

Formelsammlung Strömungsmechanik

I Inhaltsverzeichnis

A	Konstanten und Stoffwerte	- 2 -
A.1	Naturkonstanten	- 2 -
A.2	Molgewichte M verschiedener Stoffe	- 2 -
B	Beziehungen für ideale Flüssigkeiten und ideale Gase	- 2 -
B.1	Ideale Flüssigkeit	- 2 -
B.2	Ideales Gas	- 2 -
B.3	Ideales Gasgesetz/Thermische Zustandsgleichung	- 2 -
B.4	Ideales Gasgesetz/Kalorische Zustandsgleichung	- 2 -
B.5	Zustandsänderungen.....	- 3 -
B.6	Spezifische Wärmekapazitäten	- 3 -
B.7	Werte für ausgewählte spezifische Wärmekapazitäten.....	- 3 -
C	Gleichungen der Strömungsmechanik.....	- 4 -
C.1	Stehenden Fluide.....	- 4 -
C.2	Bewegte Fluide	- 4 -
C.3	Navier-Stokes-Gleichung für inkompressible zweidimensionale Fluide.....	- 5 -
C.4	Dimensionslose Kennzahlen	- 4 -
C.5	Gasdynamik	- 5 -

II Formelsammlung

A Konstanten und Stoffwerte

A.1 Naturkonstanten

Name	Formelzeichen	Werte und Einheit
Allgemeine Gaskonstante	R_m	8.31451kJ / (kmolK)

A.2 Molgewichte M verschiedener Stoffe

Stoff	Chemisches Formelzeichen	Werte und Einheit
Luft (trocken)		28.9647kg / kmol
Kohlenstoff	C	12.01115kg / kmol
Wasserstoff	H_2	2.01594kg / kmol
Helium	He	4.0026kg / kmol
Sauerstoff	O_2	31.9988kg / kmol
Stickstoff	N_2	28.0134kg / kmol

B Beziehungen für ideale Flüssigkeiten und ideale Gase

B.1 Ideale Flüssigkeit

Volumenänderung bei Erwärmung: $V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta t)$

B.2 Ideales Gas

Beziehung zwischen dem Molgewicht M und dem Gewicht eines Stoffes m : $m = n \cdot M$

Analog ist das molare Volumen definiert: $V_m = \frac{V}{n}$

B.3 Ideales Gasgesetz/Thermische Zustandsgleichung

Ideales Gasgesetz (massenabhängig): $p \cdot V = n \cdot R_m \cdot T = m \cdot R \cdot T$

Ideales Gasgesetz (massenunabhängig): $p \cdot v = R \cdot T$

B.4 Ideales Gasgesetz/Kalorische Zustandsgleichung

Für ideale Gase: $\Delta H_{12} = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$

Für ideale Gase: $\Delta U_{12} = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$

B.5 Zustandsänderungen

$p \cdot v^n = const.$	Isochore $v = const.$	Isobare $p = const.$	Isotherme $T = const.$	Isentrope $s = const.$
Exponent n	$\pm \infty$	0	1	κ
	$v = const.$	$pv^0 = const.$	$pv^1 = const.$	$pv^\kappa = const.$
Zustandsänderung	$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$	$\frac{T_2}{T_1} = \frac{v_2}{v_1}$	$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2}$	$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\kappa-1}$ $\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$ $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^\kappa$

B.6 Spezifische Wärmekapazitäten

Name	Formelzeichen	Einheit	Bestimmungsgleichung
Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	c_p	$[kJ / (kg \cdot K)]$	
Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen	c_v	$[kJ / (kg \cdot K)]$	
Spezifische Gaskonstante	R	$[kJ / (kg \cdot K)]$	$R = c_p - c_v$
Isentropenkoeffizient	κ	$[-]$	$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$

B.7 Werte für ausgewählte spezifische Wärmekapazitäten

Stoff	Wärmekapazität	Wert und Einheit
Luft (trocken)	c_p	$1004.5J / (kgK)$
Wasserdampf	c_p	$1860J / (kgK)$

C Gleichungen der Strömungsmechanik

C.1 Stehenden Fluide

Hydrostatische Grundgleichung

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g$$

(z-Richtung positiv entgegen der Erdbeschleunigung):

Auftrieb:

$$A = \rho_w g V_{\text{Körper}}$$

C.2 Bewegte Fluide

Massenerhaltung:

$$\dot{m} = \rho \cdot c \cdot A = \text{const}$$

Energieerhaltung für stationäre Fließprozesse:

$$-\alpha_{R12} + q_{12} + w_{12} = h_2 - h_1 + \frac{1}{2} \cdot (c_2^2 - c_1^2) + g \cdot (z_2 - z_1)$$

Bernoulli-Gleichung für stationäre Fließprozesse (ohne Wärmetransport)

$$\frac{1}{2} \cdot (c_2^2 - c_1^2) + \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{\rho} dp + g \cdot (z_2 - z_1) = w_{12} - \alpha_{R12}$$

Für inkompressible Fluide $\rho = \text{const.}$:

$$-\alpha_{R12} + w_{12} = \frac{1}{\rho} \cdot (p_2 - p_1) + \frac{1}{2} \cdot (c_2^2 - c_1^2) + g \cdot (z_2 - z_1)$$

$$+ \alpha_{R12} + q_{12} = u_2 - u_1$$

C.3 Dimensionslose Kennzahlen

Reynoldszahl :	$Re = \frac{\rho \cdot c \cdot l}{\eta}$	$\frac{\text{Trägheitskraft}}{\text{Reibungskraft}}$
Machzahl :	$Ma = \frac{c}{a}$	$\frac{\text{Trägheitskraft}}{\text{Elastische Kräfte}}$
Eulerzahl :	$Eu = \frac{p}{\rho \cdot c^2}$	$\frac{\text{Druckkraft}}{\text{Trägheitskraft}}$
Prandtlzahl :	$Pr = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda}$	$\frac{\text{innere Reibung}}{\text{Wärmeleitung}}$
Kraftbeiwert	$c_w = \frac{W}{0.5 \rho c^2 A}$	$\frac{\text{Kraft}}{\text{Trägheitskraft}}$

C.4 Navier-Stokes-Gleichung für inkompressible zweidimensionale Fluide

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \rho \cdot g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \rho \cdot g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

C.5 Gasdynamik

Beziehungen in Abhängigkeit der Machzahl

Druck: $\frac{p}{p_{tot}} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} Ma^2 \right)^{-\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$

Temperatur: $\frac{T}{T_{tot}} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} Ma^2 \right)^{-1}$

Dichte: $\frac{\rho}{\rho_{tot}} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} Ma^2 \right)^{-\frac{1}{\kappa - 1}}$

Schallgeschwindigkeit: $\frac{a}{a_{tot}} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} Ma^2 \right)^{-\frac{1}{2}}$

Kritische Flächenverhältnis: $\frac{A^*}{A} = \frac{Ma}{\left[\frac{2}{\kappa + 1} \cdot \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} Ma^2 \right) \right]^{\frac{\kappa + 1}{2 \cdot (\kappa - 1)}}} = \frac{\left(\frac{p}{p_{tot}} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{p}{p_{tot}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}}}{\sqrt{\frac{\kappa - 1}{2} \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa - 1}}}}$

Größen über den senkrechten Verdichtungsstoß:

Dichteverhältnis: $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(\kappa + 1) \cdot Ma_1^2}{2 + (\kappa - 1) \cdot Ma_1^2}$

Druckverhältnis: $\frac{p_2}{p_1} = 1 + 2 \frac{\kappa}{\kappa + 1} (Ma_1^2 - 1)$

