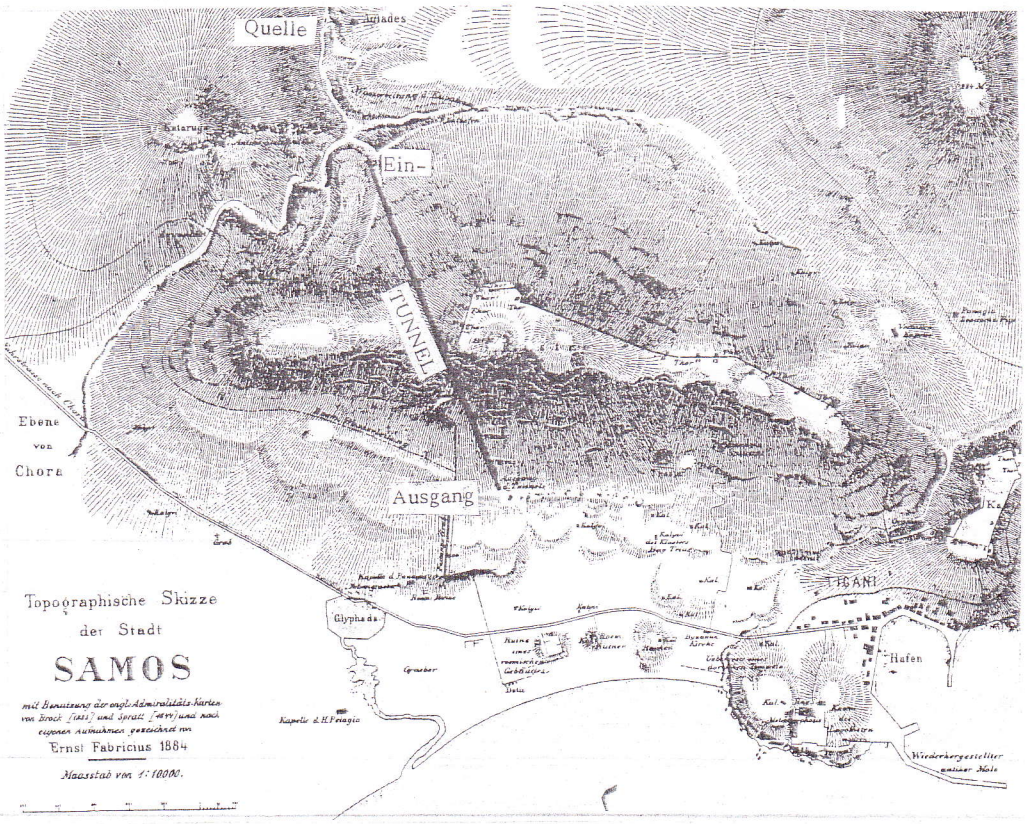
Konrad Peters

DAS „ACHTE WELTWUNDER“

Der von Eupalinos um 525 v. Chr. gebaute Wasserleitungstunnel auf der Insel Samos



Lyrische Betrachtungen zur Bau- und Entdeckungsgeschichte des Tunnels

Ägyptische Pyramiden, griechische Tempel und Theater sowie römische Stadtanlagen, Tunnel und Aquädukte, die Jahrtausende der Zerstörung durch Mensch und Natur widerstanden, geben noch heute sichtbares Zeugnis über den hohen Stand der Bau- und Meßkunst des Altertums. Bereits in der Erbauungszeit von Historikern und Dichtern gewürdigt und bewundert, sind sie in der Gegenwart Forschungsobjekte und besondere Anziehungspunkte für Millionen Touristen.

Weniger bekannt sind die Bauwerke, die sich unter der Erdoberflöche befinden. Zu ihnen gehören zahlreiche Tunnelbauten, an deren Ausführung fast alle alten Kulturvölker beteiligt waren. Von Archäologen erforscht und beschrieben, sind sie Forschungsobjekte, die die Wissenschaft noch vielfältig beschäftigen wird.

Unter den Tunnelbauten des Altertums kommt dem Eupalinostunnel auf Samos eine besondere Bedeutung zu. Um 53o v.Chr. mit einer Länge von über 1000 m im zweiseitigen Vortrieb ausgeführt, ist er mit einer Überdeckung von 165 m der erste „echte Tunnelbau" des Altertums, der zudem bereits nach heutigen Kriterien geplant, abgesteckt und gebaut wurde. Freigeräumt und neu vermessen, ist er der „Prototyp" in der Tunnelforschung. Bei den „Weltwundern" ist der Tunnel nicht benannt. Die Ursache ist wahrscheinlich darin zu sehen, daß er wegen seiner Funktion, die Stadt Samos mit Wasser zu versorgen, ein geheimes Objekt war.

Für mich als Vermessungsingenieur war es eine faszinierende Aufgabe, die Arbeit meiner Berufsvorgänger zu ergründen. Darüber was ich oder andere über den Tunnel erkannten, gibt die im Anhang angeführte Literatur - auch im Widerstreit der Autoren - ausführliche Antwort.

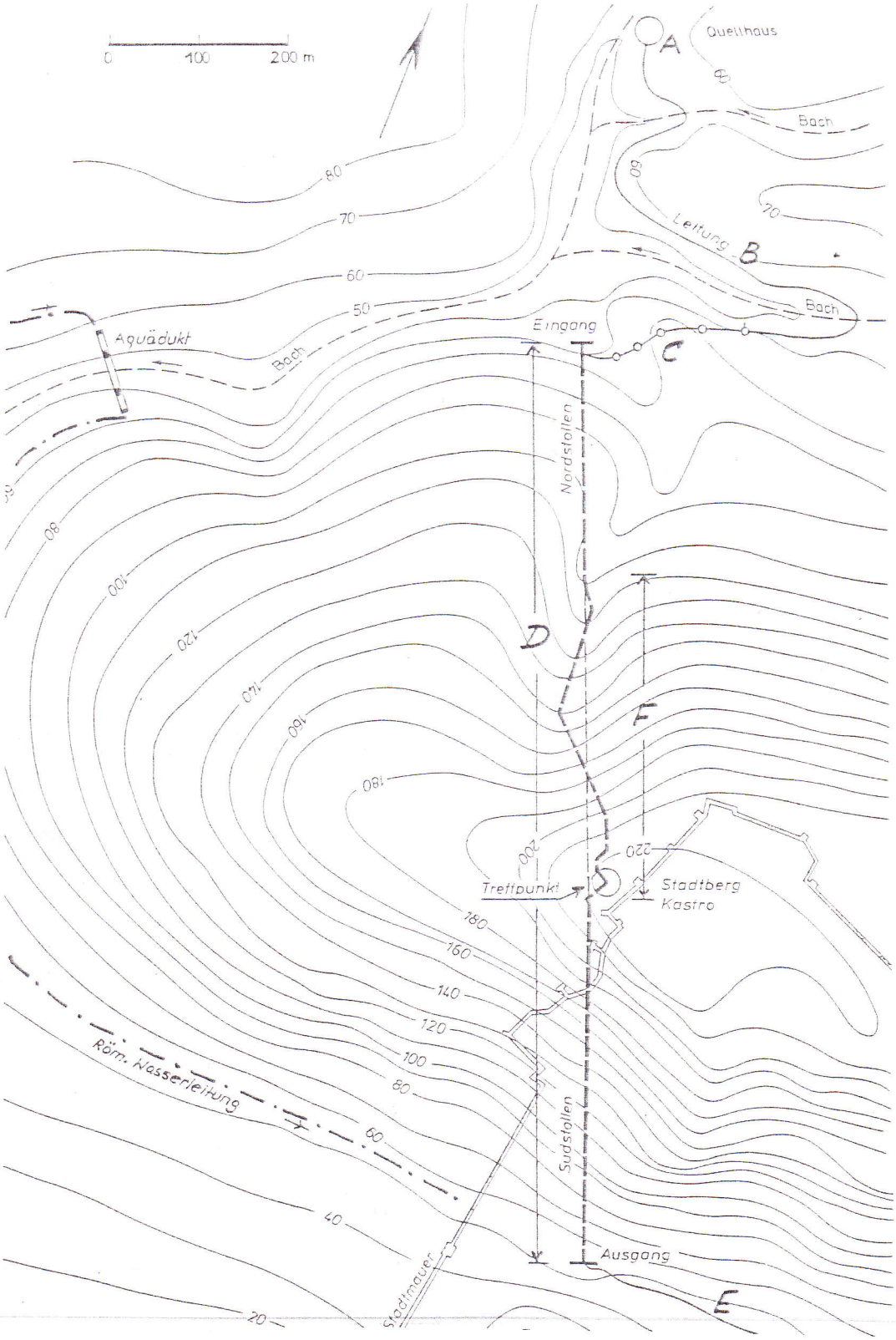
Die lyrischen Betrachtungen zur Bau- und Entdeckungsgeschichte des Tunnels, bei Forschungsarbeiten auf Samos begonnen, sind eine Hommage an seinen Erbauer Eupalinos und an die Schönheit der Insel.

„Bedenkt man eingehend die Menge an Wasser für den öffentlichen Bedarf, für Bäder, künstliche Teiche und Wassergräben, für Wohnhäuser, Gärten und Villen, bedenkt man die Entfernung von den Quellen, die Aquädukte, die durchtunnelten Berge und die Brücken über Täler, so wird man zugestehen, daß es auf dem ganzen Erdkreis nichts Bewundernswürdigeres gegeben hat."

(Plinius d. Ältere)

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 archäischer 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 Archäologie 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 von 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 nicht 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.



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

Prolog

Froh und glücklich bin ich
zu Ostern auf Samos begeistert.

Steh an dem Kastrohang,
schau den Tunnel,
den Eupalinos geschaffen.

Gedanken eilen weit zurück,
greifbare Geschichte,
antikes Gestein.

Es mahlt die Gedankenmühle Theorien,
will den Baumeister verstehn,
ergründen.

Wie hat er den Tunnel gebaut,
es vollbracht,
den Berg zu durchdringen ?

Die Augen schließ ich,

blick weit zurück in die Zeit.

Es ziehn vorbei jetzt die Griechen,

die den Tunnel geschaffen, gebaut.

In Sandalen und weißen Gewändern:

Polykratos,

Eupalinos,

Pythagoras,

Herodot.

Genien ihrer Zeit.

Roms Legionen marschieren,

Araber greifen an.

Der Tunnel versandet,

Fluchtburg der Samiten.

So gehn Jahrhunderte ins Land,

die Insel fällt ins 'Nichts' zurück.

Herodot

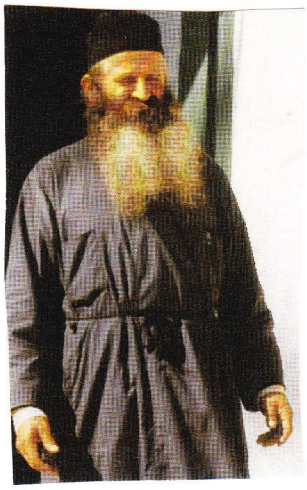
Kloster liegt am Bergeshang,
aus den Kiefernwipfeln ragt
Glockenturm - ein blauer Kegel.

Schwarze Kutten, Samosmönche,
leben hier nach orthodoxer Regel.

Was auf Samos' grünen Bergen
und an Samos' klaren Quellen
Denker dachten, Dichter sangen,
soll durch sie zu uns gelangen.

Herodot, der einst vom Tunnel tat berichten,
seine Bücher ruhen hier,
zwischen verstaubten Bänden
und Gedichten.
Lang verloren,
sicher doch geborgen,
stehn sie in stiller Klosterecke,

wie Dornröschen wartend,
daß ein Prinz sie wecke.



Der Prinz,

ein Abt in stiller Klosterzelle,

liest im Herodot die Tunnelstelle.

Von Eupalinos,

Naustrophos Sohn,

hier zu lesen war.

Der von Polykratos auserkoren,

Samos mit Wasser zu versorgen.

Und von der Leitung,

die durch den Berg als Tunnel getrieben,

strategisch geplant und gebaut,

damit sie vom Feind nicht geschaut.

Fromme Mönche, Herodot nun auf der Spur,

suchen im Felsen und Natur.

Schaufeln, graben, schaffen mit Fleiß,

stoßen auf den Tunneleingang,

der Mühe Preis.

So wird der Tunnel neu geboren.

Der Nachwelt nun:

Rätsel antiker Technik.

Kloster auf Samos

Fabricius

Wer löst die Rätsel,
knackt die Tunnelnuß,
wagt in den Hades zu dringen ?

Fabricius war's - anno 1882 -
ein archäologischer Mann,
der als erster versucht,
das Tunneldunkel zu bezwingen.

Vom Quellhaus ausgehend,
suchend er fand,
die Leitung verdeckt gebaut,
bis 14 m tief -
im Winkel auf den Tunnel lief.

Er drang von Nord und Süd in den Stollen hinein,
sehend,
forschend,
messend,
prüfend.

Er stellte fest:

Der Tunnel - 1,8 Meter im Quadrat -
1000 m in der Waage gebaut.
Darunter ein Graben - bis 8 m tief -
damit das Wasser
mit %o in die Stadt auch lief.

Über Geröll, Sand und Gestein,
dringt er von Nord in den Tunnel hinein.
Der Fels hier, sehr schiefrig und taub,
durch Ausbauten gesichert,
die Griechen und Römer gebaut.

Nach 300 m, sein Weg hier zu Ende,
der Tunnel verschüttet,
gebrochen die Wände.

Von Süden ausgehend, wo der Ausgang zur Stadt,
hier hatte er Glück,
Leitung und Tunnel intakt.

Der Tunnel hier,
400 m in der Geraden gebaut,
nach Osten dann abknickend,
nach oben sich weitend zum Raum.

Fabricius erkennt:
Hier liegt das Tunnelproblem.
Warum die Knicke, die Höhe nach oben,
was ist hier geschehn ?

Schauend und messend er fand,
ein Stollen über den anderen stand.

Von oben nach unten
Eupalinos den Durchschlag vollbracht.

So wurde aus zwei
wieder ein Stollen gemacht.

Warum die Knicke in der Trasse,
die Abweichungen von Nord nach Süd ?
Fabricius sich müht.

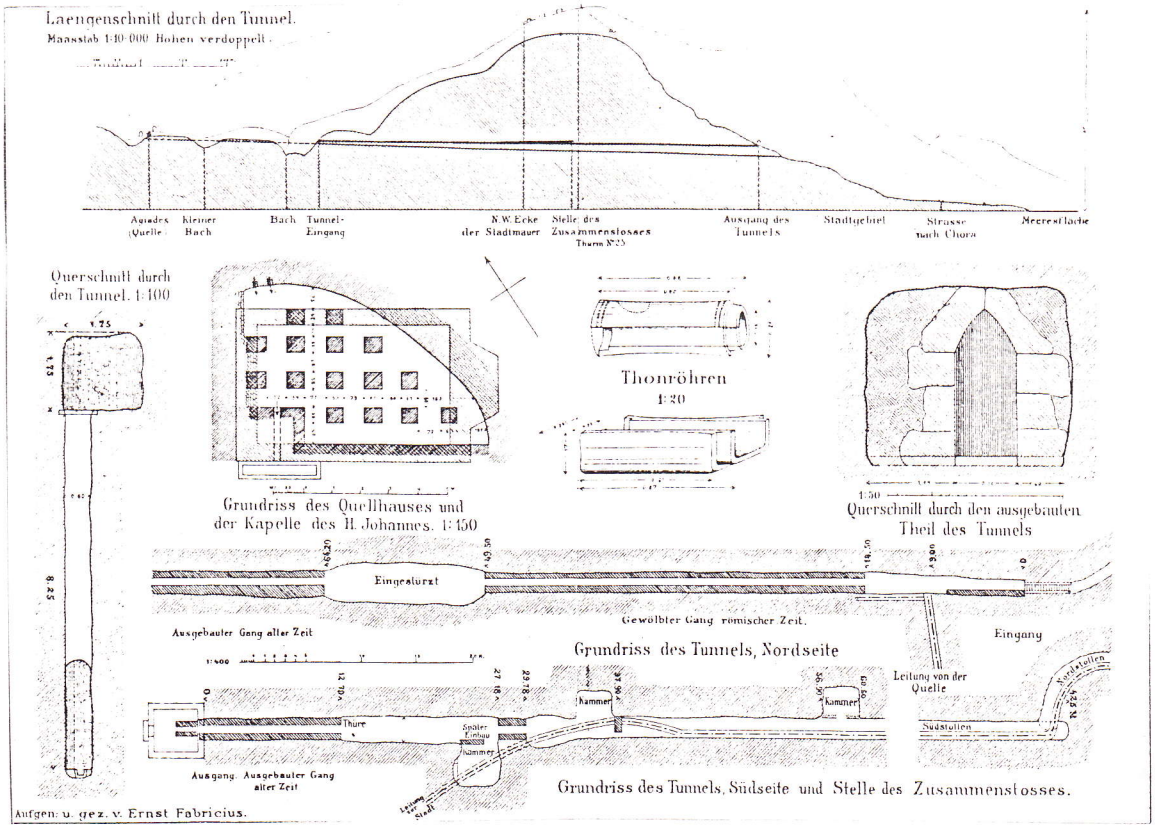
Er rätselt und grübelt,
kommt auf die Spur:

Die Tunnelstollen,
von zwei Seiten begonnen,
wären ohne die Knicke
nicht zusammen gekommen.

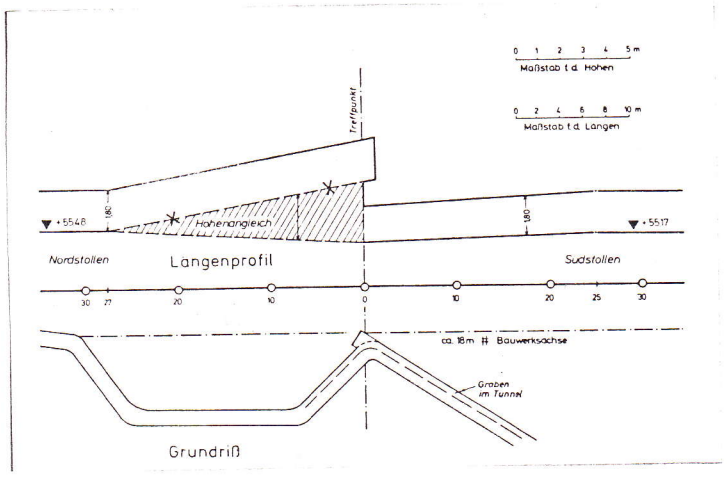
Samos hätte stattdessen
- bei geradem Stollenvortrieb -
zwei Stollen besessen.

Fabricius hat dann mit Fleiß den Tunnel
erforscht,
vermessen,
gezeichnet.

Der Fachwelt übergeben.



Der Tunnel nach der Aufnahme von Fabricius im Jahre 1882.



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 !

Die Forscher

Denkerstirnen neigten nunmehr,
Forscher,
Ingenieur,
Archäologen,
Eupalinos zu ergründen,
seine Planungsmethode zu finden.

Wie hat er's gemacht,
geschafft, den Berg zu durchdringen.
Wie war sein Wissen, sein System,
Vermessung wohl größtes Problem.

Hat über den Berg er gemessen -
um den Berg, den felsig hohen,
die Achsen für den Vortrieb,
ihre Richtung,
die Länge,
die Höhen für beide Tunnelgänge ?

Zu ergründen die Probleme
man muß zurück in die Zeit,
die Zeit, in der das Abendland geboren,
die Geometrie zur Wissenschaft geworden.

Erforschen den Stand der Vermessung,
die Instrumente, die Theorien.
War alles bereit, soweit,
daß ein Tunnelbau
konnt zweiseitig beginnen ?

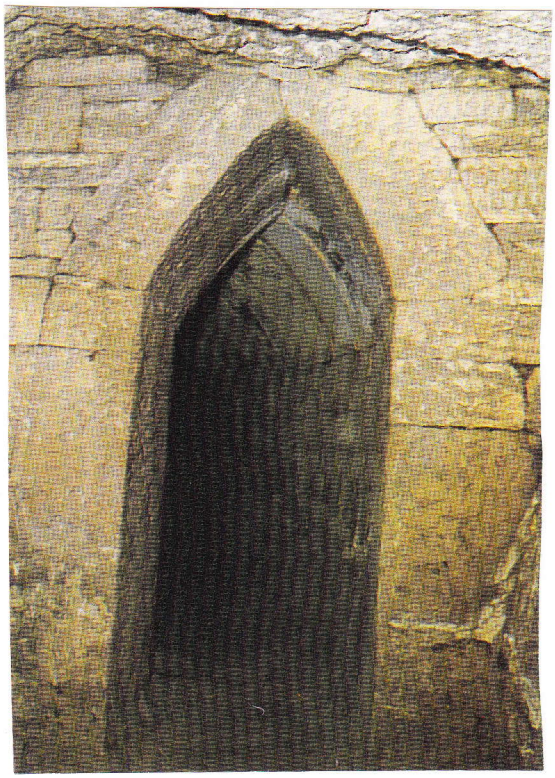
Auch in der Literatur findet man manche Spur,
ich denke dabei an Heron aus Alexandria nur.
Bei ihm kann man lesen,
das Tunnelproblem,
als wär's der Tunnel auf Samos gewesen.

Herons Aufgabe,
von der hier die Rede,
löst als Polygon um den Berg die Vermessungsfehde.
Für die Absteckung der Achse,
rechtwinklig im Quadrat,
hielt die Lösung Pythagoras parat.

Doch als Fazit zu allem Forschen muß man sagen:
Viele Lösungen standen Eupalinos offen,
wie er es gemacht,
- nur zu raten -
man ist betroffen.

Darum: Exakte Vermessung muß geschehen,
nur Tunneldaten lösen das Problem.

Der Gedanke steht im Raum,
Vermessung nun geschieht,
man glaubt es kaum.



Archäischer Ausbau im Tunnel

Der Markscheider

Endgültig zu klären jetzt das 'Ding'
man 1959 zu Werke ging.
Einen Markscheider von Ruhr und Rhein
schickte man in den Tunnel hinein.
Der Mann mit Erfahrung von der Kohle,
sollte vermessen die Tunnelsohle.

Er triangulierte, polygonierte,
nahm Maße und Höhen
und was sonst noch zu sehen.

Auch er hatte Probleme,
drang in den Tunnelschlauch,
maß kriechend, selbst auf dem Bauch.

Doch der Markscheider, er mußte zurück,
kam nicht durch, hatte kein Glück.
Der Graben versandet, gebrochen die Wände,
Stalagmiten,
tropfendes Wasser,
Einbruchstelle,
Vermessung zu Ende.

Es konnt ihm so nicht gelingen,

Nord und Süd zusammenzubringen.

Trotzdem hat er Profile und Pläne gezeichnet,

mit Bildern bestückt und geschmückt.

Er prüft und wägt - studiert die Pläne,

macht Aussagen - hat eigene Theoreme.

Doch im Ergebnis muß man sagen:

Da stehen wir weiter nun,

wie im Faust der Tor,

und sind nur wenig klüger als zuvor.

Landmesser auf Samos bei der Arbeit am Theodoliten

Die Ausgräber (1971-1973)

Man senkt das Haupt.
Was nun - was tun ?
Will sich verstehen
irgendwie muß es doch weitergehen.

Und noch mal:
Neuvermessung her,
exakte Daten,
nicht mehr rätseln, raten.

Und vorher, ausgeräumt den Tunnel
mit Hammer, Hacke, Spaten.
Weg mit Felsen, Sand und Steingemisch,
den Tunnel der Vermessung endlich
sauber auf den Tisch.

Wer soll dieses Werk nun machen,
wer soll diese Arbeit schaffen ?
Wer gibt das Geld, ist so nett,
finanziert das teuere Objekt ?
Wer bildet ein Team für den Tunnel ?
Fachleute vor !
Ingenieure, Archäologen.

Fabricius' Nachfolger, deutsche Archäologen aus Athen,
nun ausersehen, als Team im Tunnel zu bestehen.

Finanzierung auch gesichert, große Klasse.
Thyssen-Stiftung,
die vom Stahl,
füllt die Tunnelkasse.

Wie vorgehen jetzt:
Planen, denken, neue Wege gehn.
Moderne Technik,
nur so kann es geschehn.

Auch Vorsicht bei der Arbeit,
restaurieren,
nicht zerstören;
alte Schätze sicher aus dem Tunnel fördern.

Es ist soweit:
Harte Männer, fest entschlossen,
der Tunnel wird erschlossen.
Schaffen jetzt mit Hammer, Hacke, Spaten,
kniend, liegend,
Tunnelakrobaten.

Und in des Tunnels enge Gänge
klingen Hammerschlag und Bohrgesänge.
Harte Arbeit mit schwieliger Faust,
man muß sie loben,
sie halten aus.
Böser Segen kommt dazu von oben,
Wasser, Stalagmiten,
tropfende Wände.

Arbeit kein Ende.

Loren aus dem Tunnel rollen
in den hellen Sonnenschein,
hier den Abraum zu entladen,
denn er könnte fündig sein.
Der Archäologe dann vor Ort
muß den Abraum prüfen,
ob er nicht antiker Schätze Hort.

Den Abraum sie dann sieben,
gründlich und mit Liebe,
damit sie all die alten Dinge fanden,
die dereinst im Tunnel standen.

Viele Dinge kommen so zu Tage.

Funde lösen manche Tunnelfrage.

Freude dann und frohes Lachen,

wenn sie gute Funde machen.

All die alten, schönen Sachen

der Vergangenheit entrissen,

dem Museum übergeben,

neues Tunnelwissen.

Pythagoras vor dem Museum in Pythagoreion.

Der Vermesser (1975)

Eines Tages dann,
das Werk vollbracht.
Tunnel strahlt in neuer Pracht.
Tausend Lichter leuchten hell
und der Tunnel steht bereit,
junge Maid im Hochzeitskleid.
Vermessungsbräutigam schon ungeduldig wartet,
seinen Angriff auf den Tunnel startet.
Mit Energie kann er beginnen,
alle Tunneldaten zu erbringen.

Vermessung fertig,
Daten liegen auf dem Tisch,
fachkundig gemessen,
neu und frisch.
Exakte Daten da.
Nun ausgewertet,
gerechnet,
probiert,
kartiert.

Pläne zeigen jetzt des Bauwerks ganze Pracht,
weisen her, was Eupalinos einst gemacht.

Die neue Theorie

Nun kann das Rätselspiel erneut beginnen,
Eupalinos Methode suchen, finden.
Was bisher gewesen,
fegt er weg:
ein Archäologe ist der neue Besen.

Verworfen alte Theorien,
neue Daten stehen im Raum.
Nicht mehr raten,
exakte Lösung,
schöner Traum.

Er hat die Gesamtanlage betrachtet,
kritisch geprüft,
zieht den Schluß:
Eupalinos über den Berg trassiert haben muß.

Der Grund liegt für ihn klar auf der Hand.
Nur bei dieser Trasse
Vermessung gut gelang.

Wie ist die Vermessung nun geschehn,
wie konnte Eupalinos zu Werke gehn ?

Da ist zunächst die Tunnelachse,
ihre Richtung,
die Länge,
die Höhn.
Zur Festlegung der Achse
die Messung muß über den Berg
vom Ein- zum Ausgang gehn.
Durch Fluchten aus der Mitte
kann das geschen.
Direkter Vortrieb der Stollen,
so für Eupalinos kein Problem.

Zu messen die Achslänge über den Bergeshang
als nächstes zur Ausführung stand.
Das war zu machen durch Staffeln
mit Latte, Lot und Band.
Als Eupalinos den Berg so bezwungen hatte,
war 350 mal gelegt die Latte.

Die Ausgangshöhe für beide Stollen,
sie nun nivellieren sollen.
Mit Richtscheid und Waage,
die Messung gestaffelt,
am Berg große Plage.

Denn, betrachtet man Berg und felsige Wände,
Dornen und Macchiagestrüpp,
man schlägt über den Kopf die Hände,
daß Eupalinos diese Messung geglückt.

Im Tunnel sich ein Meßsystem fand,
das an den Wänden in Farbe stand.
Von Eupalinos angebracht,
es heut beweisen kann,
daß der Vortrieb zweiseitig begann.

Und noch eins zeigt das System,
und das ist kaum zu fassen,
Treffpunkt und Knicke - genau -
in ein volles Maß passen.

Daraus läßt sich ableiten und sehn:
- die Länge der Tunnelachse -
Maßstab für das Tunnelmeßsystem.

Dann steht noch die Frage im Raum:
Warum die Knicke,
keine gerade Länge
für beide Tunnelgänge ?

Die Lösung bleibt für die Archäologen offen.

Fernsehen letztes Hoffen.

Hier wird der Tunnel ausgestrahlt in Farbe,

- auch wie Eupalinos es gemacht.

Daran an alle Zuschauer die Frage:

Ihr habt die Knicke hier gesehn.

Nun auf,

wer löst uns das Problem ?

These - Antithese

In Prosa kann ich das Detail nur schreiben,

dem Eupalinos auf der Spur zu bleiben.

Drum muß die Lyrik hier zu Ende gehen,

- die Probleme zu groß -

man wird es sehn.

Der Tunnel zeigt sich dort als harte Nuß,

an der man sehr schwer knacken muß.

Der Archäologe tat zwar ‚exakte' Lösung bringen,

doch als Vermesser muß ich oft dagegen singen.

Und zürnt mir nicht, wenn ich daher Probleme

durch die Vermessungsbrille sehe.

Denn These - Antithese

scheint mir keine Hippokrene.

Dient dazu, die Wahrheit suchen, finden.

Eupalinos doch noch zu ergründen.

Wie hat Eupalinos den Tunnel geplant, abgesteckt und gebaut ?
Analysen und Lösungsversuche bietet die nachfolgend aufgeführte Literatur.

Literatur zum Eupalinostunnel

1 Fabricius, E.: Altertümer auf der Insel Samos.
In: Athenische Mitteilungen 9. 1884. 165.

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

3 Tölle-Kastenbein, R.: Herodot und Samos.
(Bochum 1976)

4 Peters, K.: Neues zur Vermessungsgeschichte des Tunnels
auf Samos. In: Der Vermessungsingenieur 30. 1979. 87.

5 Peters, K.: Der Tunnel - das Eupalineion auf der Insel Samos.
Veröffentlichung des Förderkreises Verm.-Techn. Museum .
Bd 8 (Dortmund 1984)

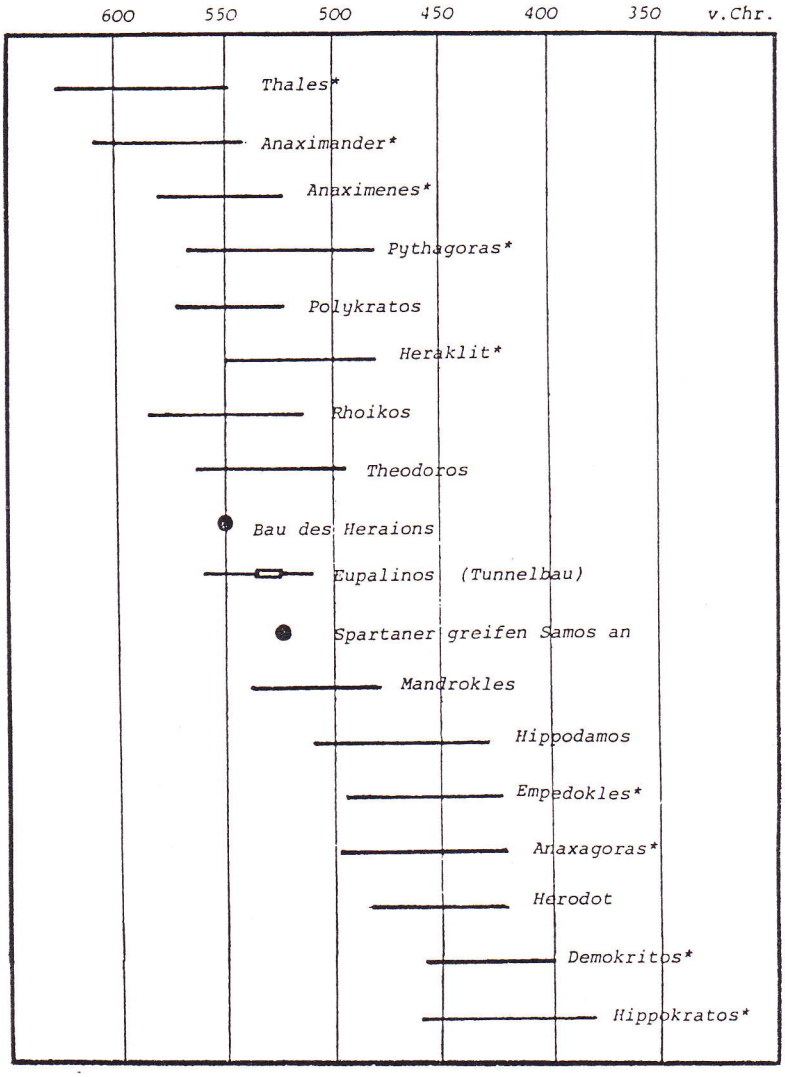
6 Peters, K.: Der Orthogonal-Polygonzug nach Heron. Eine Analyse
der Heronschen Aufgabe im Zusammenhang mit der Absteckung
des Eupalinostunnels auf Samos. In: Der Vermessungsingenieur.
6. 1988. 189.

7 Peters, K.: Meß- und Absteckverfahren beim Tunnelbau im Altertum.
In: Der Vermessungsingenieur. 6. 1991. 248.

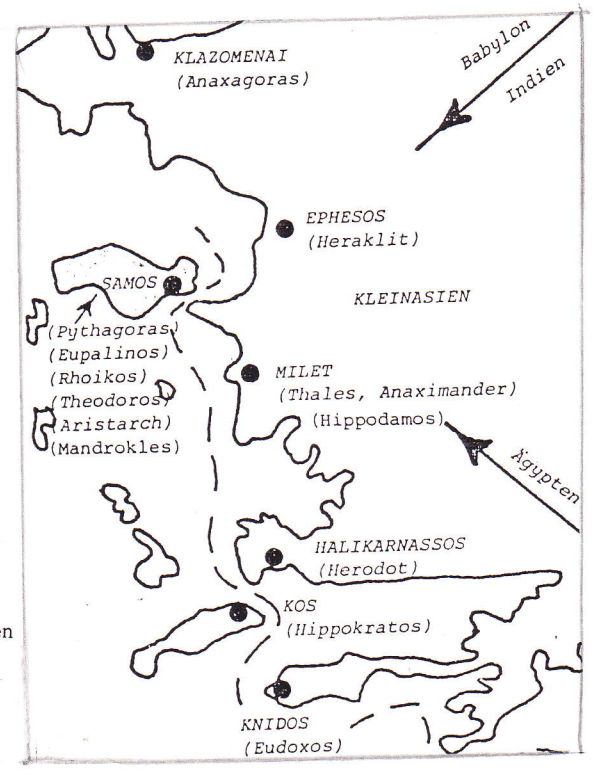
8 Kienast, H.J.: Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos.
Deutsches Archäologisches Institut. Samos. Bd XIX (Bonn 1995)

9 Maidl, B., Koenning, R.: Tunnelbau in der Antike - Das Eupalineon
auf Samos. In: Bauingenieur 72. 1997. 497.

10 Grewe, K.: Licht am Ende des Tunnels. Planung und Trassierung
im antiken Tunnelbau. (Mainz 1998)

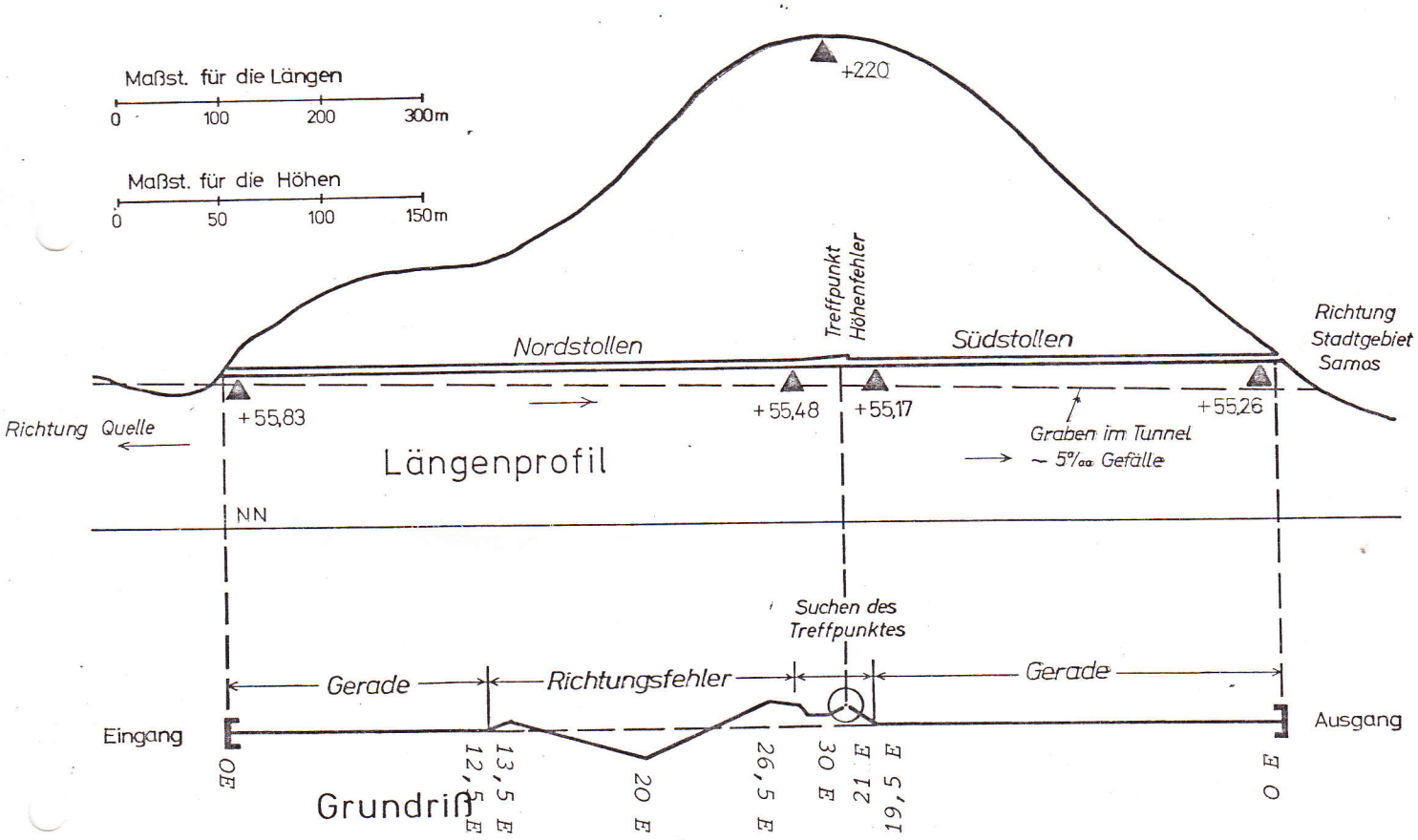


Ungefähre Lebensdaten ionischer Wissenschaftlicher (* = Vorsokratiker) vor, während und nach der Epoche des Tunnelbaus.

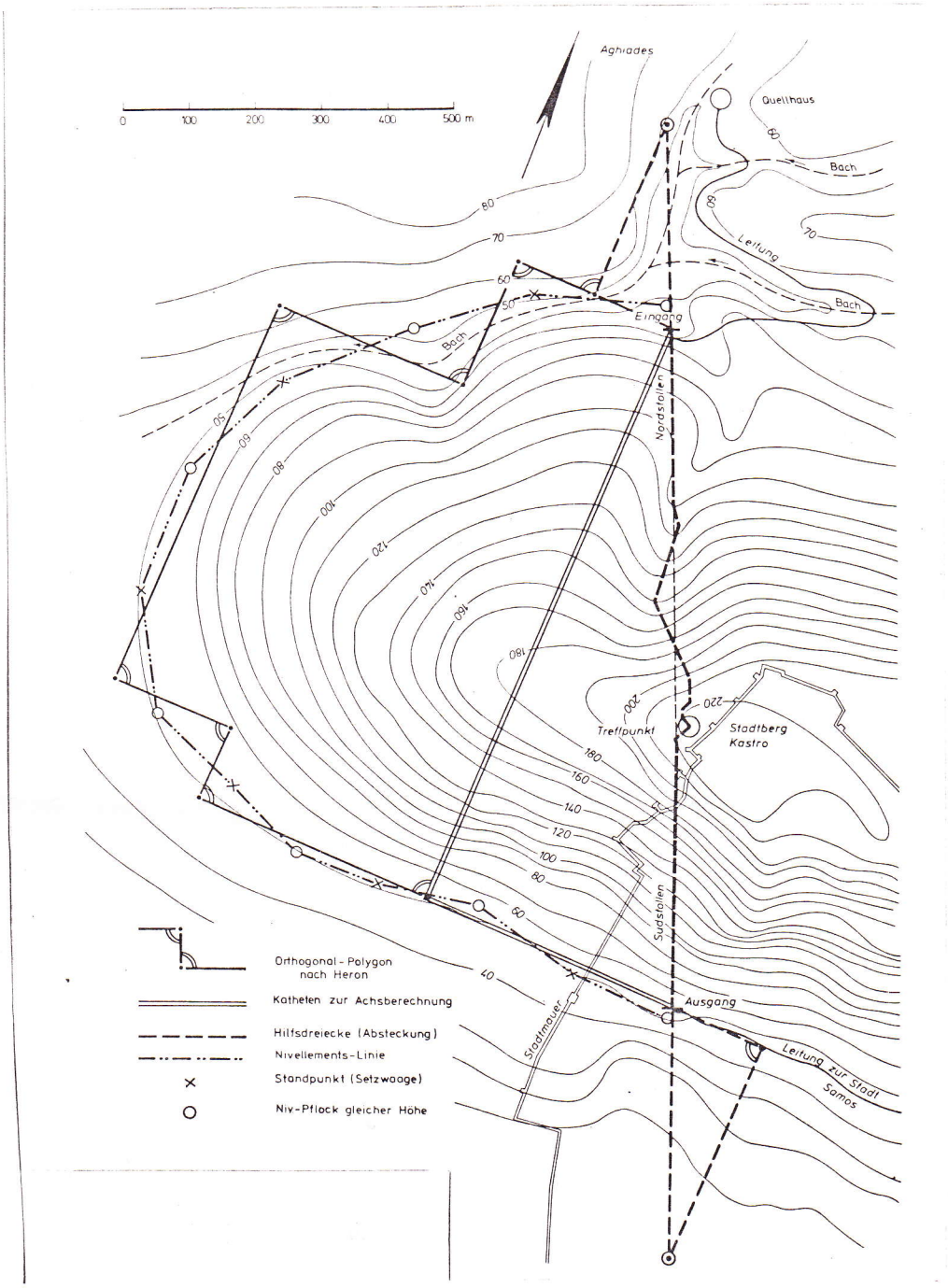


Übersichtsplan der Orte, die mit den Namen ionischer Wissenschaftler verbunden sind.

Längenprofil des Tunnels mit Grundriß und Tunnelmeßsystem



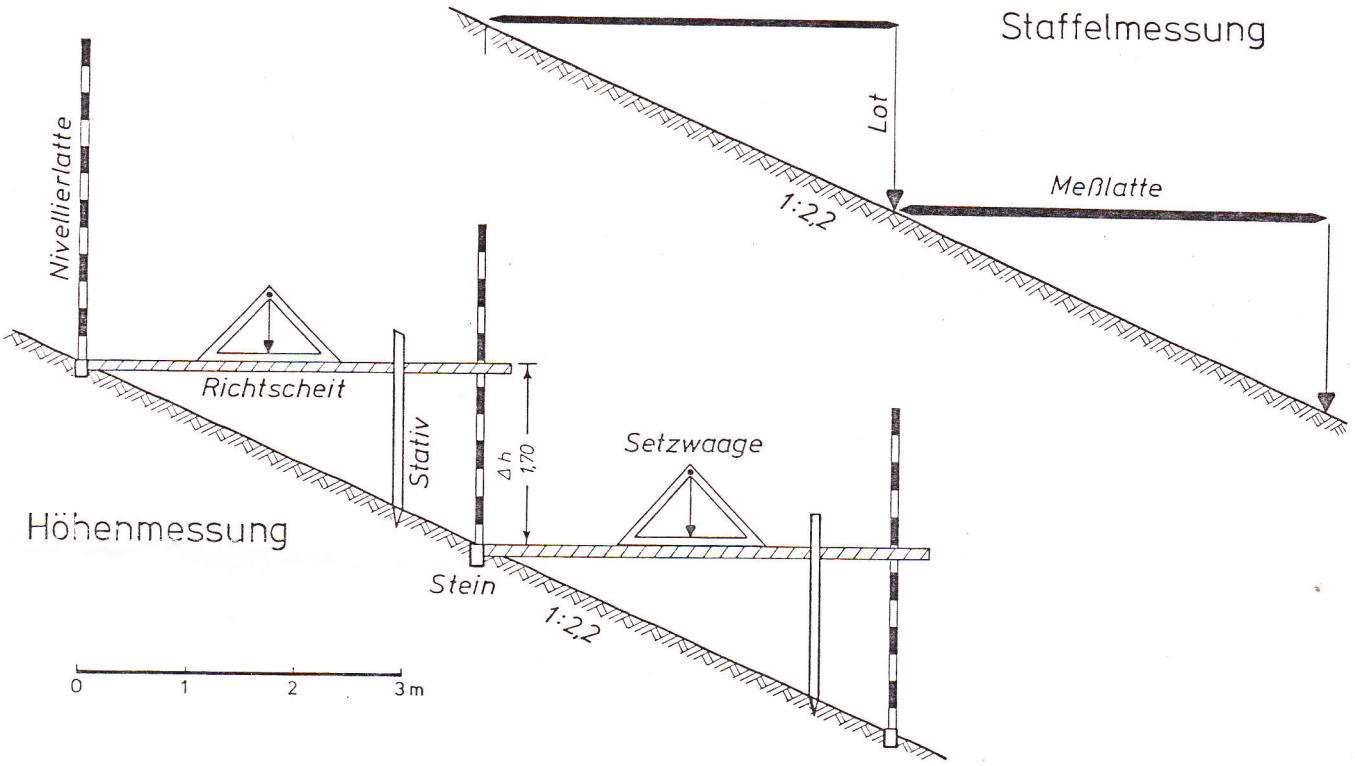
Tunnelmeßsystem: Von Eupalinos an der Tunnelwand angebracht.
Heute noch vorhanden. Beweist den zweiseitigen Vortrieb des Tunnels.
E = Tunnelmeßeinheit mit 20,62 m.
Achslänge des Tunnels = 20,62 x 50 = 1 031,00 m
Baulänge des Tunnels = 20,62 x 51 = 1 051,62 m
Tiefe des Wasserleitungsgrabens im Tunnel: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



Absteckungsmethode nach Heron

Durch Messung des Orthogonalpolygons um den Berg erhält man die beiden Katheten zur Berechnung der Tunnelachse (Hypothenuse).
Absteckung der Richtung für den zweiseitigen Vortrieb mit Hilfe von ähnlichen Dreiecken.
Nivellement um den Berg mit Hilfe der Grundwaage.

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.