



**Universität Stuttgart**

**IHS** **Institut für Strömungsmechanik und  
Hydraulische Strömungsmaschinen**

Prof. Dr.-Ing. Stefan Riedelbauch

## **Technische Strömungslehre**

Skript zur Vorlesung\*

---

\* Stand: März 2016

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Physikalische Eigenschaften der Fluide</b> .....	<b>11</b>
2.1	<b>Fluide als Kontinuum</b> .....	<b>11</b>
2.2	<b>Dichte</b> .....	<b>13</b>
2.3	<b>Schallgeschwindigkeit</b> .....	<b>17</b>
2.4	<b>Viskosität</b> .....	<b>18</b>
2.4.1	Newtonsches Fluid .....	18
2.4.2	Nicht – newtonsche Fluide .....	20
2.4.3	Wirbelviskosität (Turbulenz) .....	21
2.5	<b>Gravitation</b> .....	<b>21</b>
2.6	<b>Kennzahlen und Ähnlichkeitstheorie der Fluidmechanik</b> .....	<b>22</b>
2.6.1	Kennzahlen der Fluidmechanik .....	22
2.6.2	Ähnlichkeitstheorie der Fluidmechanik.....	23
<b>3</b>	<b>Statik der Fluide</b> .....	<b>28</b>
3.1	<b>Allgemeines</b> .....	<b>28</b>
3.2	<b>Druck und Druckkraft</b> .....	<b>28</b>
3.3	<b>Druckverteilung in ruhenden Fluiden</b> .....	<b>30</b>
3.3.1	Flüssigkeiten.....	31
3.3.2	Gase .....	33
3.4	<b>Hydrostatische Druckkräfte</b> .....	<b>35</b>
3.4.1	Kräfte auf ebenen Flächen .....	35
3.4.2	Kräfte auf gekrümmten Flächen .....	37
3.5	<b>Hydrostatischer Auftrieb und Schwimmstabilität</b> .....	<b>39</b>
3.5.1	Auftrieb .....	39
3.5.2	Schwimmstabilität .....	41
3.6	<b>Gleichmäßig beschleunigte Fluide</b> .....	<b>42</b>
3.6.1	Gleichmäßige, lineare Beschleunigung.....	43
3.6.2	Gleichförmige Rotation .....	44
<b>4</b>	<b>Grundgesetze der Fluidmechanik</b> .....	<b>47</b>
4.1	<b>Beschreibungsmethoden von Strömungen</b> .....	<b>47</b>
4.1.1	Betrachtungsweisen nach Lagrange und Euler .....	47
4.1.2	Beschreibungen der Fluidbewegung .....	49
4.2	<b>Kinematik (Bewegungszustand)</b> .....	<b>51</b>
4.2.1	Geschwindigkeitsfeld.....	51
4.2.2	Beschleunigungsfeld .....	54

<b>4.3</b>	<b>Erhaltung der Masse.....</b>	<b>55</b>
4.3.1	Kontrollraum.....	55
4.3.2	Kontrollfaden .....	57
<b>4.4</b>	<b>Erhaltung des Impulses .....</b>	<b>58</b>
4.4.1	Kontrollraum.....	58
4.4.2	Kontrollfaden .....	63
<b>4.5</b>	<b>Erhaltung der Energie .....</b>	<b>64</b>
4.5.1	Kontrollraum.....	64
4.5.2	Kontrollfaden .....	67
4.5.3	Bernoulli Gleichung.....	69
<b>5</b>	<b>Elementare Anwendungen der Bilanzgleichungen.....</b>	<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>Auftriebskraft und Widerstandskraft.....</b>	<b>72</b>
5.1.1	Auftriebskraft eines geraden Flügelgitters .....	72
5.1.2	Auftriebskraft an einem einzelnen Tragflügel.....	76
5.1.3	Ermittlung des Reibungswiderstandes eines umströmten Körpers .....	77
<b>5.2</b>	<b>Hauptgleichung der Strömungsmaschinentheorie (Eulersche Turbinengleichung) .....</b>	<b>79</b>
<b>5.3</b>	<b>Strahlkraft auf einen angeströmten Körper.....</b>	<b>81</b>
<b>5.4</b>	<b>Plötzliche Rohrerweiterung.....</b>	<b>83</b>
5.4.1	Stufendiffusor .....	83
5.4.2	Austritt des Strahls in das Freie.....	85
<b>5.5</b>	<b>Windturbine .....</b>	<b>85</b>
<b>5.6</b>	<b>Turbostrahltriebwerk und Raketenstrahltriebwerk .....</b>	<b>89</b>
5.6.1	Turbostrahltriebwerk.....	90
5.6.2	Raketenstrahltriebwerk .....	91
<b>6</b>	<b>Rohrhydraulik – Strömung dichtebeständiger Fluide in Rohrleitungen .....</b>	<b>92</b>
<b>6.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>92</b>
<b>6.2</b>	<b>Gemittelte Strömungsgrößen über den Strömungsquerschnitt.....</b>	<b>94</b>
<b>6.3</b>	<b>Strömungsmechanischer Energieverlust .....</b>	<b>95</b>
<b>6.4</b>	<b>Ausgangsgleichungen der Rohrhydraulik .....</b>	<b>97</b>
<b>6.5</b>	<b>Strömung in geradlinig verlaufenden langen Rohren .....</b>	<b>98</b>
6.5.1	Voraussetzungen und Annahmen.....	98
6.5.2	Vollausgebildete Rohrströmung .....	100
6.5.3	Vollausgebildete, laminare Rohrströmung .....	103
6.5.4	Rohrreibungszahl $\lambda$ .....	104
<b>6.6</b>	<b>Einbau einer Strömungsmaschine .....</b>	<b>105</b>
<b>6.7</b>	<b>Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>105</b>
6.7.1	Berechnung des Volumenstroms eines Freistrahls.....	106
6.7.2	Bestimmung des Rohrdurchmessers.....	109
6.7.3	Bestimmung von Druckgefälle und Pumpleistung .....	110

<b>7</b>	<b>Differentialgleichungen für ein Fluidelement .....</b>	<b>111</b>
<b>7.1</b>	<b>Massenerhaltung.....</b>	<b>111</b>
<b>7.2</b>	<b>Impulserhaltung .....</b>	<b>114</b>
7.2.1	Navier–Stokes Gleichung: Bewegungsgleichung der laminaren Strömung 117	
7.2.2	Euler Gleichung: Bewegungsgleichung der reibungsfreien Strömung .....	119
7.2.3	Reynolds Gleichung: Bewegungsgleichung der turbulenten Strömung ...	123
<b>7.3</b>	<b>Energieerhaltung .....</b>	<b>126</b>
<b>7.4</b>	<b>Beispiel zur Anwendung der Differentialgleichungen am Fluidelement .....</b>	<b>128</b>
<b>8</b>	<b>Empfohlene Literatur .....</b>	<b>132</b>
<b>9</b>	<b>Verwendete Abkürzungen, Formelzeichen .....</b>	<b>133</b>
<b>9.1</b>	<b>Formelzeichen.....</b>	<b>133</b>
<b>9.2</b>	<b>Griechische Zeichen .....</b>	<b>135</b>
<b>9.3</b>	<b>Indizes.....</b>	<b>135</b>
<b>9.4</b>	<b>Sonstige Bezeichnungen .....</b>	<b>136</b>