

1 Einführung

Tunnel gehören seit über 3000 Jahren zu den anspruchsvollsten Ingenieurbauwerken, da sie bei wechselnden Baugrund- und Grundwasserverhältnissen, unterschiedlichen Überdeckungen und mit den verschiedensten Einflüssen aus der benachbarten Bebauung und der Verkehrsbelastung an der Tagesoberfläche im Untergrund hergestellt werden. Jeder Bauherr, Planer, Mineur und Nutzer freut sich, wenn er am Ende des Tunnels Licht sieht und dies insbesondere bei der Herstellung. Das war auch im Jahr 530 v. Chr. beim Tunnelbaupionier *Eupalinos von Megara* der Fall, der auf der griechischen Insel Samos einen 1.036 m langen Wasserversorgungstunnel aus zwei Richtungen durch einen Berg hindurch im Gegenvortrieb in einer Bauzeit von ca. 10 Jahren herstellen ließ (Bild 1.1). Der Wasserversorgungstunnel war über mehr als 1.000 Jahre (etwa bis ins 7. Jahrhundert n. Chr.) in Betrieb.

Der Eupalinos-Tunnel wurde bei einer Überdeckung von maximal 180 m innerhalb eines festen Kalksteins vorgetrieben. Dabei mussten für den nahezu quadratischen Querschnitt mit Abmessungen von ca. $1,80\text{ m} \times 1,80\text{ m}$ rund 5.000 m^3 Fels ausgebrochen und zutage gefördert werden. Vortriebswerkzeuge waren allein Hammer und Meißel. Zur Erreichung des Vortriebszieles war es zwingend notwendig, die Höhe der Tunneleingänge auf beiden Seiten und die Vortriebsrichtung mit höchster Genauigkeit

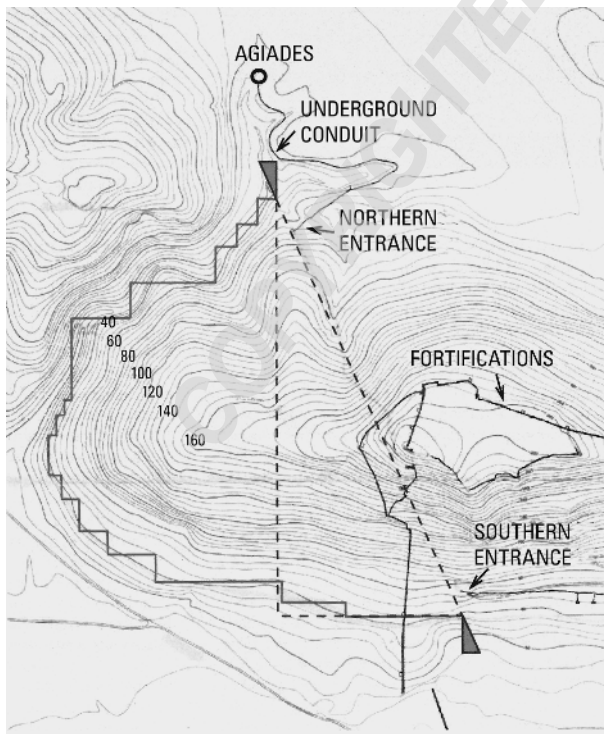


Bild 1.1 Mögliche Art der Vermessung zur Erreichung zielgenauer Vortriebe von beiden Seiten nach [1.1]

zu bestimmen. Das dies gelang, beweisen die Höhenmessungen der Tunnelsohle am Treffpunkt der beiden Vortriebe, die lediglich eine Höhendifferenz von rund 60 cm aufweisen, woraus sich ein Gefälle von etwa 1,1‰ ableiten ließe, würde die Höhendifferenz auf die jeweilige Vortriebslänge der beiden Vortriebe bezogen. Damit liegt der Tunnel baupraktisch horizontal und eben. Um sicherzustellen, dass sich beide Vortriebe auch treffen, ließ *Eupalinos* die Vortriebe kurz vor Erreichen des Treffpunkts in die gleiche Richtung abweichen, sodass sie sich bei gleicher Höhenlage zwangsläufig treffen mussten. Offensichtlich traten bei den Vortriebsarbeiten auch Schwierigkeiten mit dem anstehenden Fels auf, sodass der Vortrieb in einem Teilbereich seine vorgegebene Richtung ändern musste. Ob hierfür gebräches Gebirge, wasserführende Schichten o. Ä. verantwortlich waren, kann nicht mit letzter Sicherheit gesagt werden.

Wie die Erreichung des Vortriebszieles vermessungstechnisch im 6. Jahrhundert v. Chr. gelang, ist bis heute noch nicht eindeutig geklärt. Entweder erfolgte eine Höhen- und eine Abstandsmessung über den Berg hinweg oder um den Berg herum [1.1], [1.2] (Bild 1.2). In beiden Fällen entsteht zwangsläufig eine Summation der bei jeder Einzelmessung zwischen zwei Messpunkten auftretenden Messungenauigkeit, deren absolute Größe auch durch die topografischen Verhältnisse entscheidend mit bestimmt worden sein kann.

Anhand dieses Beispiels aus der Antike wird deutlich, wie wichtig nicht nur die Trassen- und Gradientenplanung eines Tunnelbauwerks, die Feststellung der Bau-

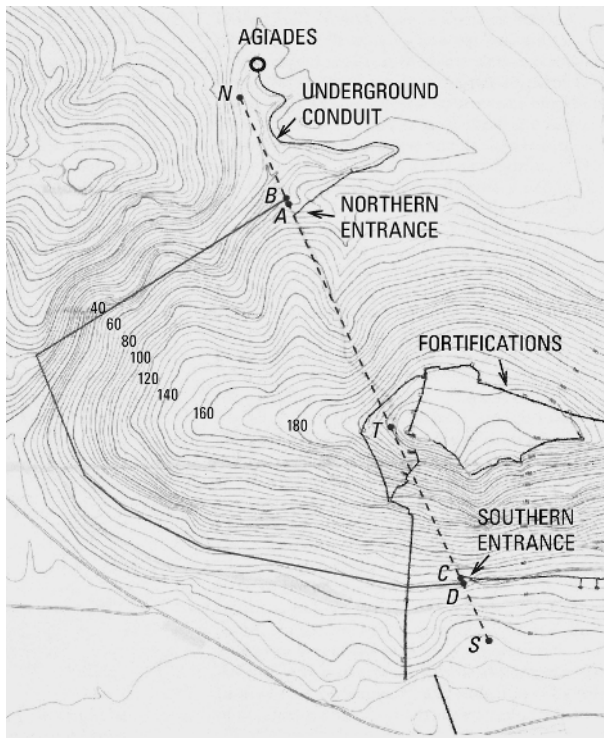


Bild 1.2 Schematische Darstellung der möglichen Höhen- und Abstandsmessung zur Bestimmung der möglichen Richtung für die Tunnelvortriebe aus beiden Richtungen [1.2]

grund- und Grundwasserverhältnisse sowie die Ermittlung der maßgeblichen Einwirkungen und Widerstände und die Wahl des Vortriebsverfahrens sind, sondern darüber hinaus auch die begleitende Vortriebsüberwachung und Kontrolle. Denn schließlich und endlich soll das fertige Tunnelbauwerk nicht nur in seiner Beschaffenheit und Funktion an der Stelle liegen, an der es auch planmäßig vorgesehen war, sondern auch unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte in angemessener Zeit fertiggestellt werden. Der Genauigkeit des Vortriebs kommt daher eine ganz besondere Bedeutung zu. Insbesondere dann, wenn eine langfristige Nutzung oder ein langfristiger Betrieb vorgesehen ist.

Tunnel dienen im Wesentlichen der Ver- und Entsorgung (Wasser, Abwasser, Energie u. Ä.) und dem Verkehr (Straße, Fernbahn, U-Bahn, Fußgänger u. Ä.). Sie werden in unterschiedlichen Bauweisen hergestellt. Unterschieden wird im Allgemeinen in zwei großen Gruppen:

- geschlossene Bauweisen,
- offene Bauweisen.

Von offenen Bauweisen wird gesprochen, wenn das Tunnelbauwerk in einer offenen Baugrube herstellt und anschließend wieder überschüttet wird.

Bei geschlossenen Bauweisen handelt es sich um die klassischen, bergmännischen Vortriebe (universelle Bauweise mittels Bohr- und Sprengvortrieb bzw. Baggerausbruch) oder um maschinelle Vortriebe (Tunnelvortriebsverfahren mittels Tunnelvortriebsmaschinen TVM), überwiegend mit Tunnelbohrmaschinen (TBM). In diesem Handbuch wird für alle Tunnelvortriebsmaschinen die Bezeichnung TBM verwendet, da sie international eine weite Verbreitung gefunden hat.

Behandelt werden alle maschinellen Schildvortriebe ab DN 500, die steuerbar und kontrollierbar sind. Vortriebe, die mittels Schneckenbohr- oder Spülbohrverfahren nicht oder nur bedingt steuerbar sind, scheiden bei den weiteren Betrachtungen ebenso aus wie universelle Vortriebe. Zahlreichen Erfahrungen bei Rohrvortrieben und Tunnelvortrieben mit Tübbingausbau haben hier ihren Niederschlag gefunden. Die in den einzelnen Kapiteln beschriebenen Erfahrungen und Erkenntnisse, die schwerpunktmäßig für Rohrvortriebe oder für Tunnelvortriebe mit Tübbingausbau dargestellt sind, gelten sinngemäß auch für das jeweils andere Verfahren.

Dieses Handbuch soll Grundlage für die Bauvorbereitung (Planung, Ausschreibung), die Vermessung und die Bauüberwachung von Schildvortrieben sein. Folglich richtet es sich an Bauherren, Planer, Prüfer und Ausführende zur Nutzung als technischer Leitfaden für einen sicheren zielgenauen Vortrieb. Darüber hinaus kann es als Lehrbuch im Rahmen der Aus- und Weiterbildung dienen.

