

2.2. Flüssigkeiten

2.2.1. Begriff und Gestalt der Flüssigkeiten

In Flüssigkeiten sind die Moleküle weniger dicht zueinander gelagert als in festen, starren Körpern; sie sind deshalb auch gegeneinander leicht verschiebbar. Obwohl die einwirkenden Kräfte bei Flüssigkeiten und ein gewisses Bestreben nach der Erhaltung des Gleichgewichts der Moleküle vorhanden sind, ist die *Raumbegrenzung* für die Gestaltung der Flüssigkeiten doch allein bestimmend. Die Moleküle befinden sich keineswegs in Ruhe, sondern sie reagieren auf die geringsten einwirkenden Kräfte durch ungeordnete Bewegung nach allen Richtungen.

An der Oberfläche von Flüssigkeiten bestehen Spannungen, die – gleich einer elastischen Haut – gegenüber angreifenden Kräften zusammenhaltend wirken.

Dazu tritt eine Komponente als Kraft auf, die vom Rande aus zur Mitte zieht und so wirkt, als wollte sie die Oberfläche verkleinern. Das zeigt sich z. B. beim Tropfen eines Wasserhahnes. Es sieht aus, als sei die Oberflächenhaut am Rande des Hahnes angeheftet. Der sich immer wieder bildende Tropfen saugt Wasser an, bis seine Masse die entgegenwirkende Kraft übersteigt.

Eine durch eine feste Wand begrenzte Flüssigkeit bildet auf dieser einen zur Wand gerichteten Randwinkel.

Ist der Randwinkel spitz, liegt eine Wandbenetzung vor, ist er stumpf, benetzt die Flüssigkeit nicht.

Ist die Wandfläche völlig mit Flüssigkeitsteilchen überzogen, wie z. B. beim Wasser, ist eine vollkommene Benetzung gegeben.

Wird z. B. ein an beiden Seiten offenes Röhrchen in eine Flüssigkeit gestellt, dann zieht sich diese durch die *Grenzflächenspannung* aufwärts. Das ist deutlich bei einem mit Quecksilber gefüllten Röhrchen zu erkennen. Diese Tatsache zeigt sich auch im Haar-röhrchensystem des Bodens (Kapillarität).

Auch die Flüssigkeiten unterliegen der Schwerkraft. Unter ihrem Einfluß streben homogene Flüssigkeiten stets nach waagrechttem Ausgleich. Ihre Oberflächen sind im Ruhezustand in allen Ebenen stets senkrecht zu der wirkenden Schwerkraft ausgerichtet.

2.2.2. Eigenschaften der Flüssigkeiten

2.2.2.1. Unzusammendrückbarkeit (Inkompressibilität)

In der Physik wird von einer „idealen“ Flüssigkeit gesprochen, im Gegensatz zur natürlichen oder realen. In einer idealen Flüssigkeit bestehen keine inneren Reibungen; mithin ist ihre Zähigkeit verschwindend gering. Die ideale Flüssigkeit wurde hier nur erwähnt, weil sie in der Strömungslehre Bedeutung hat; in der technischen Hydraulik spielt sie in der *Rohrhydraulik* eine Rolle.

Flüssigkeiten, speziell Wasser, werden in der Hydraulik als *unzusammendrückbar* (inkompressibel) betrachtet. Trotzdem bleibt hervorzuheben, daß bei starkem Druck eine geringfügige Volumenveränderung eintritt, die aber bei Druckvernachlässigung sofort wieder in das frühere Volumen zurückgeht. Diese Tatsache wird als *Elastizität* bezeichnet. Der Widerstand des Wassers gegen eine Volumenveränderung ist sehr groß, sein Elastizitätsmodul E_W kann mit Ausnahme von Druckstößen und ähnlichen Vorgängen vernachlässigt werden. E_W von Wasser in Abhängigkeit von Druck und Temperatur:

Tabelle 5

Elastizitätsmodul von Wasser (E_W) in Abhängigkeit von Druck und Temperatur

Druck kp/cm ²	Temperatur °C	E_W 10 ⁴ kp/cm ²
1—25	0	1,9682
	10	2,0664
	20	2,1046
25—50	0	2,0023
	10	2,1005
	20	2,1707

2.2.2.2. Dichte und Wichte

Es ist bekannt, daß Körper von gleichem Volumen verschiedene Massen haben können; sie unterscheiden sich durch ihre Dichte (ρ).

Unter Dichte (ρ) ist das Verhältnis der Masse (m) zur Volumeneinheit (1 cm³) zu verstehen = $\frac{m}{V}$ [g · cm⁻³].

Je größer die Masse von 1 cm³ eines Stoffes ist, umso dichter ist er.

Ähnlich kann auch das Gewicht gleicher Rauminhalte verschiedener Körper verglichen werden, indem der Quotient aus Körpergewicht (G) und Volumen ermittelt wird:

$$\gamma = \frac{G}{V} [p \cdot \text{cm}^{-3}].$$

Das Ergebnis ist die Wichte (γ). Da unter gleichen Verhältnissen Masse und Gewicht proportional sind, gilt das auch für das Verhältnis Dichte zu Wichte, d. h., Wasser hat auch bei 4 °C seine größte Wichte; es gilt:

$$\text{Dichte} = \frac{m}{V} \text{ (Dimension } [g \cdot \text{cm}^{-3}]),$$

$$\text{Wichte} = \frac{G}{V} \text{ (Dimension } [p \cdot \text{cm}^{-3}])$$

$$\text{Dichtezahl} = \frac{m \text{ des Körpers}}{m \text{ einer volumengleichen Wassermenge bei } 4^\circ\text{C}}$$

$$\text{Wichtezahl} = \frac{G \text{ des Körpers}}{G \text{ einer volumengleichen Wassermenge bei } 4^\circ\text{C}}$$

Der Zahl nach sind Dichtezahl und Wichtezahl sowie Dichte und Wichte übereinstimmend. Die Wichte ändert sich aber entsprechend dem Gewicht am Erdort. Werden andere Maßeinheiten als Gramm und Kubikzentimeter zugrunde gelegt, so entsprechen mg mm³, kg dm³, t (Tonne) m³ einander. In Tabelle 6 sind Dichtezahlen verschiedener Stoffe angegeben.

Tabelle 6
Dichte einiger Stoffe

<i>Flüssige Stoffe</i> [g/cm ³]		<i>Feste Stoffe</i> (18 °C) [g/cm ³]	
Wasser (18 °C)	0,9986	Kalium	0,86
Wasser (0 °C)	0,9998	Natrium	0,97
Wasser (4 °C)	1,000	Aluminium	2,70
Glyzerin (18 °C)	1,257	Zink	7,13
Chloroform	1,489	Zinn	7,28
Tetrachlorkohlenstoff	1,594	Eisen	7,86
Benzol (18 °C)	0,879	Kupfer	8,92
Äthylalkohol	0,791	Silber	10,50
Quecksilber (18 °C)	13,551	Gold	19,30
Quecksilber (0 °C)	13,595		
<i>Gase</i> (0 °C, 760 Torr) [g/cm ³]		<i>Verbindungen</i> [g/cm ³]	
Wasserstoff	0,000 089 9	Wasserdampf (100 °C)	0,000 597 7
Helium	0,000 178 5	Methan	0,000 716 8
Stickstoff	0,001 250 5	Kohlendioxid	0,001 292 8
Sauerstoff	0,001 428 9	Luft	0,001 292 8
Chlor	0,003 22	Kohlendioxid	0,001 976 8

2.2.2.3. Zähigkeit

Flüssigkeiten kann man sich physikalisch in hauchdünnen Schichten übereinander gelagert vorstellen. Diese Schichten setzen einer gegenseitigen Verschiebung einen Widerstand, eine innere *Reibung* entgegen. Es ist also eine Kraft vorhanden, die eine innere Reibung auslöst.

Die Kraft, die die innere Reibung verursacht, wird als dynamische Zähigkeit oder auch einfach Zähigkeit bzw. Viskosität bezeichnet.

Diese als Schubspannung zwischen zwei in der Strömungsrichtung benachbarten Parallelschichten auftretenden Kräfte werden als proportional dem Geschwindigkeitsgradienten senkrecht zur Stromrichtung angesprochen. Die *dynamische Zähigkeit* ist für viele Flüssigkeiten eine Stoffkonstante; sie hat das Symbol η und wird in Newtonsekunde/Quadratmeter (Ns/m^2), Vielfachen oder Teilen gemessen.

Tabelle 7

Dynamische Zähigkeit einiger Stoffe

Stoff	$10^3 \cdot \eta \cdot \text{kgm}^{-1} \text{s}^{-1}$		Gase 20 °C $10^6 \cdot \eta \cdot \text{kgm}^{-1} \text{s}^{-1}$	
Wasser	0 °C	1,082	Wasserstoff	8,8
Wasser	10 °C	1,033	Luft	18,1
Wasser	18 °C	1,020	Kohlendioxid	14,7
Benzol	18 °C	0,67	Methan	10,8
Quecksilber	18 °C	1,566	Chlorwasserstoff	14,3
Glyzerin	18 °C	1656,00		
Alkohol	18 °C	1,25		

Bei vielen Strömungsvorgängen wird die *kinematische Zähigkeit* (ν) verwendet, sie ist der Quotient aus dynamischer Zähigkeit (η) und Dichte (ρ) $\nu = \frac{\eta}{\rho}$, ihre Einheit ist $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$; sie wird auch *Stokes* genannt.