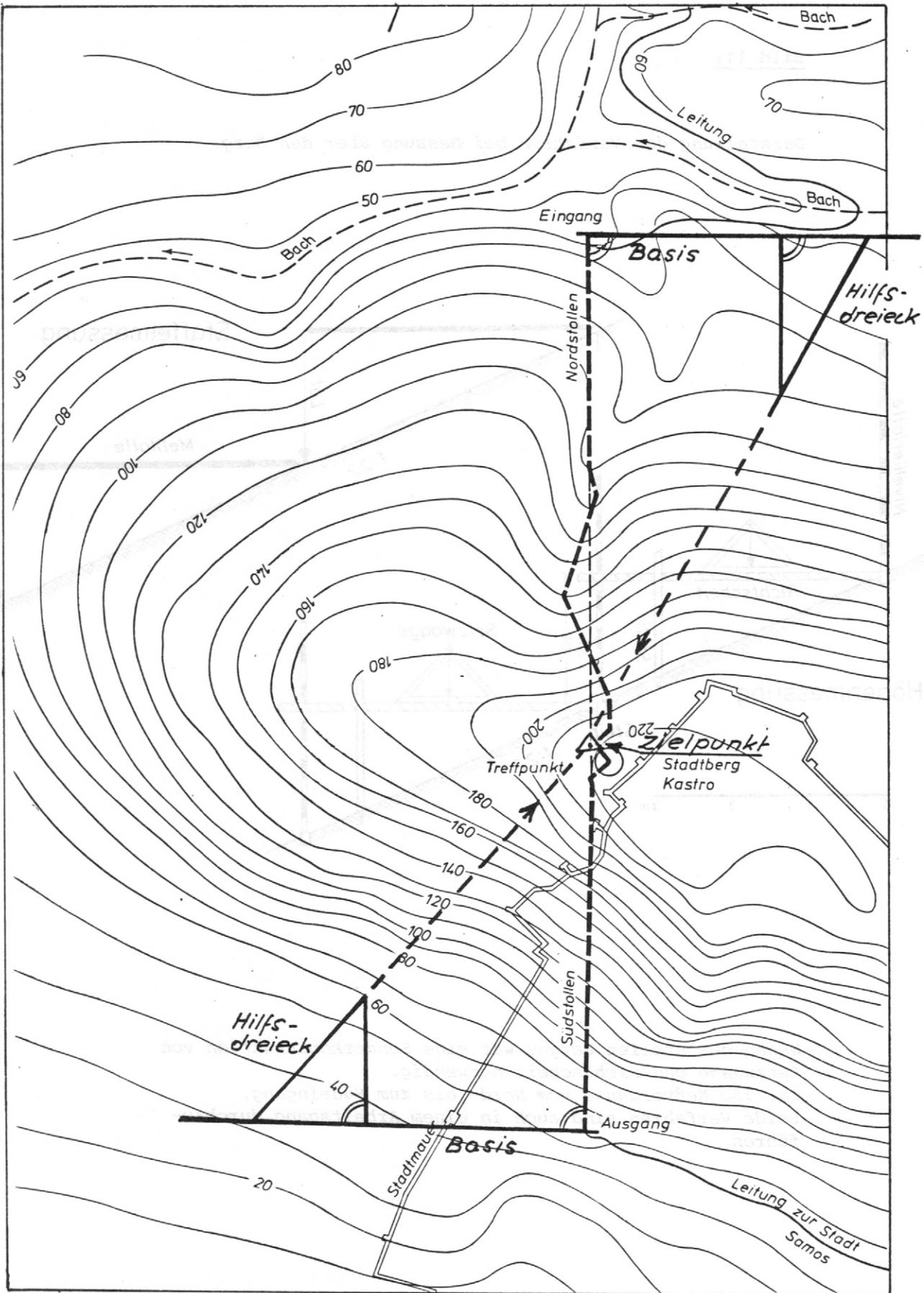


Bild 12:

Triangulation über den Stadtberg mit Hilfe von rechtwinkligen Dreiecken. Richtung der Tunnelachse durch Fluchten über den Berg vorgegeben.

winkliges Hilfsdreieck mit Richtung auf den Zielpunkt abgesteckt und gemessen wird. Aus den gemessenen Seiten der Hilfsdreiecke und der Basislänge lassen sich die beiden Teilstrecken der Tunnelachse nach Proportionen berechnen.

Diese Methode der Messung und Berechnung 'unzugänglicher Entfernungen' ist von Thales und Pythagoras - zwar in einer anderen Aufgabenstellung - überliefert.

Die Höhenmessung über der Tunnelachse wurde vorhergehend schon behandelt. Eine weitere Möglichkeit, die Höhen für die Planung des Tunnels zu erhalten, bietet die Messung um den Berg im Bereich der Höhenlinie + 55 m über NN. (Bild 1) Nach Heron (s. Anmerk. 7) wird dazu ein Längennivellement mit Hilfe der Dioptra (Kanalwaage) und zwei Schiebelatten in der Art des heutigen Nivellements ausgeführt. Selbst wenn man unterstellt, daß einige Jahrhunderte vor Heron von den Baumeistern noch nicht so perfekt nivelliert werden konnte und auch kein so hoch entwickeltes Instrument wie die Dioptra vorhanden war, so bestand doch schon zur Zeit des Tunnelbaus auf Samos die Möglichkeit, mit Setzwaage und Richtscheit oder mit der Grundwaage eine einwandfreie Höhenmessung mit langen Zielweiten durchzuführen. Bei diesen Geräten erfolgt die Horizontalstellung des Richtscheites mit Hilfe der Setzwaage oder einer Wasserrinne im Richtscheit. Bei der Chorobates, die der römische Baumeister Vitruv¹⁰⁾ für die Durchführung von Höhenmessungen beim Bau der Wasserleitungen von Rom beschreibt, sind beide Verfahren miteinander verbunden. Die Länge des Richtscheites wird je nach Gelände und Aufgabenstellung unterschiedlich gewesen sein. (Bild 13)

Versuchsmessungen, die ich mit einem Richtscheit von 3 m Länge sowie einer Setzwaage ausführte, ergaben bei einer Zielweite von 50 m eine Meßgenauigkeit von ± 8 mm.

10) Peters, K.: Die Bücher des Marcus Vitruvius Pollio über die Baukunst und ihre Bedeutung für die Geschichte der Ingenieurvermessung. In: Der Fluchtstab, 1958, S. 65-69.

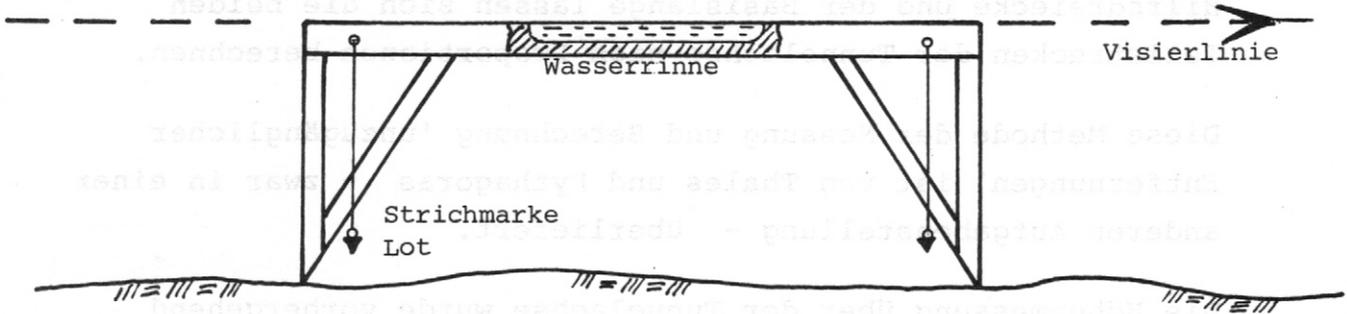


Bild 13:

Nivelliervorgang mit dem Chorobat nach Vitruv.

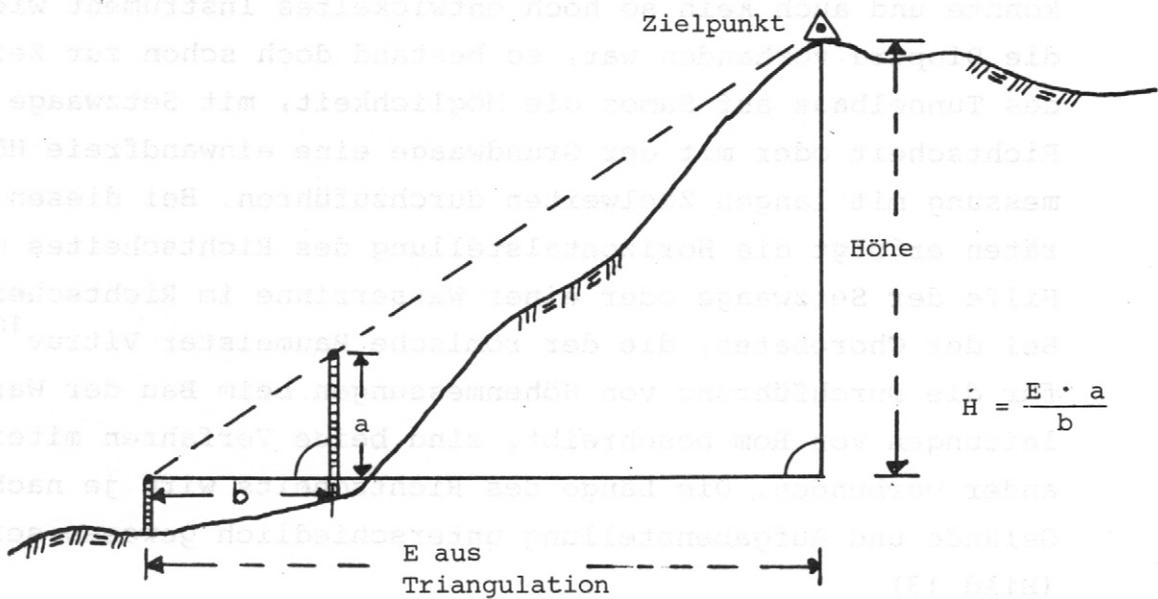


Bild 14:

Verfahren der trigonometrischen Höhenmessung

Ein drittes Verfahren, den Höhenunterschied zwischen Ein- und Ausgang des Tunnels zu bestimmen, bietet die trigonometrische Höhenmessung mit Hilfe von rechtwinkligen Dreiecken in der Vertikalen. Für die Durchführung der Messung liegen aus der Triangulation (Bild 12) die beiden Streckenabschnitte der Tunnelachse sowie die Hypothenusen der beiden großen Dreiecke vor. Das Schema der Höhenmessung zeigt Bild 14.

Die Betrachtung der aufgeführten Meßverfahren und Vermessungsinstrumente aus der Zeit des Tunnelbaus zeigt deutlich, wie schwer es ist, eine exakte Aussage zur Vermessungsmethode des Eupalinos zu machen. Sie wird immer nur subjektiv sein und spekulativ bleiben, zumal die Möglichkeit besteht, daß Eupalinos die Meßmethoden kombinierte.

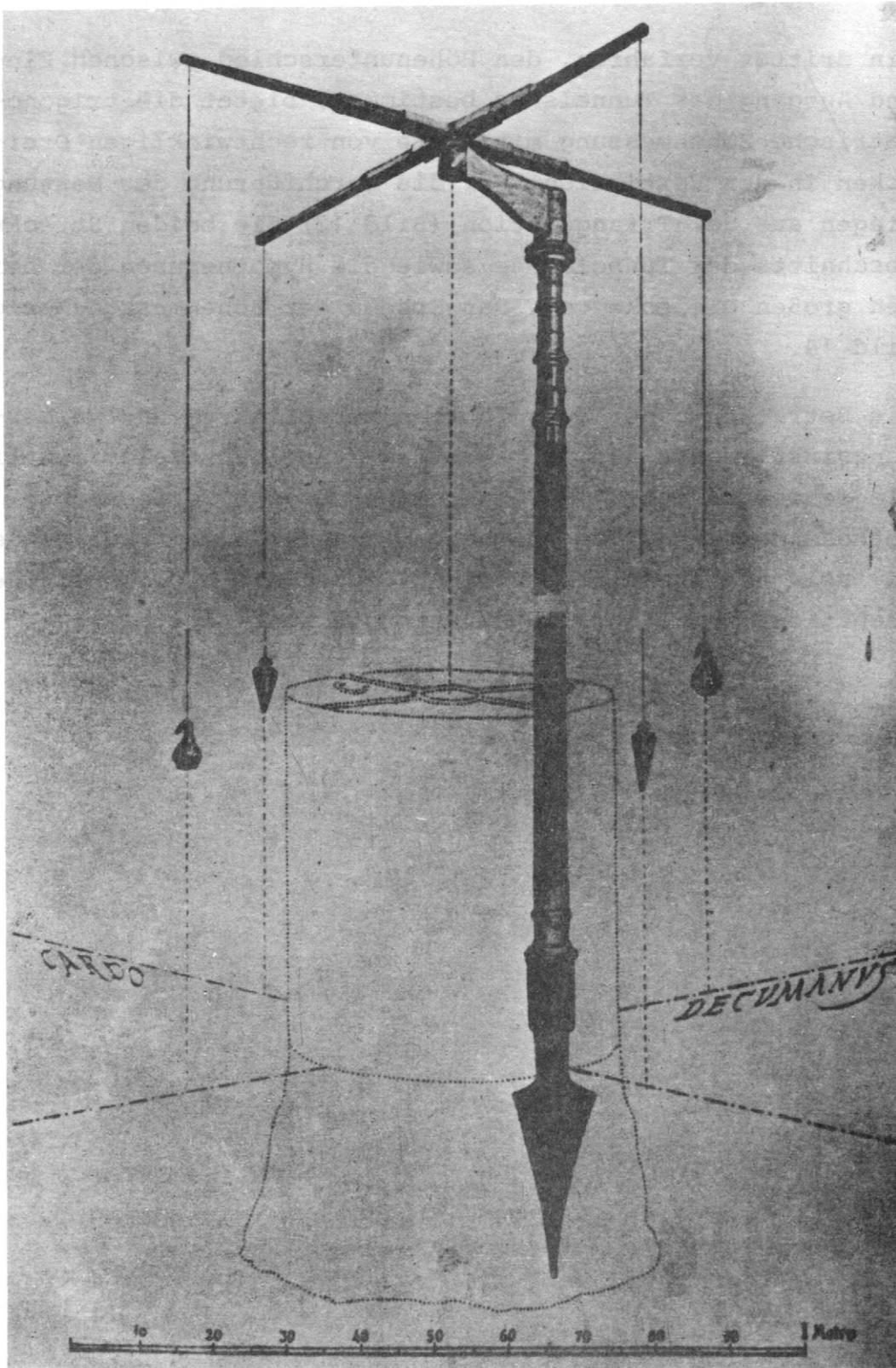


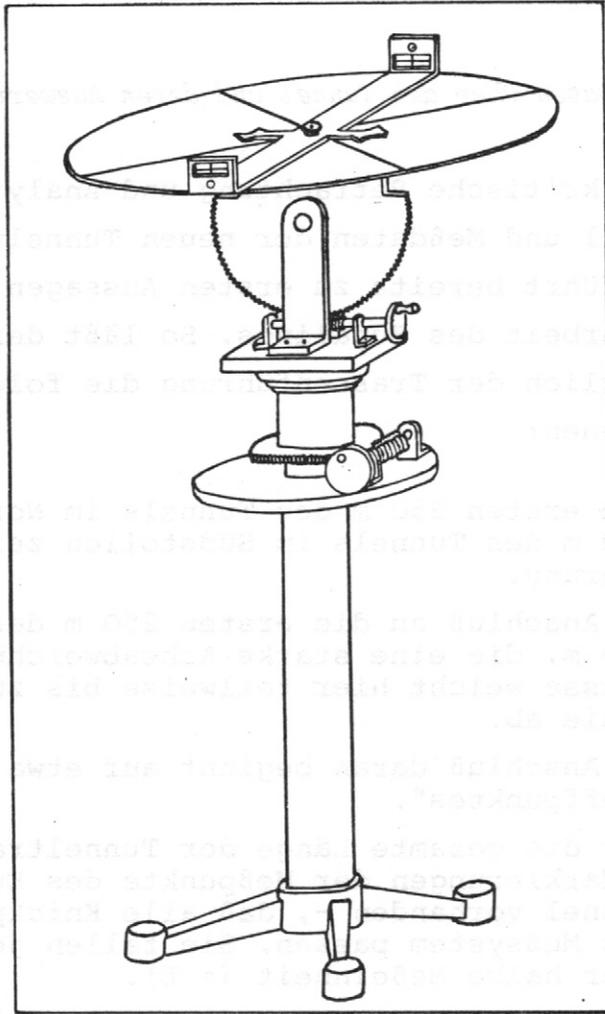
Bild 15:

Rekonstruktion der Groma aus Pompeji¹¹⁾

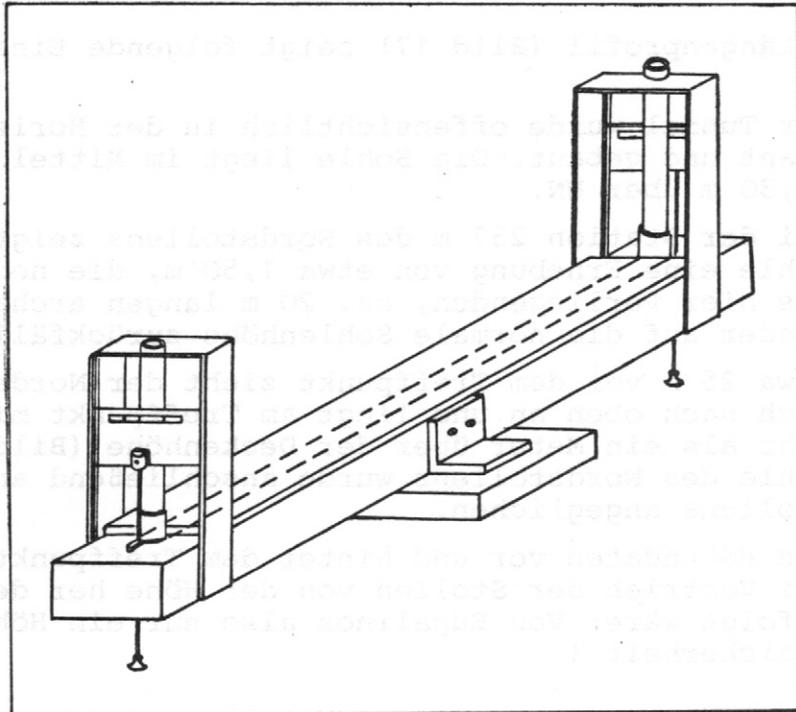
11) Peters, K.: Das Winkelkreuz der römischen Landmesser. In: Der Fluchtstab 1961, S. 129-134

Bild 16:

Die Dioptra des Heron
nach der Rekonstruktion
von H. Schöne



Nivellier-
aufsatz



Neue Daten über den Tunnel und deren Auswertung

Eine kritische Betrachtung und Analyse von Lageplan, Längenprofil und Meßdaten der neuen Tunnelvermessung durch das DAI führt bereits zu ersten Aussagen und Erkenntnissen über die Arbeit des Eupalinos. So läßt der Lageplan (Bild 1) bezüglich der Trassenführung die folgenden Besonderheiten erkennen:

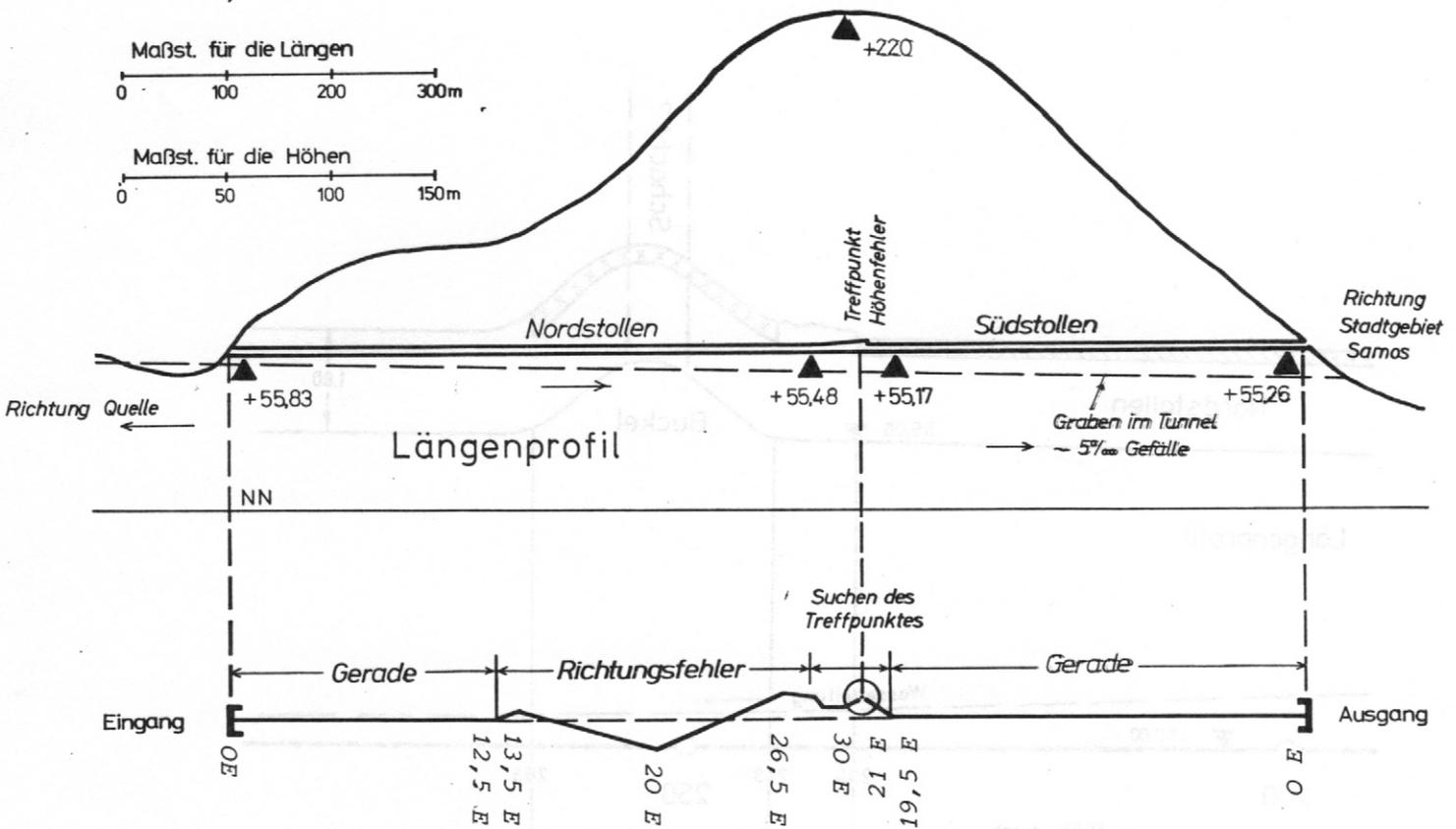
- Die ersten 250 m des Tunnels im Nord- sowie die ersten 400 m des Tunnels im Südstollen zeigen eine gerade Linienführung.
- Im Anschluß an die ersten 250 m des Nordstollens folgen 300 m, die eine starke Achsabweichung aufweisen. Die Trasse weicht hier teilweise bis zu 30 m von der Idealinie ab.
- Im Anschluß daran beginnt auf etwa 70 m das "Suchen des Treffpunktes".
- Für die gesamte Länge der Tunneltrasse zeigen Meßdaten - Markierungen der Meßpunkte des Eupalinos sind noch im Tunnel vorhanden -, daß alle Knickpunkte der Trasse in ein Meßsystem passen. Sie fallen jeweils auf eine volle oder halbe Meßeinheit (= E).
- Der Treffpunkt der beiden Stollen liegt nicht, wie eigentlich anzunehmen, in der Mitte des Tunnels, sondern 430 m vom Süd- und 620 m vom Nordeingang entfernt.

Das Längenprofil (Bild 17) zeigt folgende Einzelheiten:

- Der Tunnel wurde offensichtlich in der Horizontalen geplant und gebaut. Die Sohle liegt im Mittel auf etwa 55,30 m über NN.
- Bei der Station 257 m des Nordstollens zeigt die Tunnelsohle eine Erhebung von etwa 1,50 m, die noch innerhalb des hier vorliegenden, ca. 20 m langen archaischen Ausbaus wieder auf die normale Sohlenhöhe zurückfällt (Bild 18).
- Etwa 25 m vor dem Treffpunkt zieht der Nordstollen deutlich nach oben an und liegt am Treffpunkt mit der Sohle mehr als ein Meter über der Deckenhöhe (Bild 19). Die Sohle des Nordstollens wurde anschließend an die des Südstollens angeglichen.
- Die Höhendaten vor und hinter dem Treffpunkt zeigen, daß bei Vortrieb der Stollen von der Höhe her der Zusammenstoß erfolgt wäre: Von Eupalinos also nur ein Höhenfehler aus Unsicherheit !

Bild 17:

Längenprofil des Tunnels mit Grundriß und Tunnelmeßsystem



Tunnelmeßsystem: Von Eupalinos an der Tunnelwand angebracht.
 Heute noch vorhanden. Beweist den zweiseitigen Vortrieb des Tunnels.
 E = Tunnelmeßeinheit mit 20,62 m.
 Achslänge des Tunnels = $20,62 \times 50 = 1\ 031,00\ m$
 Baulänge des Tunnels = $20,62 \times 51 = 1\ 051,62\ m$
 Tiefe des Wasserleitungsgrabens im Tunnel:
 Am Nordeingang = 3,50 unter Tunnelsohle
 Am Südausgang = 8,50 unter Tunnelsohle

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der Tunnel auf jeden Fall nach einer exakten Planung und Vermessung abgesteckt und gebaut wurde. Ferner zeigen die systematischen Abweichungen von der Idealachse, das Suchen des Treffpunktes sowie das starke Ansteigen des Nordstollens auf den letzten 25 m vor dem Treffpunkt deutlich das Bestreben des Bau- meisters, den Treffpunkt möglichst risikolos zu erreichen.

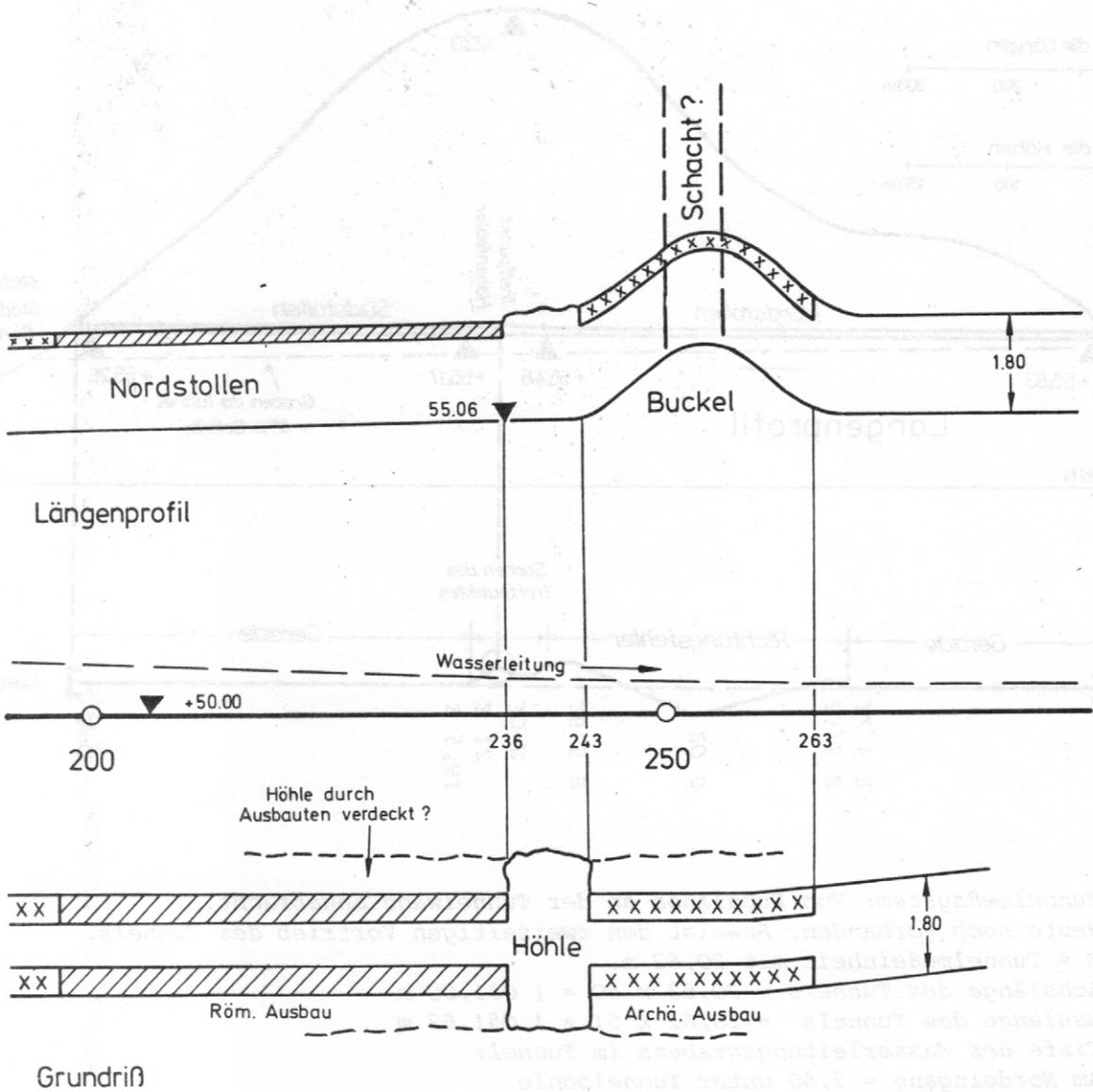


Bild 18:

Detailplan, Nordstollen bei Station 250 m

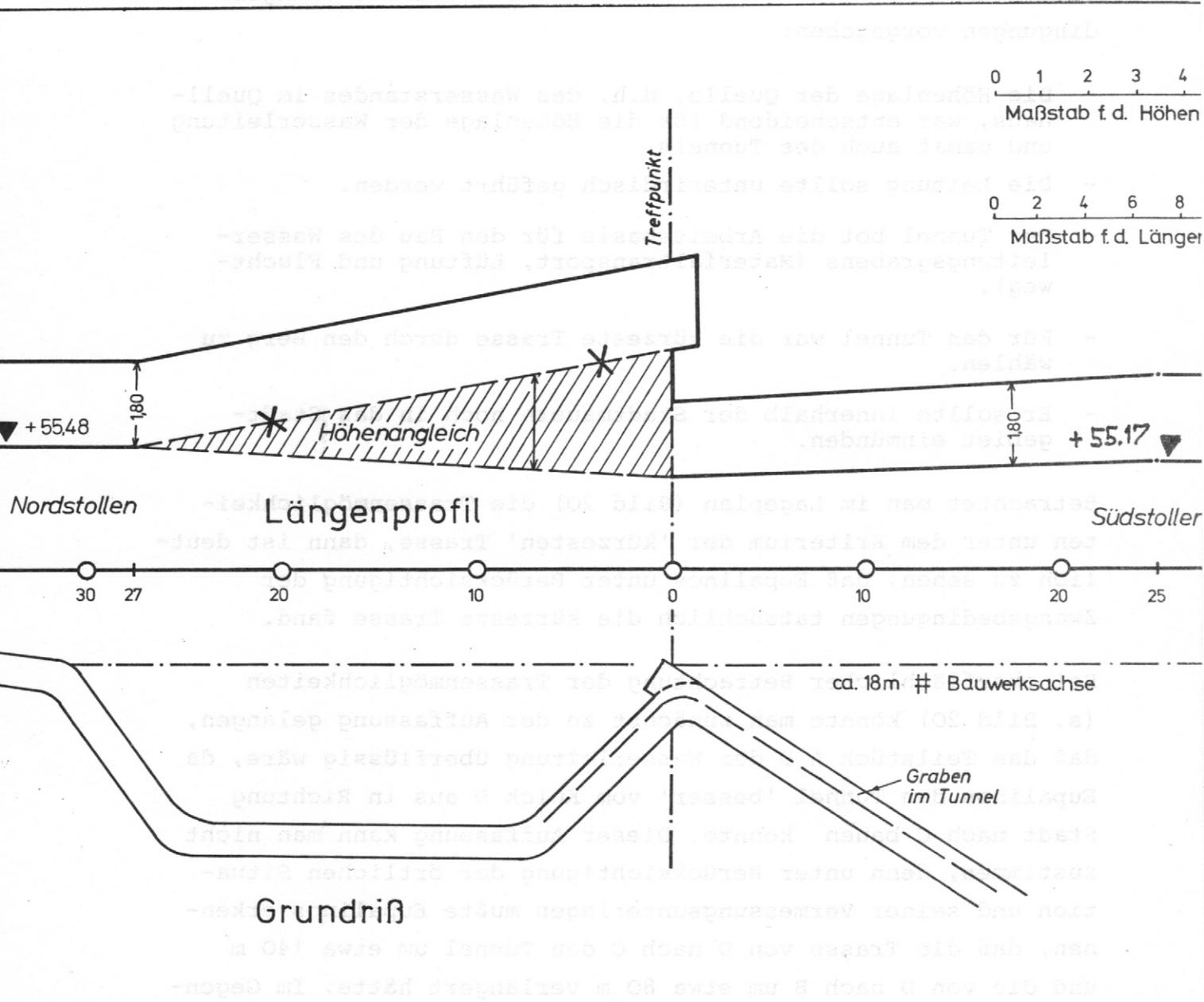


Bild 19:

Treffpunkt der Stollen nach Lage und Höhe.
Der Grundriß zeigt deutlich das Suchen des Treffpunktes. Das Längenprofil zeigt, daß bei Vortrieb der Stollen der Zusammenstoß erfolgt wäre. Von Eupalinos also nur ein Höhenfehler aus Unsicherheit ?
Vgl. S. 10: Beschreibung des Treffpunktes durch Fabricius.

Kritische Beurteilung der Planungsidee des Eupalinos

Zur Planung des Tunnels waren Eupalinos bestimmte Zwangsbedingungen vorgegeben:

- Die Höhenlage der Quelle, d.h. des Wasserstandes im Quellhaus, war entscheidend für die Höhenlage der Wasserleitung und damit auch des Tunnels.
- Die Leitung sollte unterirdisch geführt werden.
- Der Tunnel bot die Arbeitsbasis für den Bau des Wasserleitungsgrabens (Materialtransport, Lüftung und Fluchtweg).
- Für den Tunnel war die kürzeste Trasse durch den Berg zu wählen.
- Er sollte innerhalb der Stadtmauern hoch in das Stadtgebiet einmünden.

Betrachtet man im Lageplan (Bild 20) die Trassenmöglichkeiten unter dem Kriterium der 'kürzesten' Trasse, dann ist deutlich zu sehen, daß Eupalinos unter Berücksichtigung der Zwangsbedingungen tatsächlich die kürzeste Trasse fand.

Bei oberflächlicher Betrachtung der Trassenmöglichkeiten (s. Bild 20) könnte man zunächst zu der Auffassung gelangen, daß das Teilstück A D der Wasserleitung überflüssig wäre, da Eupalinos den Tunnel 'besser' vom Knick D aus in Richtung Stadt nach C bauen konnte. Dieser Auffassung kann man nicht zustimmen, denn unter Berücksichtigung der örtlichen Situation und seiner Vermessungsunterlagen mußte Eupalinos erkennen, daß die Trasse von D nach C den Tunnel um etwa 140 m und die von D nach B um etwa 80 m verlängert hätte. Im Gegensatz zum zeitraubenden Tunnelbau, wo vor Ort nur zwei bis drei Hauer arbeiten konnten, war die Leitungsstrecke D A dagegen mit vielen Arbeitskräften problemlos herzustellen. 12)

Im Fazit zur Trassenwahl des Eupalinos ist daher festzuhal-

12) Kienast vertritt zur Trassenwahl (3 S. 110) folgende Auffassung: "Die Trasse des Tunnels berücksichtigt eindeutig die absteckbare Fluchtlinie, was bei jeder anderen Vermessungsmethode überflüssig wäre. Völlig unverständlich wäre vor allem aber die letzte Schleife (Strecke AD) in der Zuleitung, die, wie sich herausgestellt hat, sehr viel Aufwand erforderte ..."

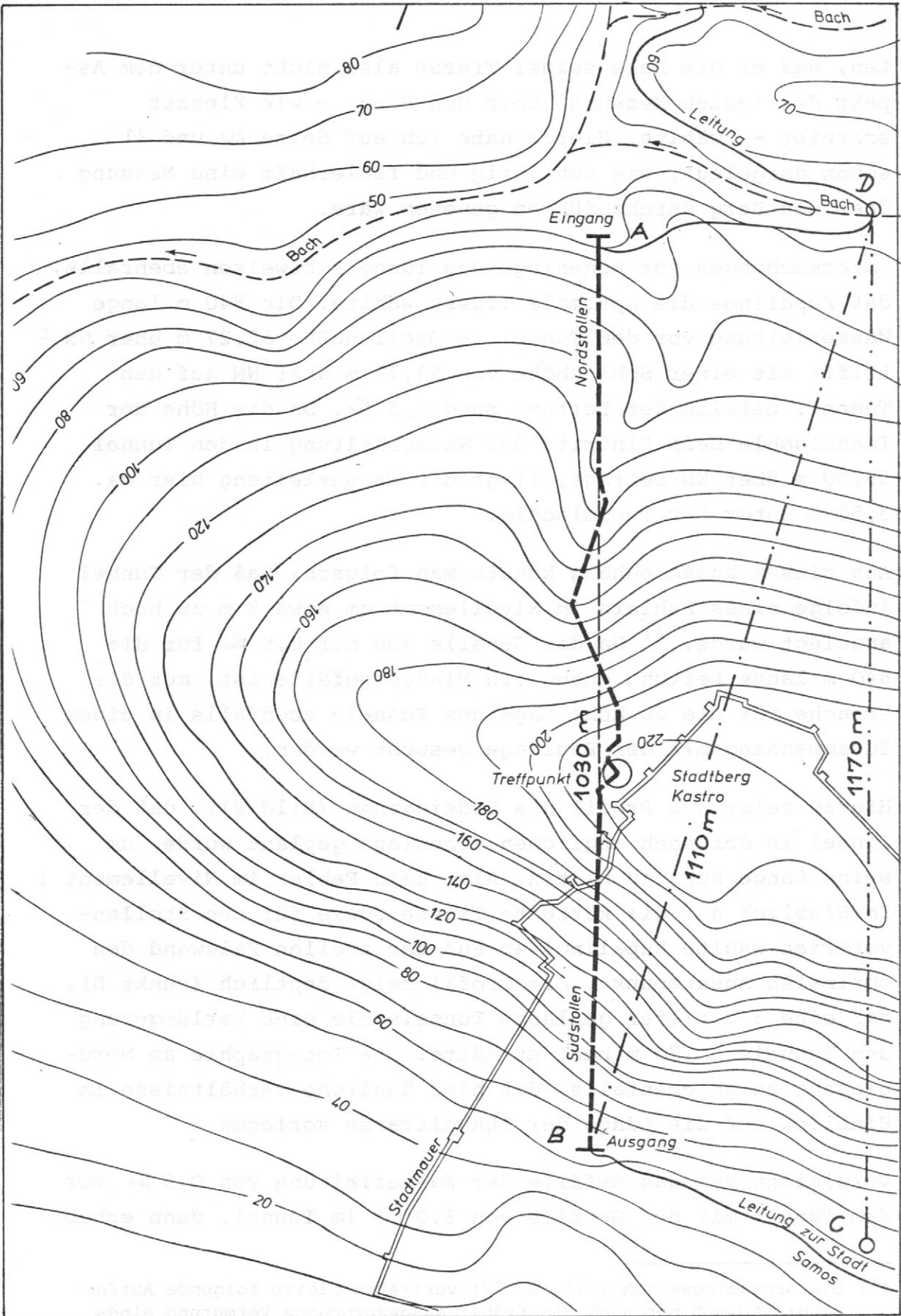


Bild 20:
Trassenmöglichkeiten für Eupalinos

ten, daß er die Lage seiner Trasse also nicht unter dem Aspekt der 'guten Messung' über den Berg - wie Kienast schreibt - wählte. Hierzu habe ich auf Seite 20 und 21 schon dargelegt, wie schwierig und fehlerhaft eine Messung über den Berg durchzuführen gewesen wäre.

Untersuchungen zur Höhenlage des Tunnels beweisen ebenfalls, daß Eupalinos die optimale Trasse wählte. Die 840 m lange Wasserleitung vor dem Tunnel - Quellenhöhe 52,27 m über NN - trifft mit einer Sohlenhöhe von 51,77 m über NN auf den Tunnel. Gefälle der Leitung rund 0,5 ‰. Da die Höhe der Tunnelsohle beim Eintritt der Wasserleitung in den Tunnel 55,30 m über NN beträgt, liegt die Wasserleitung hier ca. 3,50 m unter der Tunnelsohle.

Aus diesem Zusammenhang könnte man folgern, daß der Tunnel infolge eines Fehlers im Nivellement um etwa 3 m zu hoch angelegt wurde.¹³⁾ Da das Gefälle von nur 0,5 ‰ für die 840 m lange Leitung schon ein Mindestgefälle ist, muß die Ursache für die zu hohe Lage des Tunnels ebenfalls in einem Zusammenhang mit der Baulänge gesucht werden.

Hierzu zeigt das Profil des Südeingangs (Bild 21), daß der Tunnel in der noch möglichen Höhenlage geplant wurde, um seine Länge kurz zu halten. Also kein Fehler im Nivellement ! Im Hinblick auf die kürzeste Trasse sowie für den Stollen-vortrieb wählte Eupalinos am Fuß der steilen Felswand den optimalen Ansatzpunkt. Das Profil zeigt deutlich (Punkt D), daß eine 3 m tiefer geplante Tunnelsohle eine Verlängerung des Tunnels um 70 m bedingt hätte. Die Topographie am Nord-eingang zeigt ebenfalls, daß hier ähnliche Verhältnisse im Hinblick auf die Länge der Tunneltrasse vorlagen.

Vergleicht man das Gefälle der Wasserleitung von 0,5 ‰ vor dem Tunnel mit dem Gefälle von 5,0 ‰ im Tunnel, dann erhebt

13) Die Archäologen (AA 1975, S. 22) vertreten hierzu folgende Auffassung: "Damit hat sich die früher ausgesprochene Vermutung eines Meßfehlers bei der Erbauung bestätigt. Korrigiert werden muß jedoch die Vorstellung, daß der Fehler erst beim Bau der Zuleitung auftrat. Vielmehr wurde der gesamte Stollen von vornherein um etwa 3 m zu hoch angelegt."

sich zwangsläufig die Frage, warum Eupalinos für den gesamten Abschnitt kein durchgehendes Gefälle von rund 3,0 ‰ wählte. Eine Frage, deren Beantwortung offen bleibt, wenn Eupalinos die Anlage von Beginn an plante.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß Eupalinos auch aus heutiger Sicht eine optimale Trassenführung fand. An der Höhenlinie 55 m über NN sieht man im Lageplan, daß er die kürzeste Trasse fand, die noch innerhalb der Stadtmauer in das Stadtgebiet einmündet.

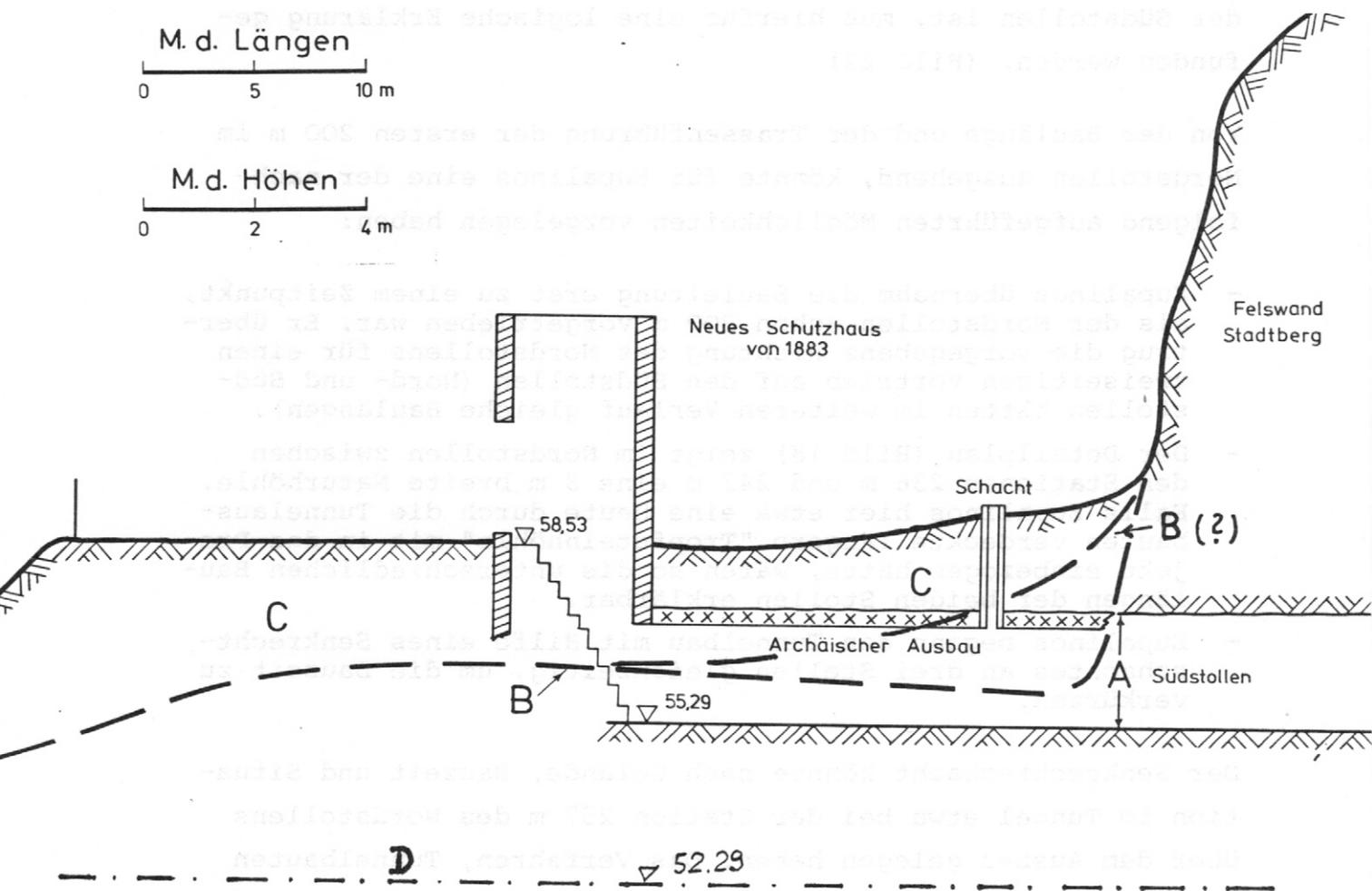


Bild 21:

Längenprofil durch den Südausgang des Tunnels

- A = Ansatzpunkt für den Tunnelvortrieb in der Felswand
- B = Gelände vor Baubeginn
- C = Anschüttung mit Aushub aus dem Südstollen
- D = Eine um 3 m tiefer geplante Tunnelsohle hätte den Tunnel um 70 m verlängert

Warum ist der Nordstollen 200 m länger als der Südstollen ?

Zur Rekonstruktion der Planungen ist die bereits festgestellte Besonderheit (s. Seite 28) interessant, daß der Treffpunkt der beiden Stollen nicht in der Tunnelmitte liegt. Diese Tatsache ist nicht auf weiches Gestein und damit schnellere Vortriebsmöglichkeit im Nordstollen zurückzuführen. Nach den bisherigen Veröffentlichungen steht in beiden Stollen unter dem Berg Kalkstein gleicher Härte an. Das bedingt beim zweiseitigen Tunnelvortrieb an sich auch gleiche Baulängen. Da der Nordstollen jedoch etwa 200 m länger als der Südstollen ist, muß hierfür eine logische Erklärung gefunden werden. (Bild 22)

Von der Baulänge und der Trassenführung der ersten 200 m im Nordstollen ausgehend, könnte für Eupalinos eine der nachfolgend aufgeführten Möglichkeiten vorgelegen haben:

- Eupalinos übernahm die Bauleitung erst zu einem Zeitpunkt, als der Nordstollen schon 200 m vorgetrieben war. Er übertrug die vorgegebene Richtung des Nordstollens für einen zweiseitigen Vortrieb auf den Südstollen (Nord- und Südstollen hätten im weiteren Verlauf gleiche Baulängen).
- Der Detailplan (Bild 18) zeigt im Nordstollen zwischen den Stationen 236 m und 243 m eine 3 m breite Naturhöhle. Falls Eupalinos hier etwa eine heute durch die Tunnelbauten verdeckte längere "Tropfsteinhöhle" mit in das Projekt einbezogen hätte, wären so die unterschiedlichen Baulängen der beiden Stollen erklärbar.
- Eupalinos begann den Tunnelbau mit Hilfe eines Senkrechtschachtes an drei Stellen gleichzeitig, um die Bauzeit zu verkürzen.

Der Senkrechtschacht könnte nach Gelände, Bauzeit und Situation im Tunnel etwa bei der Station 257 m des Nordstollens über dem Ausbau gelegen haben. Das Verfahren, Tunnelbauten durch Senkrechtschächte schneller voranzutreiben, war in der Antike bekannt und wurde nachweisbar bei mehreren Tunnelbauten ausgeführt.¹⁴⁾ Auch im letzten Teilstück der Wasserleitung vor dem Tunnelleingang wurde mit Hilfe von bis zu 15 m

14) Peters, K.: Tunnelbau und Tunnelabsteckung in der Antike. In: Der Fluchtstab 1964, S. 129-137

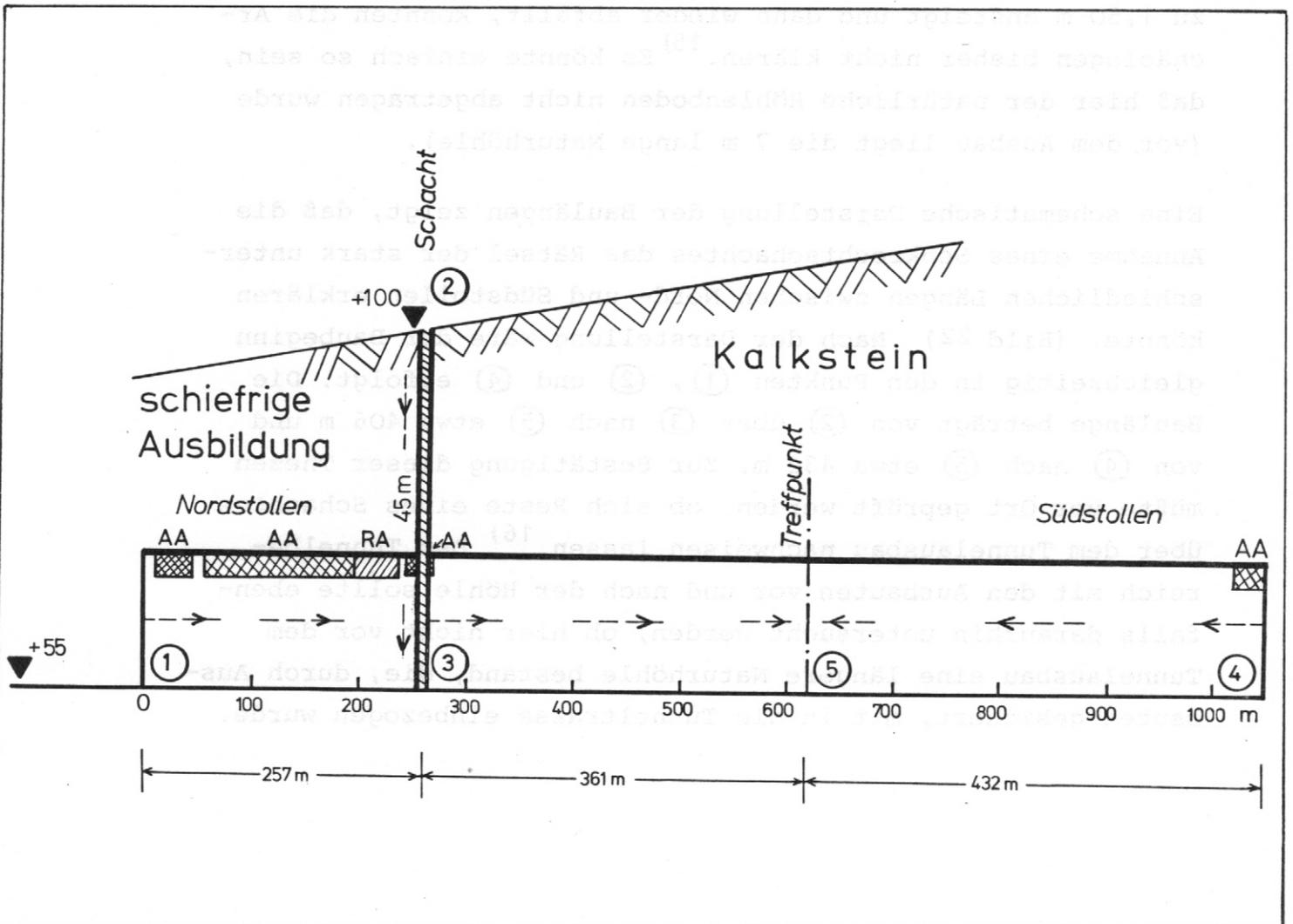


Bild 22:

Schematische Darstellung der Baulängen bei Vortrieb der Stollen mit Hilfe eines Senkrechtschachtes. (s. hierzu auch Bild 18)

tiefen Senkrechtschächten gebaut. Warum die Tunnelsohle in dem 20 m langen ausgebauten Teilstück (Bild 18) zunächst bis zu 1,50 m ansteigt und dann wieder abfällt, konnten die Archäologen bisher nicht klären.¹⁵⁾ Es könnte einfach so sein, daß hier der natürliche Höhlenboden nicht abgetragen wurde (vor dem Ausbau liegt die 7 m lange Naturhöhle).

Eine schematische Darstellung der Baulängen zeigt, daß die Annahme eines Senkrechtschachtes das Rätsel der stark unterschiedlichen Längen zwischen Nord- und Südstollen erklären könnte. (Bild 22) Nach der Darstellung wäre der Baubeginn gleichzeitig in den Punkten ①, ② und ④ erfolgt. Die Baulänge beträgt von ② über ③ nach ⑤ etwa 406 m und von ④ nach ⑤ etwa 432 m. Zur Bestätigung dieser Thesen müßte vor Ort geprüft werden, ob sich Reste eines Schachtes über dem Tunnelausbau nachweisen lassen.¹⁶⁾ Der Tunnelbereich mit den Ausbauten vor und nach der Höhle sollte ebenfalls daraufhin untersucht werden, ob hier nicht vor dem Tunnelausbau eine längere Naturhöhle bestand, die, durch Ausbauten gesichert, mit in die Tunneltrasse einbezogen wurde.

15) AA, Samos 1972, S. 403

16) In einer Luftbildaufnahme könnte ggf. ein Schacht im Bereich des hier genannten Geländeabschnitts nachgewiesen werden.

Das Längenmeßsystem im Tunnel

Bei der Erforschung des Tunnels wurden Meßmarkierungen entdeckt, die mit Rötelfarbe an den Tunnelwänden angebracht waren. Die Auswertung der Markierungen zeigt, daß sie Meßsysteme darstellen, die für Lage- und Höhenmessungen angebracht wurden. Ein Längenmeßsystem, an der Westwand des Tunnels markiert, ist dabei von besonderer Bedeutung.

"Auch hier sind die Abstände mit einem dicken senkrechten Strich markiert, der Zählbuchstabe ist wahlweise rechts oder links unmittelbar daneben aufgetragen; die durchschnittliche Distanz der Striche beträgt 20,60 m. Als einziges weist dieses Meßsystem zwei Nullpunkte auf - einen beim Südeingang, den anderen beim Nord- eingang - und mißt jeweils von außen nach innen."¹⁷⁾

Insgesamt sind für dieses System noch 27 Markierungen im Tunnel erkennbar. Danach ist der Anfang- und der Endpunkt der antiken Messung genau zu rekonstruieren. Der Treffpunkt der Stollen sowie alle Knickpunkte der Trasse liegen bei einer vollen (20,60 m) oder halben Meßeinheit. Dabei liegt der Treffpunkt von Süden aus bei der Einheit 21 und von Norden aus bei der Einheit 30.

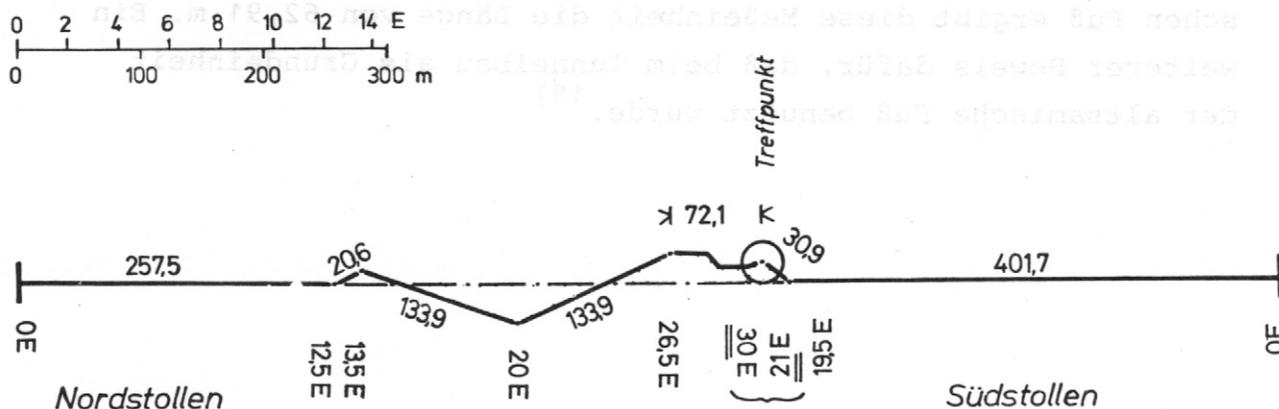


Bild 23:

Meßsystem im Tunnel

17) Architectura (3), S. 112

Für den Tunnel mit seinen Abknickungen ergibt dies eine Baulänge von 51 Einheiten. Die Länge der Idealtrasse vom Ein- zum Ausgang des Tunnels beträgt 50 Einheiten. Das Meßsystem beweist, daß der Tunnel mindestens zweiseitig und nach einem durchdachten Plan gebaut wurde.

Zur Problematik und Entstehung des Meßsystems bietet sich folgende Lösung an: Im Ergebnis der Messung um oder über den Berg war die errechnete oder gemessene Länge der Tunnelachse in altsamischen Fuß vorgegeben. Eupalinos teilte die Länge der Tunnelachse in 50 Einheiten. Mit Hilfe der Markierungen und Messungen im Tunnel wurde die Länge einer Meßeinheit (E) zu 20,60 m ermittelt. Danach errechnet sich die Achslänge des Tunnels im Metersystem zu $50 \times 20,60 = 1030$ m oder rund 2950 altsamische Fuß. $2950 : 50$ ergeben für eine Meßeinheit 59 altsamische Fuß. Eine Meßeinheit errechnete sich im Metersystem mit $59 \times 0,3495 = 20,62$ m. Die mathematisch einwandfreie Länge der Tunnelachse ergibt sich somit aus $20,62 \times 50 = 1031$ m. Der altsamische Fuß mit 0,3495 bildet die Grundeinheit für das Meßsystem im Tunnel.

Außer diesem Meßsystem zeigen weitere Markierungen im Tunnel eine Meßeinheit von 62,95 m. Für die Länge von 180 altsamischen Fuß ergibt diese Meßeinheit die Länge von 62,91 m. Ein weiterer Beweis dafür, daß beim Tunnelbau als Grundeinheit der altsamische Fuß benutzt wurde.¹⁸⁾



18)s. 5 Seite 53. Auch beim Bau des Rhoikos-Tempels auf Samos wurde der altsamische Fuß (Länge = 0,3495 m) benutzt, denn 300 Fuß entsprechen 104,85 m = Länge des Tempels.

Die Richtungsabweichungen im Tunnel

In dem Film "Wasser für Polykrates" wurden die Fernsehzuschauer angesprochen, an der Lösung eines Rätsels mitzuwirken, für das die Archäologen bisher keine befriedigende Lösung fanden. Das Problem besteht darin, daß der Tunnel in seinem mittleren Teil in einem Zick-Zack-Kurs bis zu 30 m aus der Achsrichtung abweicht.

Betrachtet man im Lageplan (Bild 1 und 23) die Richtungsabweichungen, die bis zum 'Suchen des Treffpunktes' die Form eines gestreckten Polygonzuges aufweisen und dessen Knickpunkte genau auf eine volle oder halbe Einheit des Meßsystems fallen, dann ist daraus zu ersehen, daß die Richtungsabweichungen nicht planlos erfolgten. Ferner ist zu erkennen, daß die Abweichungen im Bereich des archaischen Ausbaus bei etwa 250 m ansetzen. Die Trasse des Nordstollens zeigt vom Tunneleingang bis zur Station 250 m eine in etwa gerade Linienführung. Aus diesem Abschnitt war jedoch, bedingt durch seine Ausbauten sowie dem 'Buckel' in der Höhenlage bei 250 m (Bild 18), die Verlängerung der Flucht für den weiteren Stollenvortrieb nur schwer durchzuführen. Auch bei einem dreiseitigen Vortrieb des Tunnels mit Hilfe eines Senkrechtschachtes bei der Station 257 m (Bild 22) im Nordstollen ist die Möglichkeit eines Richtungsfehlers gegeben, da auf einer kurzen Strecke (Schachtbreite) die Richtungsübertragung von der Geländeoberfläche auf die Schachtsohle für den weiteren Vortrieb des Tunnels erfolgen mußte.

Sowohl das ungenaue Fluchten aus dem Nordstollen als auch die Richtungsübertragung auf die Schachtsohle können Ursache dafür sein, daß der weitere Vortrieb bis zum Knickpunkt bei 20 E fehlerhaft erfolgte.¹⁹⁾

19) Dieses Problem stand auch im Südstollen an, denn bei der Station 200 m weicht der Stollen bis zu 1,8 m aus der Achse. Dieser Fehler wurde korrigiert, indem an der Wand des Tunnels der Fels soweit herausgehauen wurde, daß der Stollen für den weiteren Vortrieb wieder gut zu fluchten war.

Die Richtungsabweichungen im Tunnel

In dem Film "Wasser für Polykrates" wurden die Fernsehzuschauer angesprochen, an der Lösung eines Rätsels mitzuwirken, für das die Archäologen bisher keine befriedigende Lösung fanden. Das Problem besteht darin, daß der Tunnel in seinem mittleren Teil in einem Zick-Zack-Kurs bis zu 30 m aus der Achsrichtung abweicht.

Betrachtet man im Lageplan (Bild 1 und 23) die Richtungsabweichungen, die bis zum 'Suchen des Treffpunktes' die Form eines gestreckten Polygonzuges aufweisen und dessen Knickpunkte genau auf eine volle oder halbe Einheit des Meßsystems fallen, dann ist daraus zu ersehen, daß die Richtungsabweichungen nicht planlos erfolgten. Ferner ist zu erkennen, daß die Abweichungen im Bereich des archaischen Ausbaus bei etwa 250 m ansetzen. Die Trasse des Nordstollens zeigt vom Tunneleingang bis zur Station 250 m eine in etwa gerade Linienführung. Aus diesem Abschnitt war jedoch, bedingt durch seine Ausbauten sowie dem 'Buckel' in der Höhenlage bei 250 m (Bild 18), die Verlängerung der Flucht für den weiteren Stollenvortrieb nur schwer durchzuführen. Auch bei einem dreiseitigen Vortrieb des Tunnels mit Hilfe eines Senkrechtschachtes bei der Station 257 m (Bild 22) im Nordstollen ist die Möglichkeit eines Richtungsfehlers gegeben, da auf einer kurzen Strecke (Schachtbreite) die Richtungsübertragung von der Geländeoberfläche auf die Schachtsohle für den weiteren Vortrieb des Tunnels erfolgen mußte.

Sowohl das ungenaue Fluchten aus dem Nordstollen als auch die Richtungsübertragung auf die Schachtsohle können Ursache dafür sein, daß der weitere Vortrieb bis zum Knickpunkt bei 20 E fehlerhaft erfolgte.¹⁹⁾

19) Dieses Problem stand auch im Südstollen an, denn bei der Station 200 m weicht der Stollen bis zu 1,8 m aus der Achse. Dieser Fehler wurde korrigiert, indem an der Wand des Tunnels der Fels soweit herausgehauen wurde, daß der Stollen für den weiteren Vortrieb wieder gut zu fluchten war.

Eupalinos stellte den Fehler im Nordstollen bei Nachmessungen fest und setzte dann eine Korrektur der Richtung mit dem entsprechenden Richtungswinkel und der Länge von 6,5 E bis zum Knickpunkt 26,5 E an. Von hier verläuft die Trasse dann mit 1,5 E fast parallel zur Achse. Im Anschluß daran beginnt das Suchen des Treffpunktes mit Hilfe von Klopffzeichen.²⁰⁾

Eine zweite Erklärung für die Richtungsabweichungen besteht darin, daß sie aus Sicherheitsgründen von vornherein eingeplant wurden, um den gleichzeitig vordringenden Südstollen auf keinen Fall zu verpassen.²¹⁾ Ursache für diese Art der Trassenführung dürfte der Unsicherheitsfaktor sein, den eine Achsabweichung im allgemeinen sowie die Richtungsübertragung durch einen Schacht in sich birgt. Eupalinos mag wohl erkannt haben, daß ein direkter Durchschlag der beiden Stollen im geraden Vortrieb nur schwer zu erreichen war, da erhebliche Fehler bei der Festlegung und Absteckung der Tunnelachse möglich waren.

Der Plan des Tunnels (Bild 24A) liefert den Beweis dafür, daß Eupalinos mit seinen fehlerkritischen Überlegungen Recht hatte. Beim exakten geraden Vortrieb der beiden Stollen hätte Samos zwei Tunnel besessen. Eupalinos hätte bei geradem Vortrieb die Verbindung zwischen den beiden Stollen auch durch einen Querstollen suchen können. Dieses Verfahren wandte einige Jahrhunderte später der römische Baumeister Nonius Datus beim Tunnelbau in Saldäe an.²²⁾ Eupalinos hätte das Suchen des Treffpunktes mit zwei Querstollen durchführen müssen, da er, von einem Stollen aus betrachtet, nicht wußte, ob der zweite Stollen links oder rechts vorbeiführte. Diese technisch wohl mögliche Lösung wäre jedoch optisch schlecht gewesen, da der Auftraggeber und alle am Bau Beteiligten vor Ort gesehen hätten, daß der Baumeister seinen eigenen Trassenverlauf nicht genau kannte.

20) s. 14 S. 131 ff.

21) Peters, K.: Neues zur Vermessungsgeschichte des Tunnels auf Samos. Der Vermessungsingenieur 1979, S. 87-93

22) s. 14 S. 136

Wie die Planunterlagen zeigen, hat sich Eupalinos für die Trassenabweichung in Form eines gestreckten Polygonzuges entschieden. Durch Kreuzen der Achse blieb Eupalinos mit diesem System immer im Achsenbereich. Da Eupalinos diesen Vorgang zeichnerisch festlegte und beim Vortrieb kontrollierte, wußte er stets, auf welcher Seite der Achse sich der Vortrieb befand. Er konnte daher die Richtungsabweichung im Südstollen zum Treffpunkt hin zumindest richtungsmäßig gut ansetzen. Wie bereits Kastenbein vermutet und wie auch bei der Siloahwasserleitung in Jerusalem angewandt, werden bei den letzten Metern vor dem Zusammenstoß auch Klopffzeichen das Suchen nach dem Treffpunkt mitbestimmt haben.²³⁾ Im Nordstollen setzte Eupalinos den Beginn der Richtungsabweichungen folgerichtig an dem durch Senkrechtschacht bzw. Höhle vorgegebenen Punkt bei der Station 257 an.

Zusammenfassend ist zu den Achsabweichungen festzustellen, daß sie durchgeführt wurden, um einen beim Tunnelvortrieb entstandenen Richtungsfehler - wie auch im Südstollen - zu korrigieren oder aber von vornherein aus Sicherheitsgründen eingeplant wurden, um den Zusammenstoß der Stollen risikolos zu erreichen. Welche der beiden Möglichkeiten vorlag, kann mit Sicherheit nicht gesagt werden.

23) s. 14 S. 132

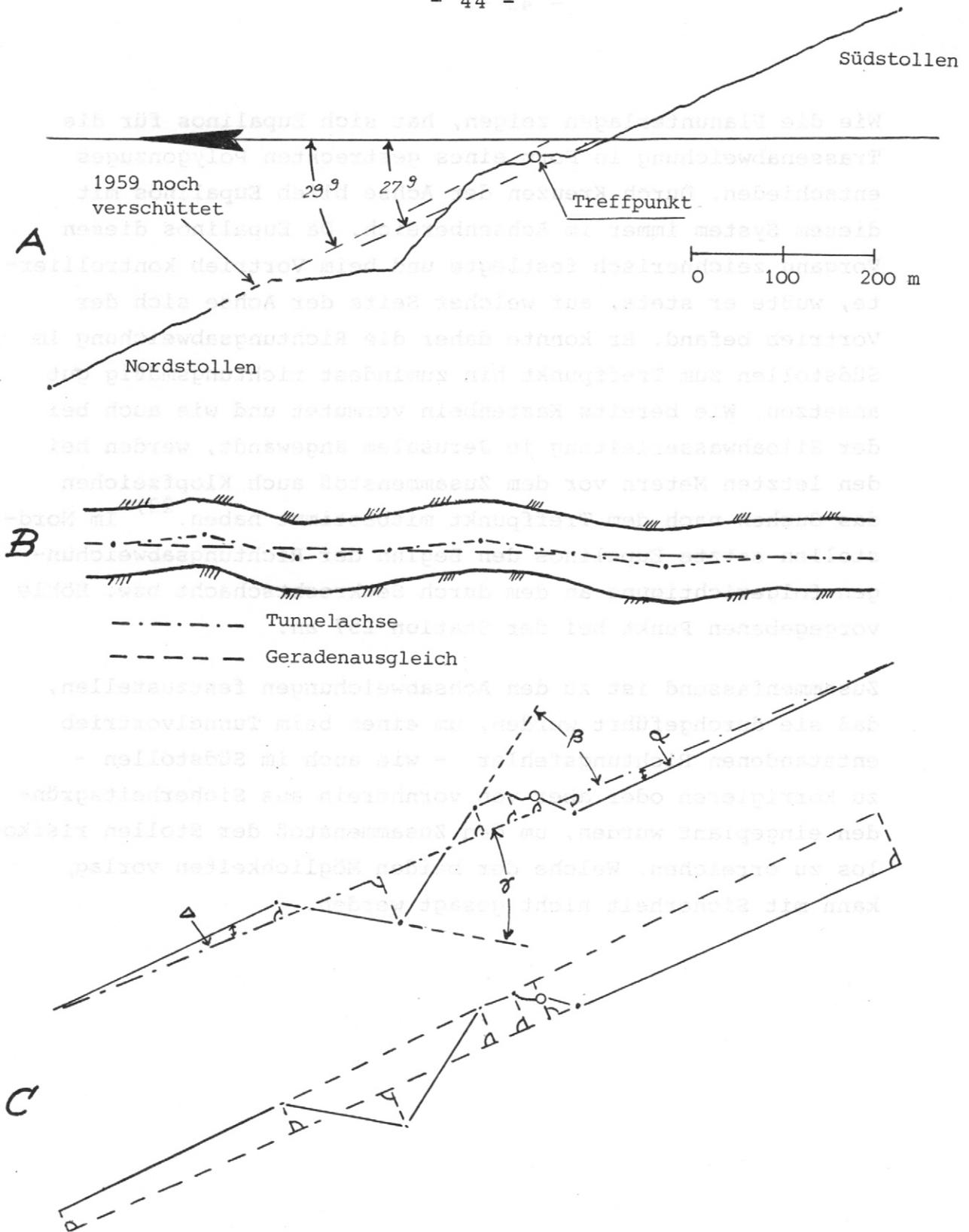


Bild 24:

Lage und Richtung der Tunnelachsen

- A = Tunnelachse nach der Aufmessung von 1959
- B = Schematische Darstellung eines Geradenausgleichs
- C = Beispiele für Umformungen

Betrachtungen zur Lage und Richtung der Stollenachsen

Der Lageplan (Bild 24 A) nach der Aufnahme von 1959 zeigt, daß der Richtungsunterschied zwischen Nord- und Südstollen etwa 2° beträgt. Im Gegensatz dazu zeigt der Gesamtplan (Bild 1) für die Lage der Stollen zueinander eine völlig andere Situation. Eine dritte Version zur Stollenlage liegt von Kienast vor. Er schreibt: "Auch hier (im Nordstollen) haben wir zunächst auf etwa 200 m eine tadellose Gerade, die übrigens bei Verlängerung genau auf den Südstollen träfe."²⁴⁾ Aber bei welcher Längestation?

Die vorhergehend aufgeführten Darlegungen zur Lage und Richtung der Stollenachsen zeigen, daß hier Probleme offenstehen, die eine kritische Untersuchung und Prüfung verlangen. Mit Hilfe der aus der Neuvermessung vorliegenden Daten - Koordinaten der Stollenachsen - lassen sich diese Untersuchungen einwandfrei durchführen, da die ersten 250 m im Nordstollen sowie die ersten 400 m im Südstollen eine leicht schlangenförmig gebaute Gerade bilden.

Zur Ermittlung der mathematischen Stollengeraden ist zunächst ein Geradeausgleich mit Hilfe der Koordinaten (Bild 24 B) durchzuführen. Extrem aus der Richtung fallende Achspunkte bleiben in einem zweiten Rechengang unberücksichtigt. Ein Ausgleich der beiden kurzen Geraden im Bereich der Richtungsabweichungen bietet ferner die Möglichkeit, auch Untersuchungen über die Größe der Richtungswinkel durchzuführen.²⁵⁾

Durch den Ausgleich der Geraden ist die Voraussetzung geschaffen, mit Hilfe von Koordinatenumformungen (Bild 24 C) folgende Untersuchungen und Berechnungen durchzuführen:

24) s. 3 S. 109

25) Der Geradenausgleich ist ein Verfahren, das im Eisenbahnbau zur Richtungskorrektur der Gleise angewandt wird. Das Verfahren habe ich Kienast in einem Brief sowie in einem Gespräch auf Samos dargestellt.

- Lage der Stollenachsen zueinander
- Lage der Richtungen zur Planungsachse
- Abstand der Stollen - bei geradem Vortrieb - zum Treffpunkt
- Größenvergleich der Richtungswinkel
- Hätte man in Samos bei geradem Vortrieb der Stollen zwei Tunnels erhalten ?

Die hier aufgezeigten und angeregten Untersuchungen bilden einen wesentlichen Bestandteil der Erforschung des Tunnels. Sie bieten die Möglichkeit, wenigstens einige exakte Aussagen zum Tunnel und damit zur Arbeit des Eupalinos zu geben.

Vermessungsarbeiten für den Vortrieb der Tunnelstollen

Für den Vortrieb der beiden Tunnelstollen mußten deren Richtung und Höhe in den Berg übertragen und fortlaufend überprüft werden. Die beiden Hilfsdreiecke (Bild 10) für die Absteckung der Tunnelachse lagen aus dem Orthogonalpolygon vor.²⁶⁾ Die eigentliche Übertragung der Achsrichtungen in den Berg konnte sicherlich durch einfaches Fluchten erfolgen. Im Tunnel bestand bei den beschränkten Beleuchtungsverhältnissen die Möglichkeit, das Fluchten mit Hilfe von hängenden Öllampen durchzuführen.

Ein zweites Verfahren der Achsübertragung wäre nach Kienast²⁷⁾ die Achsverlängerung auf den einfallenden Lichtstrahl des Tageslichts beim Stolleneingang, das sich mit wachsender Länge einer Tunnelröhre immer besser ausführen ließe.

Eine weitere Aufgabe war die Absteckung der wechselnden Richtungen im Nordstollen im Bereich zwischen 250 und 550 m. Hierzu mußte in den Knickpunkten jeweils der aus den Planunterlagen ermittelte Winkel abgesetzt werden.²⁸⁾ Dieser Vorgang ließ sich mit Hilfe eines Winkelmessers (s. Dioptra, S. 27) oder eines "Richtscheites", das die Form eines gleichschenkligen Dreiecks hatte, ausführen.²⁹⁾ Die Konstruktionsmaße des Dreiecks lagen aus der Planung vor. Für die Richtungsübertragung der Winkel im Stollen wird der eine Dreiecksschenkel an die bestehende Richtung angelegt; der zweite Schenkel gibt dann die neue Richtung an. Wie Bild 25 zeigt, kann auch für eine Auf- oder Kontrollmessung im Stollen ein entsprechendes Dreieck gemessen oder gefertigt werden.

26) Bei Absteckung der Achse über den Berg konnte die Richtungsübertragung in den Tunnelstollen direkt aus der Verlängerung der Achse erfolgen.

27) s. 3 , S. 108

28) Auch bei einer Korrektur der Richtung durch Eupalinos (s. S. 42) mußte ähnlich verfahren werden.

29) s. hierzu Theodoros von Samos,

Die Übertragung und Kontrolle der Sohlenhöhen im Tunnel war problemlos mit Setzwaage, Nivellierlatte und Öllampen durchzuführen.

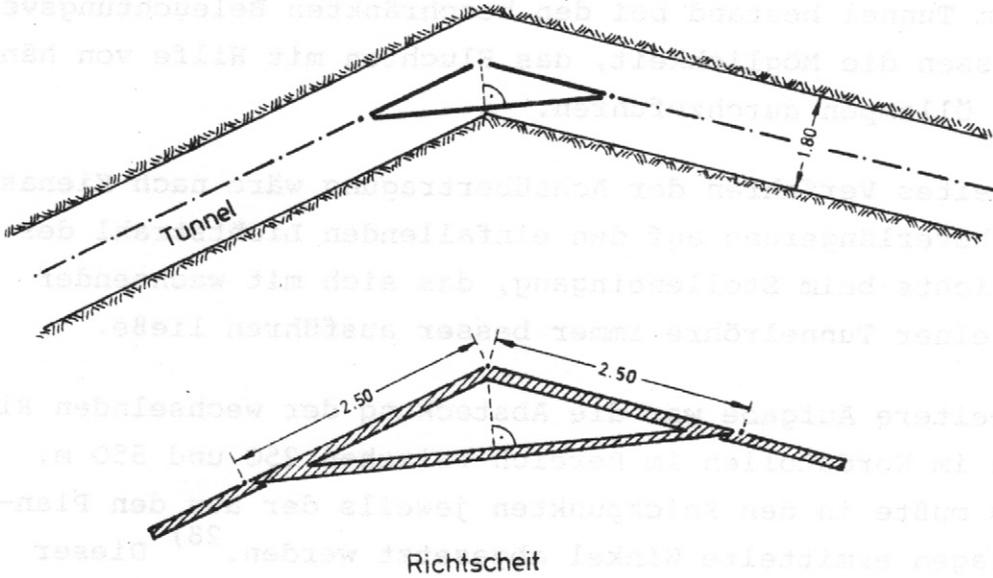


Bild 25:

Aufmessung und Absteckung der Winkel im Tunnel mit Hilfe eines "Richtscheites"

Daten zur Bau- und Entdeckungsgeschichte des Tunnels

- 537-522 v.Chr. Regierungszeit des Tyrannen Polykrates auf Samos.
Eupalinos baut den Tunnel.
Archäologische Funde belegen, daß der Tunnel im dritten Viertel des 6. Jahrhunderts v.Chr. gebaut wurde.
- um 450 v.Chr. Herodot berichtet über den Tunnel (III.60)
- bis 500 n.Chr. Man kann annehmen, daß der Tunnel etwa 1000 Jahre in Betrieb war.
Instandhaltungsarbeiten aus archaischer Zeit, Ausbauten der Römer im Tunnel sowie entsprechende Funde beweisen diesen Sachverhalt.
Funde belegen ebenfalls, daß der Tunnel noch bis ins 7. Jahrhundert n.Chr. den Bewohnern von Samos als Fluchtversteck bei feindlichen Angriffen diente.
- 1853 Victor Guérin entdeckt durch Hinweis aus der Bevölkerung das Quellhaus bei Agiades und damit den Anfang der Wasserleitung, die er auf etwa 400 m Länge verfolgt.
- 1881 Der Hegemon der Insel Samos, Konstantinos Adosidis, versucht, das Wasser der Quelle wieder der Stadt zuzuleiten. Bauleitung der Arbeiten durch die Mönche der umliegenden Klöster. Auffinden des verschütteten Nord- und Südeingangs. Die Arbeiten werden aus Geldmangel eingestellt.
- 1882 Der Archäologe Ernst Fabricius erforscht den Tunnel und führt erste Vermessungen durch. Seine Berichte und Zeichnungen über den Tunnel machen ihn der Wissenschaft zugänglich.
- 1959 Der Markscheider Wolfgang Kastenbein trianguliert vom Nord- und Südeingang über den Stadtberg und führt unter schwierigsten Bedingungen erstmals die Aufnahme des Tunnels nach Lage und Höhe durch. Der Zusammenhang zwischen beiden Stollen kann wegen einer Einbruchstelle im Nordstollen nur indirekt hergestellt werden. Seine Daten zeigen zwangsläufig nur den vorgefundenen Zustand.
- 1971-1974 Freilegung von Tunnel und Graben durch das Deutsche Archäologische Institut (DAI) in Athen.
- 1975 Neuvermessung der gesamten Anlage durch das Deutsche Archäologische Institut.
- 1978 Fernsehfilm des ZDF: "Wasser für Polykrates"

Ionische Ingenieure zur Zeit des Tunnelbaus

Die Geschichte bezeichnet die Philosophen Ioniens von Thales bis Hippokrates mit dem Sammelnamen "Vorsokratiker" - also die, die vor Sokrates lebten. Im Gegensatz zur den Sokratikern sind sie jedoch hauptsächlich Naturwissenschaftler, Naturphilosophen, denn "Von der Natur" ist der stets wiederkehrende Titel ihrer Schriften.³⁰⁾

Nachfolgend wird von den Ingenieuren berichtet, die den Vorsokratikern zur Seite standen und deren Erkenntnisse bei den gewaltigen Ingenieurbauten auf Samos in die Praxis umsetzten. Einige dieser Ingenieure werden in den "Historien Herodots" besonders gewürdigt. Herodot überliefert als erster Schriftsteller der Antike ihre Namen und Werke.

Für die Geschichte der Ingenieurkunst verdienen besondere Beachtung:

- Rhoikos der Tempelbauer
- Theodoros der Toreut*, Mechaniker und Erfinder
- Eupalinos der Tunnelbauer
- Mandrokles der Brückenbauer
- Hippodamos der Stadtplaner

30) Von den Platonikern und ihren christlichen Nachfolgern für 2000 Jahre verdrängt, feierten die Naturwissenschaftler Ioniens in der Renaissance eine glänzende Auferstehung.

Dafür stehen Namen wie: Leonardo da Vinci (1452-1519), Kopernikus (1473-1543), Cardano (1501-1576), Tycho de Brahe (1546-1601), Galilei (1564-1642), Kepler (1571-1630), Descartes (1596-1650), Pascal (1623-1662) und Newton (1643-1727)

*) Toreut = metallbearbeitender Künstler

Rhoikos

Herodot III.60: "Das dritte Werk ist der gewaltigste Tempelbau von dem wir wissen. Der erste Baumeister dieses Tempels war ein Samier, Roikos, Phileus Sohn."

Danach war Rhoikos der führende Architekt seiner Zeit, der mit Mut, Kühnheit und Können die Epoche der Großtempelbaus in Griechenland einleitete. Um 570 v.Chr. erbaute er mit dem Heraheiligtum auf Samos den größten Tempel seiner Zeit, das als eines der "sieben Weltwunder" gilt. Die Daten der Ausgrabung des Tempels ermöglichen seine einwandfreie Rekonstruktion.³¹⁾ Der Umfang des als Rechteck gebauten Tempels beträgt 52 x 105 m, seine Höhe 18 m. Er verfügt über eine doppelte Peristasis mit 104 Säulen.

In der späteren Literatur wird Rhoikos auch im Zusammenhang mit Theodoros genannt, denn nach Hekataios von Abdera (350-290 v.Chr.) soll Theodoros der Bruder des Telekles und Sohn des Rhoikos sein. Diogenes Laertios (2. Jh. n.Chr.) erwähnt Theodoros nur als Sohn des Rhoikos. Herodot (III.41) sieht in Theodoros den Sohn des Telekles. Mit Sicherheit kann man aus diesem genealogischen Zusammenhang folgern, daß Theodoros zumindest noch Mitarbeiter oder Schüler des Rhoikos war.

31) Die Grundmauern des Tempels wurden bereits 1910 freigelegt. An der Ausgrabung der gesamten Anlage wird heute noch gearbeitet.

Theodoros von Samos

Der Überlieferung nach war Theodoros von Samos einer der bedeutendsten Künstler und Mechaniker seiner Zeit. Als Bildhauer und Toreut (Herodot I.51; III.41; VII.27)³²⁾ sowie als Erfinder von Drehbank, Schlüssel, Zentralheizung, Winkelmaß, Wasserwaage und Lineal wird er vielfach in der noch fließenden Literatur der Antike benannt. Außerdem soll er mit Rhoikos den Erzguß erfunden haben.

Theodoros baute mit Winkelmaß und Wasserwaage zwei Vermessungsinstrumente. Das Winkelmaß kann als Vorläufer der Groma oder Dioptra betrachtet werden. Die Wasserwaage ist ein Nivellierinstrument, das in einfacher Form dem Nivellieraufsatz von Heron oder dem Chorobat - nur mit Wasserrinne - entspricht. Leider wird Theodoros von Heron nicht benannt. Aber vielleicht hat Heron aus zweiter Hand durch die Schriften von Philon, Ktesibios und Athenaios von Theodoros gewußt. Das Lineal könnte ein Instrument sein, das dem von mir auf Seite⁴⁸ dargestellten Richtscheit entspricht.

32) Danach stammen ein Mischkrug aus Silber für das Schatzhaus in Delphi, ein goldener Siegelring für Polykratos sowie eine goldene Platane mit Weinstock für den Perserkönig Dareios aus der Werkstatt des Theodoros.

Eupalinos

Herodot schreibt in III.60, daß die Samier die gewaltigsten Bauwerke geschaffen haben, die sich in ganz Hellas befinden. Die hier von Herodot überlieferten Großbauten sind der Wasserleitungstunnel des Eupalinos, die Hafenmole für die Kriegsflotte des Polykrates sowie der Heratempel des Rhokos. Der Tunnel, den er an erster Stelle nennt, muß ihn besonders beeindruckt haben, denn er beschreibt ihn am ausführlichsten von allen Bauwerken und überliefert dazu noch exakte Baudaten des Tunnels. In III.54 berichtet Herodot außerdem über die 6 km lange und mit über 30 Türmen bewehrte Stadtmauer von Samos sowie in III.146 über einen etwa 300 m langen Fluchttunnel von der Stadtburg zur Küste. Für beide Objekte überliefert er jedoch weder die Namen der Baumeister noch irgendwelche Baudaten. Ob Eupalinos beim Bau dieses zweiten Tunnels auf Samos mitwirkte, ist daher mit Sicherheit nicht zu sagen. Der Fluchttunnel wurde kurz nach dem Tod des Polykrates gebaut und von seinen Nachfolgern zur Flucht benutzt.

Die oben genannten Bauwerke beweisen, daß Polykrates zur Zeit des Tunnelbaus ein größeres Team bedeutender Ingenieure zur Verfügung stand. Daraus kann man folgern, daß Eupalinos zusätzlich als "der Tunnelspezialist" nach Samos verpflichtet wurde. Außer bei Herodot gibt es über Eupalinos keine weiteren Angaben aus der Antike. Nach Tölle-Kastenbein³³⁾ könnte Eupalinos, Naustrophos Sohn aus Megara, beim dortigen Wasserleitungsbau tätig gewesen sein.

33) 5 Seite 69

Mandrokles

Die Kühnheit und das Können der Ingenieure aus Samos wird auch bewiesen durch die Überbrückung des an seiner engsten Stelle 660 m breiten Bosphorus durch den Architekten Mandrokles.

Er baute nach Herodot die Brücke - wahrscheinlich eine Schiffsbrücke - für Dareios I., damit dieser bei seinem Feldzug gegen die Skythen (513-512 v.Chr.) dort übersetzen konnte. Mandrokles ließ ein Gemälde malen, auf dem die Überbrückung des Bosphorus dargestellt ist. Er stiftete es dem Heratempel zu Samos und setzte folgende Inschrift (Herodot IV.88) darauf:

"Über die fischreichen Fluten des Bosphorus schlug eine Brücke Mandrokles, und er gab Hera dieses Bildnis zum Dank. Sich errang er den Kranz und Ruhm seiner Vaterstadt Samos, weil er getreulich erfüllt König Dareios' Begehr."

Hippodamos

Für die Baugeschichte ist der Architekt Hippodamos von Milet der Erfinder des rechtwinkligen Stadtplanes, der nach ihm "hippodamischer Stadtplan" genannt wird. Wir wissen jedoch, daß schon vor seiner Zeit bei der Gründung griechischer Siedlungen (Kolonien) und Städte in Ionien so verfahren wurde. Diesem Verfahren lagen Richtlinien zugrunde, die eine gerechte Verteilung der Grundstücke an die Neusiedler ermöglichte. Sowohl für die Gründung der Städte als auch für die Auf- und Einteilung des Nutzlandes wurde nach dem Rechtwinkelverfahren geplant und gemessen.³⁴⁾ Für Ionien lassen sich etwa 80 Städte nachweisen, die nach dem "hippodamischen System" gebaut wurden.

Bei den örtlichen Vermessungen wurde vielleicht schon die Groma benutzt, die Theodoros fertigte (Winkelmaß); denn sie soll von den Griechen über die Etrusker zu den Römern gelangt sein.



34) Römische Legionslager der Kaiserzeit (z.B. Xanten) wurden nach einem Schema gebaut, das dem hippodamischen Stadtplan angelehnt war. Der Standortplan für den Bau eines Legionslagers war bis hin zur Straßen- und Hausnummer vereinheitlicht.

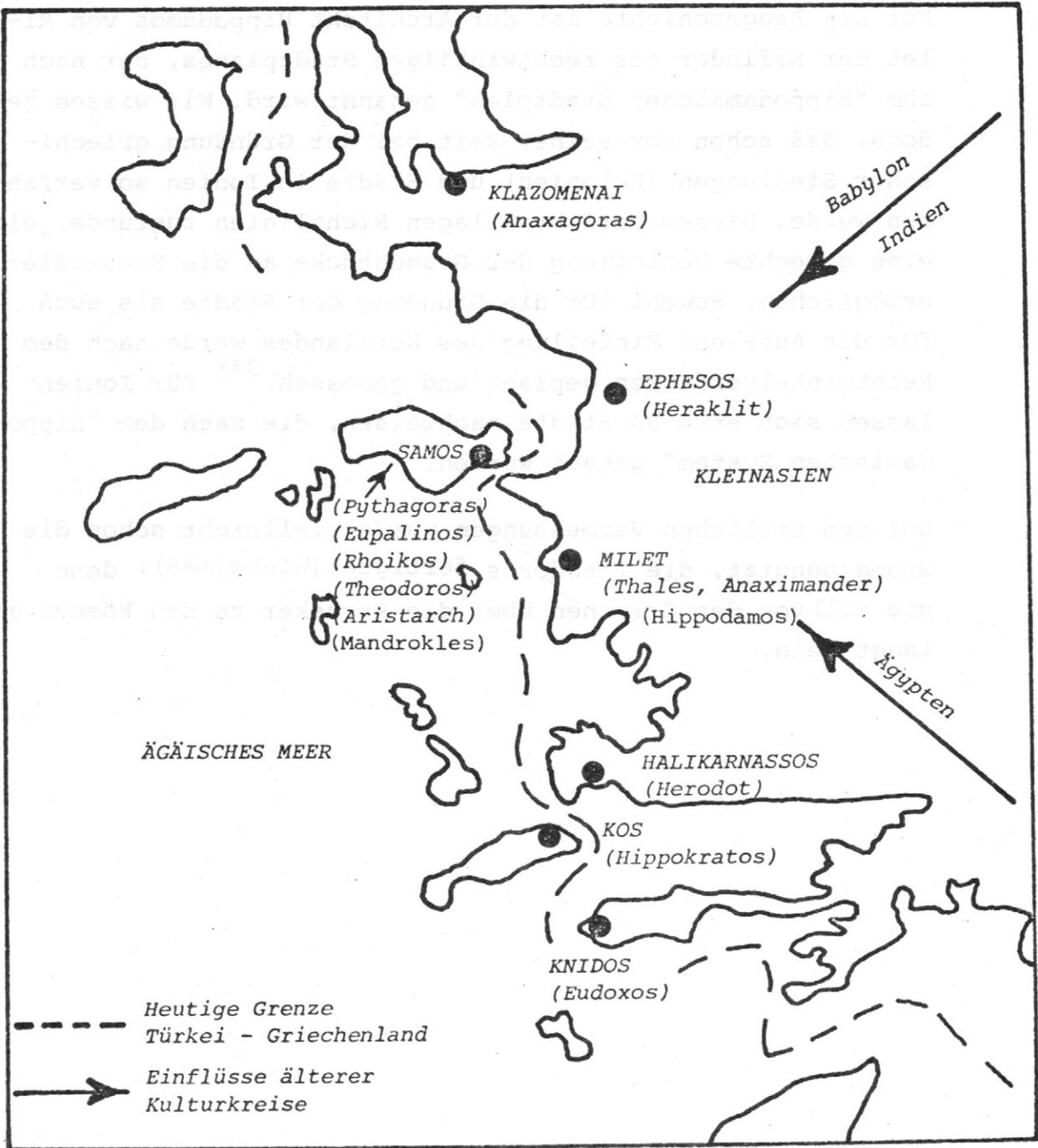


Bild 26:

Übersichtsplan mit den Städten, die mit den Namen ionischer Wissenschaftler untrennbar verbunden sind. In Ionien und insbesondere auch auf Samos vollzieht sich von 600 bis 400 v. Chr. "die Geburt des Abendlandes" für viele Gebiete der Natur- und Geisteswissenschaften.

Hippodamos

Für die Baugeschichte ist der Architekt Hippodamos von Milet der Erfinder des rechtwinkligen Stadtplanes, der nach ihm "hippodamischer Stadtplan" genannt wird. Wir wissen jedoch, daß schon vor seiner Zeit bei der Gründung griechischer Siedlungen (Kolonien) und Städte in Ionien so verfahren wurde. Diesem Verfahren lagen Richtlinien zugrunde, die eine gerechte Verteilung der Grundstücke an die Neusiedler ermöglichte. Sowohl für die Gründung der Städte als auch für die Auf- und Einteilung des Nutzlandes wurde nach dem Rechtwinkelverfahren geplant und gemessen.³⁴⁾ Für Ionien lassen sich etwa 80 Städte nachweisen, die nach dem "hippodamischen System" gebaut wurden.

Bei den örtlichen Vermessungen wurde vielleicht schon die Groma benutzt, die Theodoros fertigte (Winkelmaß); denn sie soll von den Griechen über die Etrusker zu den Römern gelangt sein.



34) Römische Legionslager der Kaiserzeit (z.B. Xanten) wurden nach einem Schema gebaut, das dem hippodamischen Stadtplan angelehnt war. Der Standortplan für den Bau eines Legionslagers war bis hin zur Straßen- und Hausnummer vereinheitlicht.

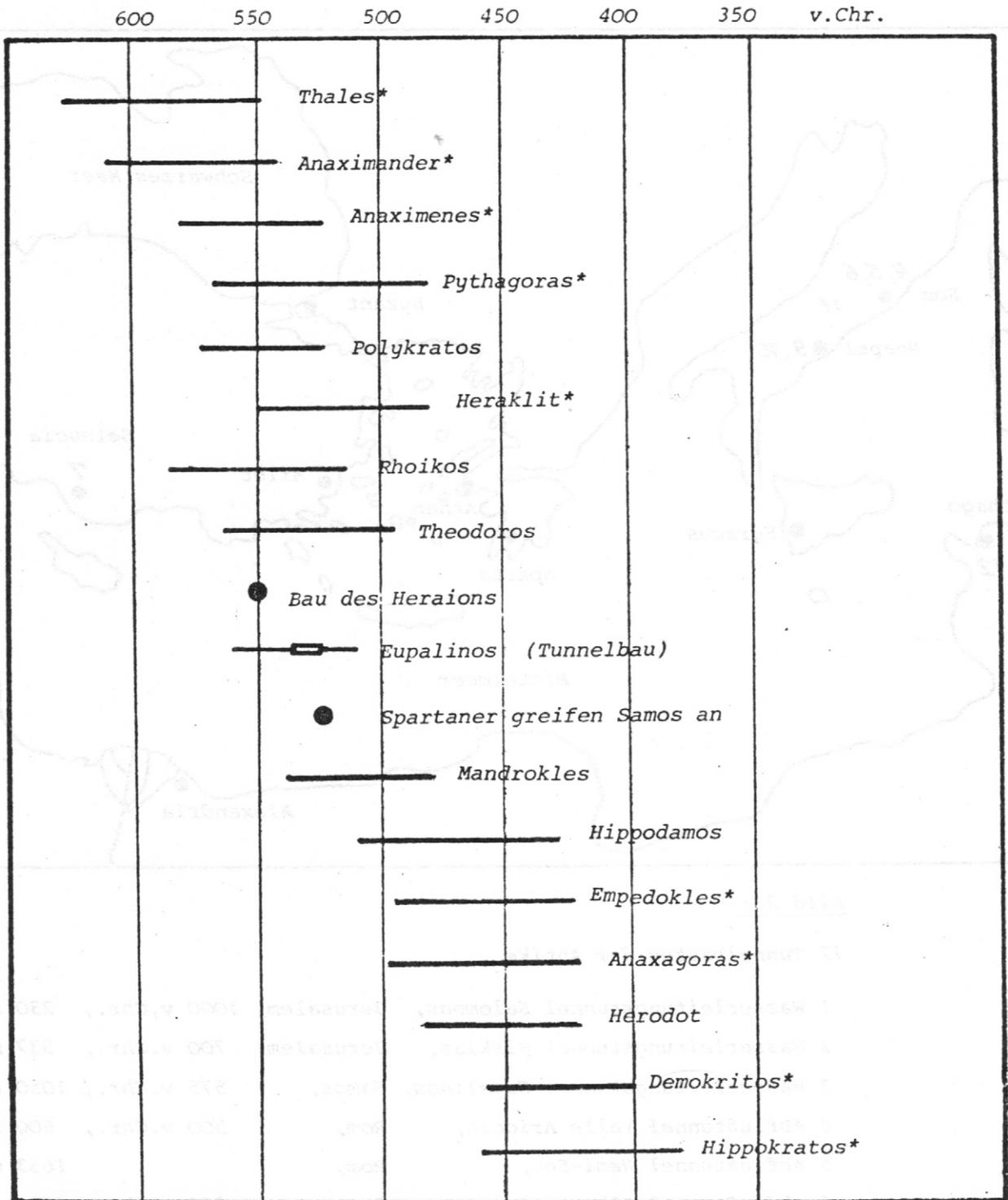


Bild 27:

Ungefähre Lebensdaten ionischer Ingenieure und Wissenschaftler (* = Vorsokratiker) vor, während und nach der Epoche des Tunnelbaus.

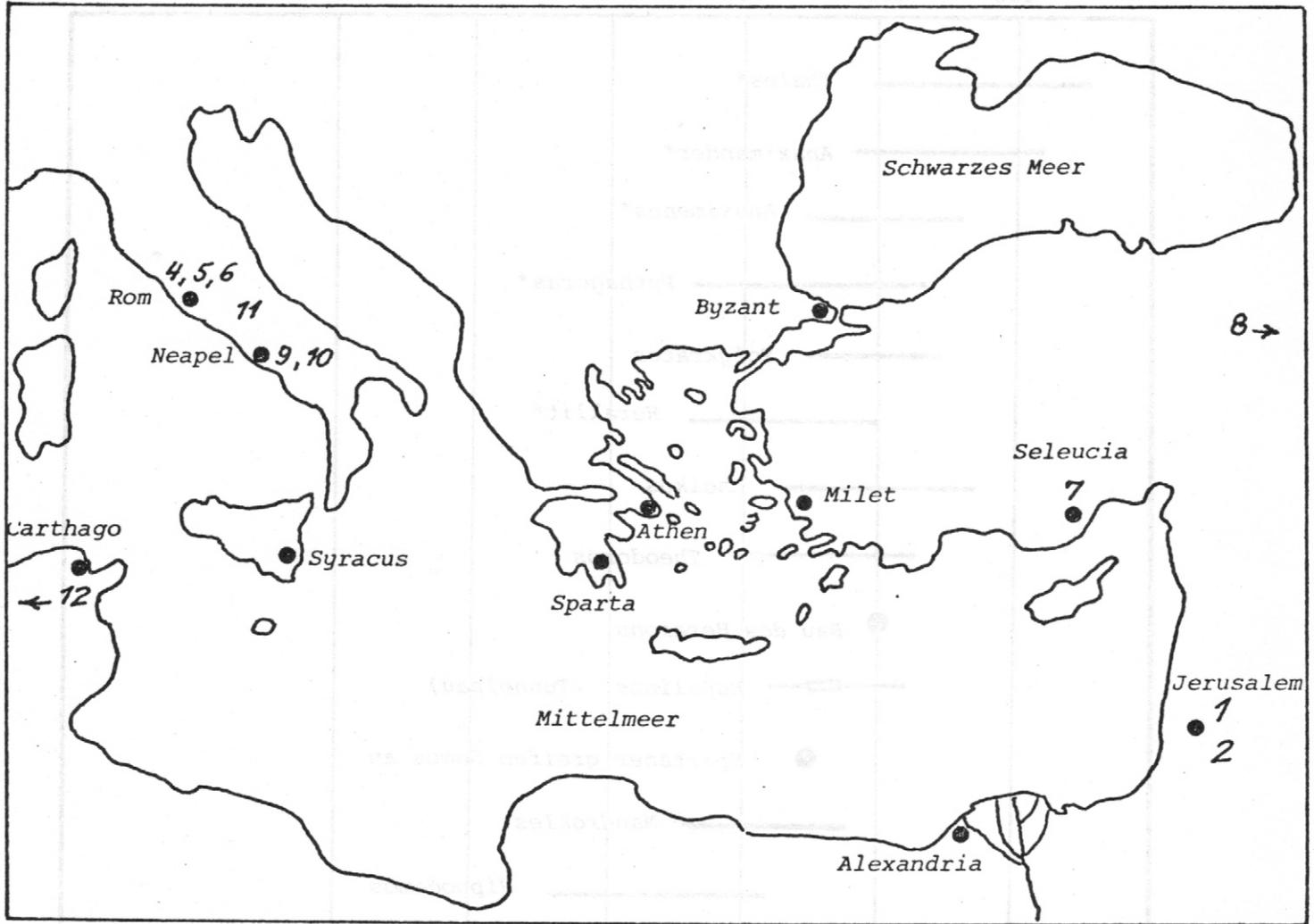


Bild 28:

12 Tunnelbauten der Antike

- | | | | | |
|----|--|-------------|--------------------|--------|
| 1 | Wasserleitungstunnel Salomons, | Jerusalem, | 1000 v.Chr., | 230 m |
| 2 | Wasserleitungstunnel Hiskias, | Jerusalem, | 700 v.Chr., | 537 m |
| 3 | Wasserleitungstunnel Eupalinos, | Samos, | 575 v.Chr., | 1050 m |
| 4 | Abflußtunnel Valle Ariccia, | Rom, | 500 v.Chr., | 600 m |
| 5 | Abflußtunnel Nemi-See, | Rom, | | 1653 m |
| 6 | Abflußtunnel Albaner-See, | Rom, | 369 v.Chr., | 1200 m |
| 7 | Felstunnel bei Seleucia, | | 250 v.Chr., | 100 m |
| 8 | Wasserversorgungstunnel der Assyrer, | Nimrud, | II. Ass. Dynastrie | |
| 9 | Abflußtunnel Avernersee, | Neapel, | 37 v.Chr., | 1000 m |
| 10 | Straßentunnel des Agrippa, | Neapel, | 30 v.Chr., | |
| 11 | Abflußtunnel Fucimer-See, | Rom, | 50 n.Chr., | 5600 m |
| 12 | Wasserleitungstunnel des Nonius Datus, | Mauritania, | 150 n.Chr. | |

Literaturhinweise

- Burns, A.: The tunnel of Eupalinos. Isis 62, 1971, S. 172 ff.
- Fabricius, E.: Altertümer auf der Insel Samos. In: Athenische Mitteilungen, 9, 1884
- Goodfield-St. Toulmin, J.: How was the tunnel of Eupalinos aligned. Isis 56, 1965, S. 52 ff.
- Guérin, V.: Description de l'île de Patmos et de l'île de Samos, 1856, S. 305 ff.
- Herodot: Historien. Deutsche Gesamtausgabe. Stuttgart 1955
- Jantzen/Felsch/Kienast: Die Wasserleitung des Eupalinos. In: Archäologischer Anzeiger 1973, S. 401 ff.
- Jantzen/Felsch/Hoepfner/Willers: Die Wasserleitung des Eupalinos. In: Archäologischer Anzeiger 1973, S. 72 ff.
- Jantzen/Felsch/Kienast: Die Wasserleitung des Eupalinos. In: Archäologischer Anzeiger 1975, S. 19 ff.
- Kastenbein, W.: Untersuchungen am Stollen des Eupalinos auf Samos. In: Archäologischer Anzeiger 1960, S. 178 ff.
- ders.: Markscheiderische Vermessung im Dienst archäologischer Forschung. In: Mitteilungen aus dem Markscheidewesen 1966, S. 26 ff.
- Kienast, H.J.: Der Tunnel des Eupalinos auf Samos. In: Architectura. München 1977, S. 97 ff.
- Merckel, C.: Die Ingenieurtechnik im Altertum. Springer 1899
- Peters, K.: Absteckung und Bau eines Tunnels auf der Insel Samos vor 2500 Jahren. In: Das Flügelrad 1959, S. 363 ff.
- ders.: Neues zur Vermessungsgeschichte des Tunnels auf Samos. In: Der Vermessungsingenieur 1979, S. 87 ff.
- ders.: Tunnelbau und Tunnelabsteckung in der Antike. In: Der Fluchtstab 1964, S. 129 ff.
- Schmidt, W.: Bibl. math. III, Folge IV, 1903, S. 7 ff.
- Tölle, R.: Die antike Stadt Samos. Mainz 1969
- Tölle-Kastenbein, R.: Herodot und Samos. Bochum 1976, S. 68 ff.

Schlußwort

Aufgabe dieser Arbeit war es, zu ergründen, wie Eupalinos einst die Planung und Vermessung des Tunnelbaus auf Samos ausführte. Die bedeutenden Bauwerke der Antike wurden in der Regel nur mit den Namen ihrer leitenden Ingenieure überliefert. Sie sind jedoch nicht nur die Arbeiten dieser einzelnen, sondern sie stellen immer auch eine Ingenieurleistung dar, die das technische und mathematische Können und Wissen einer Epoche beinhaltet. Um den Tunnelbau richtig in seine Zeit zu stellen, wurden daher in dieser Arbeit der Entwicklungsstand der Wissenschaft, der Zusammenhang ihrer einzelnen Fachgebiete sowie die Zeit des Polykrates besonders gewürdigt.

Die Anregung, mich mit dem Tunnel noch einmal auseinanderzusetzen, verdanke ich Zuschauern des Fernsehfilms "Wasser für Polykrates", die sich an meine früheren Arbeiten zur Vermessungs- und Tunnelgeschichte der Antike erinnerten. Die Forschungsarbeiten schienen zu Beginn kaum durchführbar, da mir die Pläne aus der Neuvermessung im Jahre 1975 nicht zur Verfügung standen.

Neuen Mut machte mir W. Kastenbein, der 1957 erste Vermessungen an dem noch nicht ausgeräumten Tunnel durchführte. Er stellte mir seine Planunterlagen zur Verfügung. Mein besonderer Dank gilt ihm, der 1983 leider zu früh verstarb, sowie seiner Gattin, R. Tölle-Kastenbein, die viele Jahre als Archäologin auf Samos arbeitete und forschte. Mein herzlicher Dank gilt auch H. Minow und R. Sklarski. Beide waren mir bei der Rekonstruktion und Herstellung der Pläne behilflich.

*"Es ist kein Autor so schlecht / in
dessen Schriften nicht etwas Gutes
zu finden / auch ist kein Autor so
gut / der in seinen Büchern nicht
menschliche Schwachheit sollte blicken
lassen." J.F. Penther (Pr.G. 1732)*