

# EINIGE GRUNDLAGEN DER HYDRODYNAMIK FÜR DIE ANWENDUNG IN DER SPELÄOLOGIE

Zusammengestellt von Rafael Grimm

## Inhaltsangabe:

1. Annahme
2. Voraussetzung
3. Vorgehensweise
4. Hydrodynamische Grundlagen
5. Praktische Tipps
6. Meßwerte

Im folgenden Beitrag soll gezeigt werden, wie mit Hilfe einfachster, hydrodynamischer Grundgleichungen eine Aussage über einen unzugänglichen Höhlenteil gemacht werden kann. Grundlage hierfür kann ein Pumpversuch oder das Aufstauen einer Quelle sein. Dies geschieht anhand eines Beispiels, das während des Internationalen Ausbildungslagers für junge Höhlenforscher 1988 in Schelklingen durchgeführt wurde.

## 1. Annahme

Von der zugänglichen Seite  $A_1$  soll die Seefläche  $A_2$  hinter dem Siphon berechnet werden.

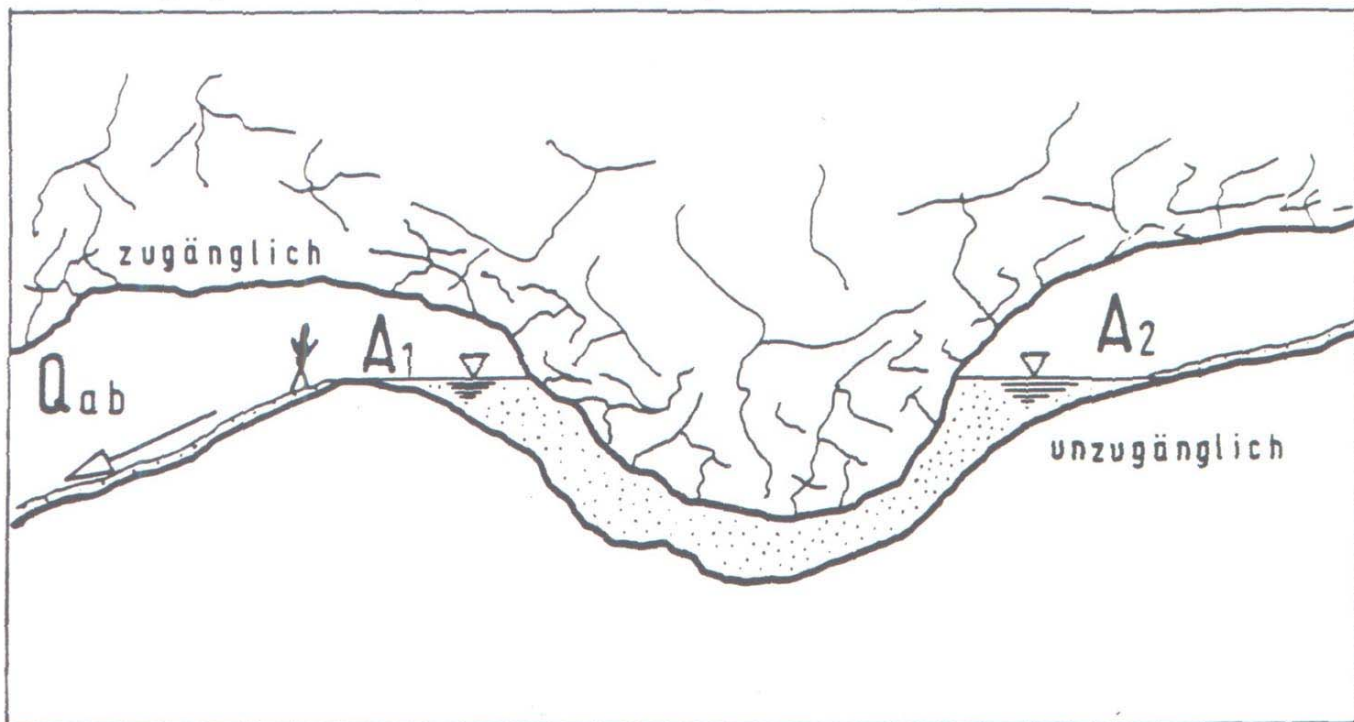


Abb. 1

## 2. Voraussetzung

Der Zufluß ist gleich dem Abfluß; während der Beobachtungszeit ist die Schüttung konstant.  
Man sollte also versuchen, eine klar umrissene Quelle zu untersuchen und keinen Quellstreifen, der sich auf mehrere Meter am Bachbett verteilt. Auch sollte es einige Tage vor der Messung und natürlich während der Messung nicht regnen.

Also:  $Q_{zu} = Q_{ab}$ ,  $Q = \text{konstant}$

### 3. Vorgehensweise

1. Genaues Messen von  $Q_{ab}$
2. Aufstauen von See  $A_1$
3. Restliche Abflußmenge messen (\*)
4. Messung, mit welcher Geschwindigkeit der Wasserspiegel  $A_1$  steigt
5. Fläche  $A_1$  ausmessen
6. Fläche  $A_1 + A_2$  berechnen
7. Fläche  $A_2$  berechnen

(\*) Unter der restlichen Abflußmenge wird das Wasser verstanden, das durch den Staudamm durchsickert; nicht etwa das Wasser, das nach dem Aufstauen über die Dammkrone läuft, dieses ist gleich der Ausgangsschüttung. Bekäme man den Damm also völlig dicht, würde die restliche Abflußmenge wegfallen, die Berechnung bei Punkt 6.1. würde sich vereinfachen.

Die jedoch fast immer abfließende Wassermenge kann man am Damm selber schlecht messen; weiter bachab gibt es aber bestimmt irgendwo ein Wehr oder sonst eine geeignete Stelle, wo das durchsickernde Wasser gemessen werden kann.

### 4. Hydrodynamische Grundlagen

Als Schüttung  $Q$  bezeichnet man eine bestimmte Menge Wasser, die in einer bestimmten Zeit an einem Querschnitt vorbeifließt.

$$Q = \text{Vol}/t \quad (1)$$

$$Q \text{ [m}^3 \text{/s]} \text{ (Schüttung)}$$

$$\text{Vol. [m}^3 \text{]} \text{ (Wassermenge)}$$

$$t \text{ [Sekunden]} \text{ (Zeit)}$$

$Q$  kann also mit einem Plastikeimer und einer Stoppuhr gemessen werden.

Beispiel: Ein 10l Eimer wird in 8 sek. gefüllt.

$$10l = 0,01\text{m}^3 \rightarrow \text{Volumen}$$

$$Q = \text{Vol}/t = 0,01\text{m}^3 / 8\text{sec} = 0,00125 \text{ m}^3 / \text{s} = 1,25 \text{ l/s}$$

Mit der Durchflußgleichung ist es ebenfalls möglich, die Schüttung  $Q$  zu bestimmen.

Sie lautet:

$$Q = V \times A \quad (2), \text{ wobei: } V \text{ [m/sec]} \text{ (Geschwindigkeit), } Q \text{ [m}^3 \text{/sec]} \text{ (Schüttung), } A \text{ [m}^2 \text{]} \text{ (Wasserfläche quer zur Strömungsrichtung; beiseitlicher Strömungsrichtung kann es auch wie im Beispiel eine Seeoberfläche sein, da das Wasser senkrecht nach oben strömt.)}$$

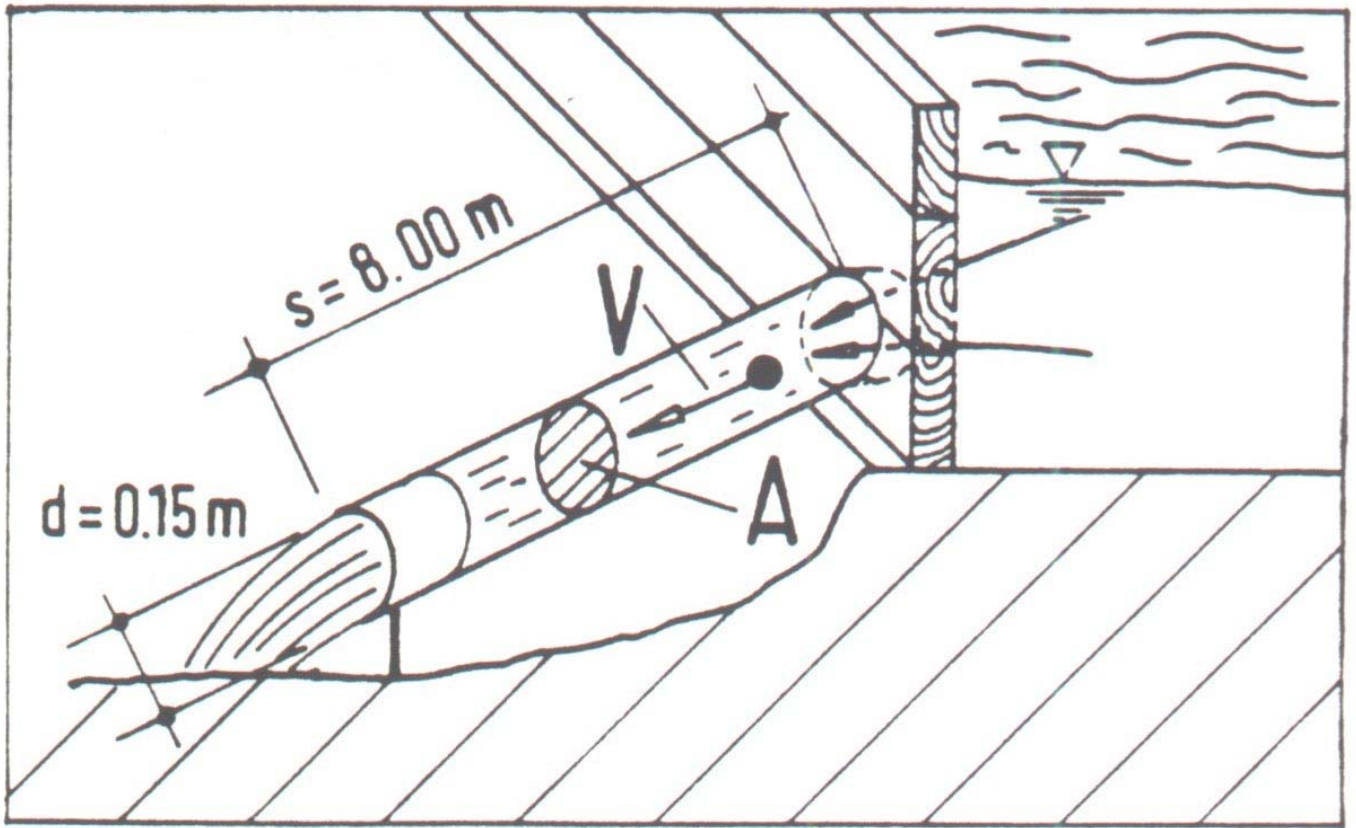


Abb. 2

**Beispiel:**

Durch ein Rohr mit 0,15m Durchmesser und 8,0m Länge fließt Wasser ab. Eine Kugel braucht 6 sec, um vom Wasser durch das Rohr transportiert zu werden. Da das Rohr voll ist, ist A die Querschnittsfläche des Rohres.

$$A = p \times r^2 = 3,14 \times 0,075^2 = 0,0176m^2 \text{ (Rohrquerschnitt)}$$

$$V = s/t = 8,0m/6,0sec = 1,33m/s \text{ (Fließgeschwindigkeit im Rohr)}$$

$$Q = V \times A = 1,33m/s \times 0,0176m^2 = 0,023m^3/s \text{ (Rohrschüttung)}$$

Unter den genannten Bedingungen schüttet das Rohr  $0,023m^3/s$ , das sind umgerechnet 23l/s.

Frage: In welcher Zeit wird ein 10l Eimer bei dieser Schüttung gefüllt?

$$Q = Vol/t \rightarrow t = Vol/Q$$

$$Q = 0,023m^3/s$$

$$Vol = 0,01m^3$$

$$t = 0,01m^3/0,023m^3/s = 0,43s$$

Mit diesen Gleichungen erfolgt die Berechnung der unzugänglichen Seefläche.

**5. Praktische Tipps**

**5.1. Messen von Q**

Bei geringen Schüttungen bis ca. 5l/s kann Q ohne weiteres mit Eimer und Stoppuhr gemessen werden. Es empfiehlt sich, mehrere Messungen zu machen und einen Mittelwert zu bilden. Es ist wichtig, daß die gesamte Wassermenge in den Eimer gelangt. Deshalb empfiehlt es sich, etwa das ganze Wasser über eine Regenrinne oder ähnliches zu bündeln und in den Eimer zu leiten. Bei größeren Wassermengen ist es notwendig, ein Meßwehr zu bauen.

**5.2. Aufstauen des Sees**

Hat man keinen Lehm, um den Damm völlig dicht zu bekommen, kann man auch mit Geröll und einer Plastikplane das

gewünschte Ziel erreichen.

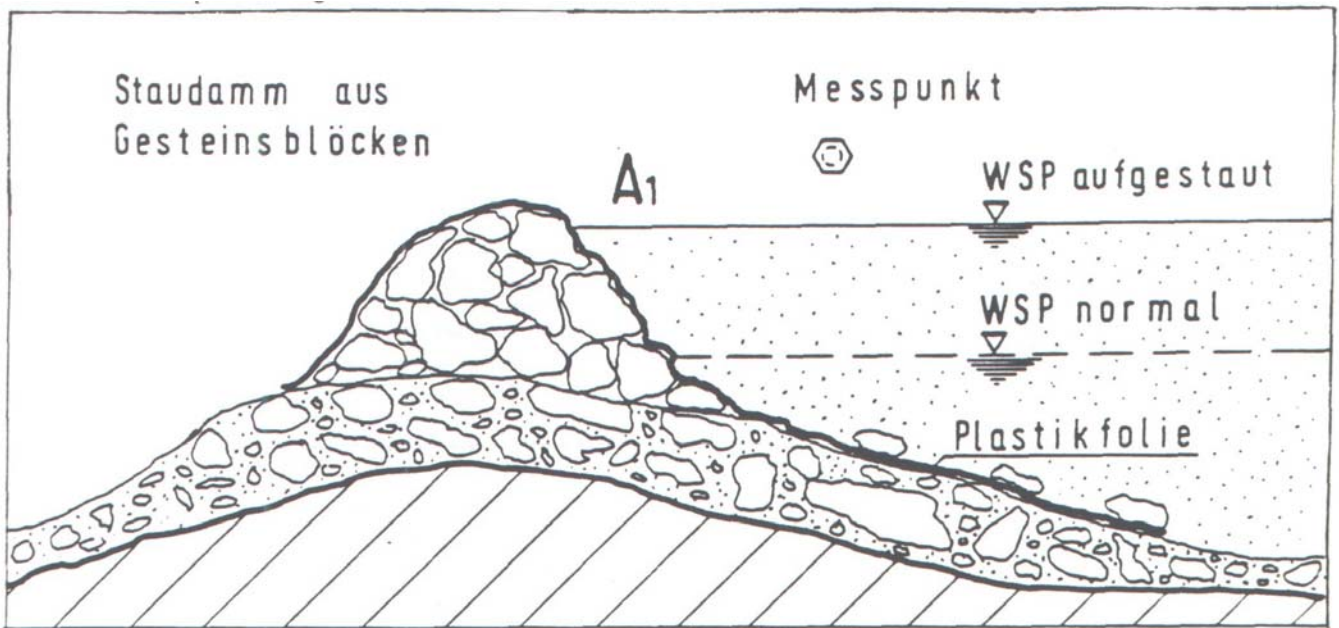


Abb. 3: Staudamm

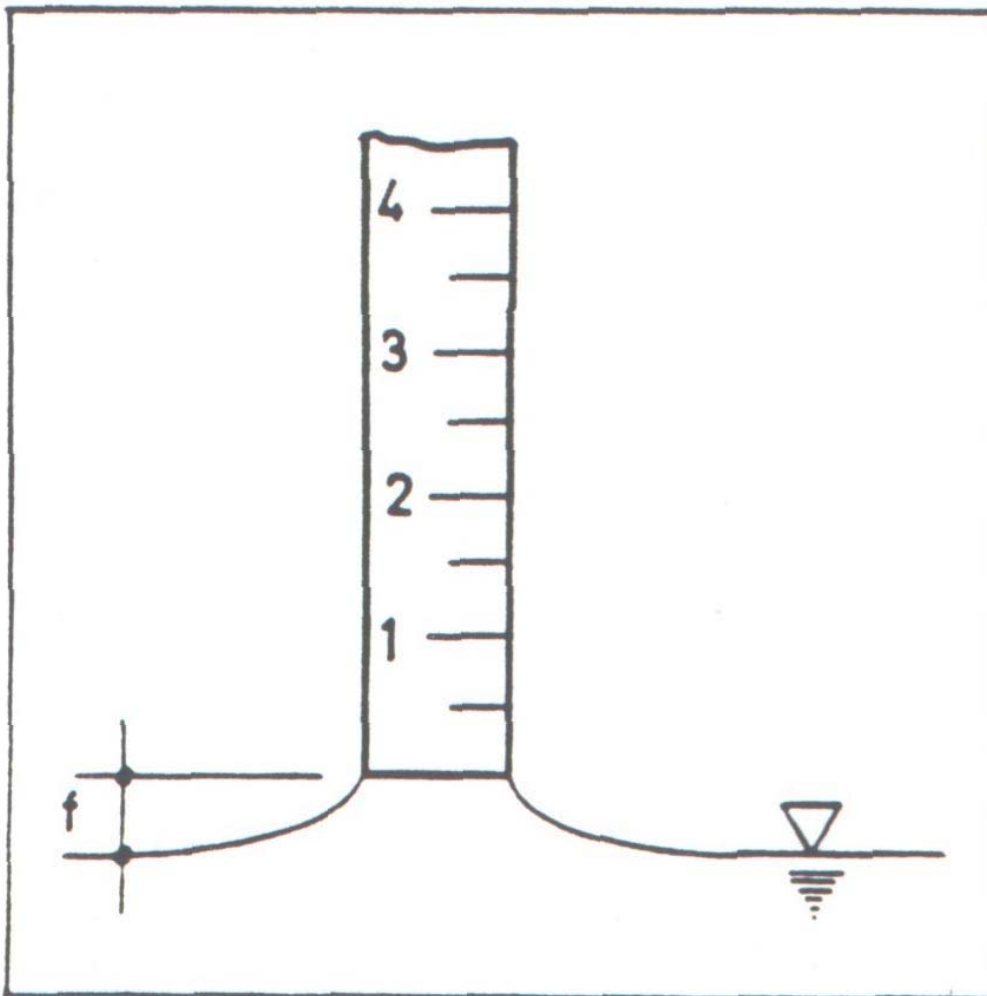


Abb. 4: Fehler durch Kohäsion

### 5.3. Messen des Seespiegels

Es empfiehlt sich, einen oder mehrere Meßpunkte ca. 30-50 cm über dem Ruhewasserspiegel anzubringen (am besten

scharfkantige Felshaken oder Spits mit Schraube). Gemessen wird mit einem Zollstock. Es besteht jedoch die Gefahr, daß Kohäsion die Messung verfälscht:  
Es ist deshalb besser, den Zollstock unten abzusägen und einen Nagel mit Leim oder Tesa so zu befestigen, daß die Spitze den Nullpunkt markiert. Durch etwas Fett oder Öl am Nagel kann man die Kohäsion verringern.  
Langsam wird der Zollstock auf die Wasseroberfläche geschoben, bis er ca. 50% der Zeit die Wasseroberfläche berührt. Nun erfolgt die Ablesung.

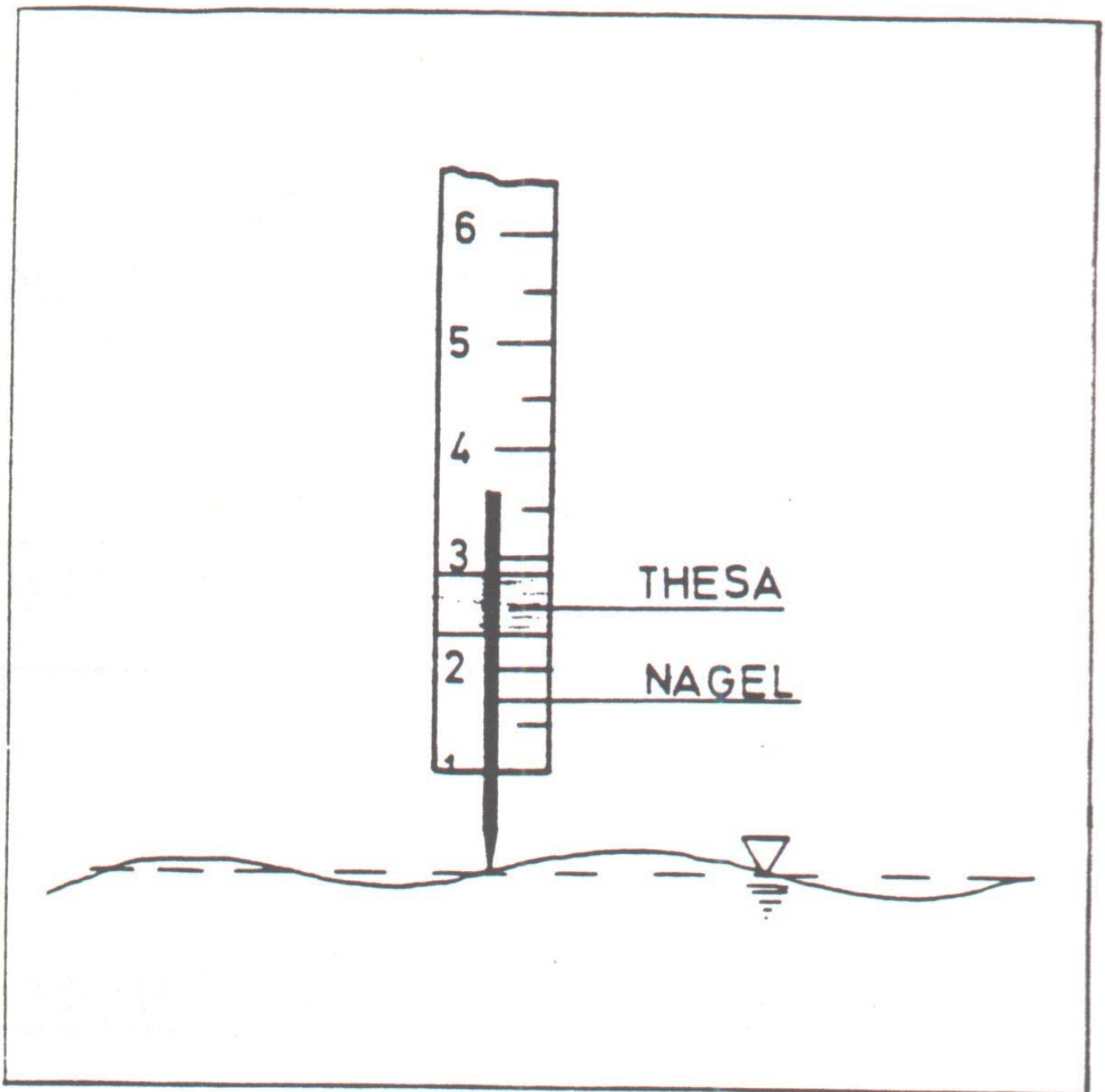


Abb. 5: Genauere Meßmethode

## 6. Meßwerte

### 6.1. Abfluß

Verwendet wird ein 10l Eimer.

<b>Messung Nr.</b>	<b>T vor Aufstau</b>	<b>T nach Aufstau</b>
1	5,4	15,1
2	5,2	15,3
3	5,3	15,4
4	5,2	15,2
5	5,3	15,3

In den beiden rechten Spalten ist die Zeit angegeben, in denen sich der 10l Eimer mit dem Wasser der Quelle füllen ließ. Nun wird zuerst die Schüttung vor und nach dem Aufstau errechnet.

$$Q_{\text{vor Aufstau}}: t_m = [t(1)+t(2)+t(3)+t(4)+t(5)]/5 = [5,4+5,2+5,3+5,2+5,3]/5 = \underline{5,28 \text{ sec}}$$

$$Q = \text{Vol}/t_m = 0,01\text{m}^3/5,28\text{sec} = 0,0019\text{m}^3/\text{sec} = 1,9\text{l}/\text{sec} \text{ (Schüttung vor Aufstau)}$$

$$Q_{\text{nach Aufstau}}: t_m = [15,1+15,3+15,4+15,2+15,3]/5 = 15,26 \text{ sec}$$

$$Q = 0,01\text{m}^3/15,26\text{sec} = 0,00065\text{m}^3/\text{s} = 0,65\text{l}/\text{s} \text{ (Schüttung nach dem Aufstau)}$$

Man sollte kontrollieren, daß der Abfluß während dem Aufstauen konstant bleibt. Hat man den Damm völlig dicht bekommen, entfällt die Berechnung von  $Q_{\text{nach Aufstau}}$

$$\text{Vor dem Aufstau: } Q = 0,0019\text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{Nach dem Aufstau: } Q = 0,00065\text{m}^3/\text{s}$$

-> der Siphon wird mit  $Q=0,00125\text{m}^3/\text{s}$  gefüllt.

## 6.2. Steigen des Wasserspiegels

Messreihe:

t [min]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
s [m]	18,5	17	16	15	13,5	12	11,5	10	9,5	8,5	7,5	7

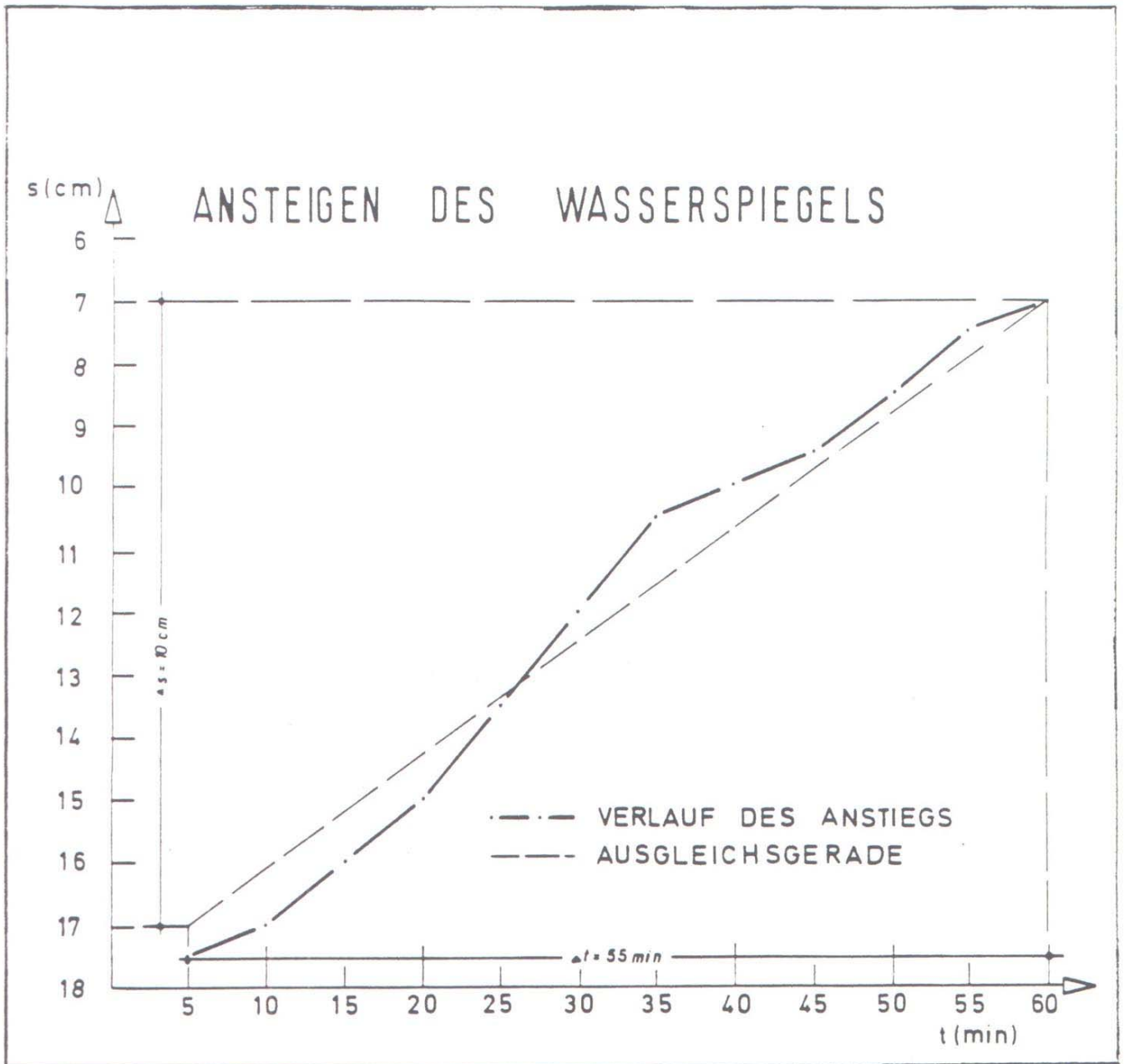


Abb. 6: Ansteigen des Wasserspiegels

$$V = \Delta s / \Delta t = 0,10\text{m} / 3300\text{sec} = 0,000030\text{m/s}$$

$$55\text{min} = 3300\text{s}$$

$$10\text{cm} = 0,10\text{m}$$

### 6.3. Zugängliche Seefläche messen

Die zugängliche Seefläche beträgt ca.  $2\text{m} \times 1\text{m} \rightarrow \text{ca. } 2\text{m}^2 = A_1$

Am besten versucht man, auf die Seefläche ein Raster aus Rechtecken zu legen, die den See ganz abdecken und sich leicht berechnen lassen. In der Praxis reichen dagegen drei bis vier Messungen mit dem Zollstock und etwas Augenmaß, und die Seefläche ist ermittelt.

### 6.4. Berechnung der gesamten Seefläche

Es erfolgt die Berechnung der beiden Seeflächen  $A_1$  und  $A_2$  vor und nach dem Siphon.

$$Q = V \times A \rightarrow A = Q / V$$

$$A_{\text{ges}} = Q / V = (0,00125\text{m}^3/\text{sec}) / (0,000030\text{m}/\text{sec}) = 41,67\text{m}^2$$



### 6.5. Fläche A<sub>2</sub> berechnen

Zum Schluß soll die Seefläche berechnet werden, die aufgrund der Messungen und der Berechnungen hinter dem Siphon zu erwarten ist.

Dazu muß die Seefläche, die uns zugänglich ist, noch von der Gesamtseefläche abgezogen werden.

$$A_2 = A_{\text{ges}} - A_1 = 41,67\text{m}^2 - 2\text{m}^2 = \underline{39,67\text{m}^2}$$

Ergebnis: Es muß mit einer Seefläche von 30-50 m<sup>2</sup> hinter dem Siphon gerechnet werden.

[Inhaltsverzeichnis dieses Jahreshftes](#)

[Weitere Artikel zu diesem  
Themengebiet](#)

[Vorheriger Artikel](#)

[Gesamtübersicht CD-ROM](#)

Weitere Artikel von diesem Autor

[Nächster Artikel](#)