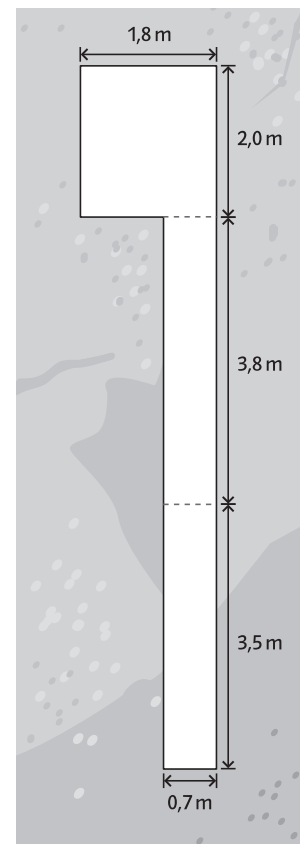
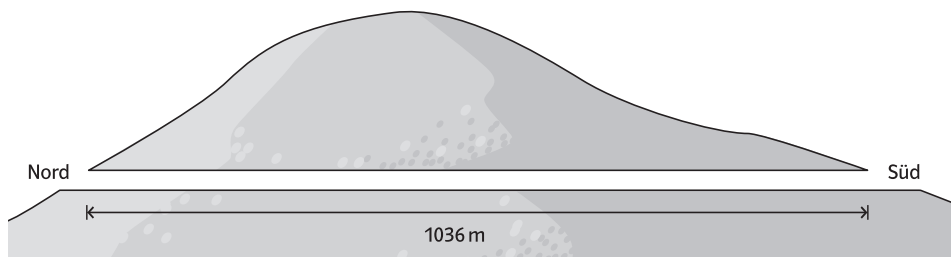


## Der Tunnel des Eupalinos

Vor etwa 2600 Jahren plante und erbaute *Eupalinos* auf der griechischen Insel Samos eine Wasserleitung aus den Bergen in die Stadt Samos (heute Pythagorio). Ein wesentlicher Teil dieser Leitung führte durch den Berg Kastro, erforderte also den Bau eines mehr als 1000 Meter langen Tunnels. Erstaunlicherweise wurde dieser damals weltweit längste Tunnel überhaupt gleichzeitig von beiden Eingängen aus und außerordentlich mühevoll nur mit Hammer und Meißel vorgetrieben. Die Genauigkeit der Planung und Ausführung war so groß, dass sich beim Aufeinandertreffen der beiden Stollen nur ein Höhenunterschied von etwa 60 cm zeigte!

Die Wasserleitung war mehr als 1000 Jahre lang in Betrieb, wurde dann vernachlässigt und aufgegeben. Erst 1882 konnte ein Abt unter Verwendung eines Textes des antiken Schriftstellers Herodot den Tunnel wieder auffinden. Er kann heute auf eine Länge von 150 Metern besichtigt werden.

Die folgenden Zeichnungen zeigen idealisiert den Längsschnitt und den Querschnitt durch diesen Tunnel und den „Leitungsgraben“.



### Aufgaben

- 1 Der eigentliche Tunnel mit näherungsweise rechteckigem Querschnitt verläuft ziemlich genau horizontal durch den Berg.
  - a) Wie viel Material musste man dazu aus dem Fels herauschlagen?
  - b) Wie weit kam jeder der beiden Arbeitstrupps durchschnittlich am Tag voran, wenn der Tunnelbau geschätzte zehn Jahre dauerte?
- 2 Zum Verlegen der eigentlichen Wasserleitung wurde unterhalb des Tunnelbodens ein „Leitungsgraben“ mit durchschnittlich nur 0,7 m Breite herausgearbeitet, der am Nordeingang 3,8 m unter der Tunnelsohle lag, ein konstantes Gefälle aufwies und am Ausgang des Tunnels bis in eine Tiefe von 7,3 m hinunterführte.
  - a) Wie viel Fels wurde für diesen Leitungsgraben herausgebrochen?
  - b) Wie groß war das Gefälle des Grabens (in Prozent)?
- 3 a) Die im Leitungsgraben verlegten Tonrohre mit kreisförmigem Querschnitt hatten einen mittleren Durchmesser von etwa 25 cm. Wie viel Wasser passte in ein Rohrstück der Länge 1 m, wenn es vollständig gefüllt gewesen wäre?
  - b) In einer alten Quelle wird berichtet, dass durch die Leitung täglich etwa 400 Kubikmeter Wasser in die Stadt Samos geleitet wurden. Zu welchem Teil war die Leitung durchschnittlich befüllt, wenn man annimmt, dass das Wasser mit der Geschwindigkeit  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  zu Tal fließt?

Niveaustufen: ○ leicht ● mittel ● schwer

Lernvoraussetzungen	Eignung ab
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Maßverwandlungen bei Längen, Volumina und Zeiten</li> <li>■ Volumenberechnung (Quader, Prisma)</li> <li>■ Berechnung eines Prozentsatzes aus Grundwert und Prozentwert</li> <li>■ Runden</li> <li>■ Umgang mit dem Taschenrechner</li> </ul>	Klassenstufen 6 und 7

## Der Tunnel des Eupalinos – Lösungen

### 1 a) Volumen des Tunnels

Der Tunnel wird als Quader mit den Kantenlängen 1036 m, 2,0 m und 1,8 m aufgefasst.

Daher gilt:

$$V = 1036 \text{ m} \cdot 2,0 \cdot 1,8 \text{ m} \approx 3700 \text{ m}^3$$

Für den eigentlichen Tunnel musste man ungefähr 3700 Kubikmeter Fels ausschlagen.

### b) Täglicher Vortrieb

Unter der Annahme, dass die beiden Arbeitstrupps gleich schnell vorankamen, hätte ein einziger Trupp die doppelte Zeit, also 20 Jahre, für den Bau benötigt. Dies sind 7300 Tage.

Für die durchschnittliche tägliche Strecke gilt daher:

$$s = 1036 \text{ m} : 7300 \approx 0,14 \text{ m}$$

Jeder Arbeitstrupp konnte am Tag etwa 0,14 m im Tunnel vorankommen.

### 2 a) Volumen des Leitungsgrabens

Der Leitungsgraben kann als senkrecht Prisma aufgefasst werden, wovon der obere Teil ein Quader ist, der untere als „halber Quader“ aufgefasst werden kann (siehe Skizze).

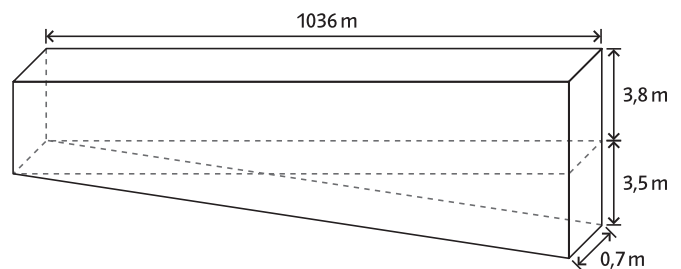
Damit ergibt sich das Volumen:

$$V = 1036 \text{ m} \cdot 3,8 \cdot 0,7 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 1036 \text{ m} \cdot 3,5 \cdot 0,7 \text{ m} \approx 4000 \text{ m}^3$$

### b) Gefälle des Leitungsgrabens

Der Graben fällt auf der Gesamtlänge von 1036 m um 3,5 m ab.

Das Gefälle beträgt daher  $3,5 : 1036 \approx 0,0034$ . Dies sind 0,34 Prozent.



### 3 a) Volumen des Rohrstücks

Das Rohrstück ist ein Zylinder mit dem Durchmesser  $d = 25 \text{ cm}$  (Radius  $r = 0,125 \text{ m}$ ) und der Höhe  $h = 1 \text{ m}$ .

Für das Zylindervolumen gilt:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V = \pi \cdot (0,125 \text{ m})^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$V \approx 0,049 \text{ m}^3$$

Ein vollständig gefülltes Rohrstück der Länge 1 Meter fasste etwa 0,049 Kubikmeter Wasser.

Dies sind 49 Liter.

### b) Wasserdurchfluss je Sekunde

Ein Tag hat 86400 Sekunden. In dieser Zeit flossen 400 Kubikmeter Wasser durch die Leitung.

Durchfluss je Sekunde:

$$400 \text{ m}^3 : 86400 = 400000 \text{ dm}^3 : 86400 \approx 4,63 \text{ dm}^3$$

In jeder Sekunde flossen also etwa 4,63 Kubikdezimeter Wasser durch die Leitung.

Füllung der Leitung

Da das Wasser die angenommene Geschwindigkeit  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  hatte, befanden sich durchschnittlich in einem Rohrstück der Länge 1 Meter immer etwa 9,26 Kubikdezimeter Wasser.

Das Rohrstück konnte etwa 49 Kubikdezimeter Wasser fassen.

Füllanteil:

$$9,26 \text{ dm}^3 : 49 \text{ dm}^3 \approx 0,189$$

Der Leitungsquerschnitt war im Mittel zu ungefähr 19 Prozent mit Wasser gefüllt.