

Kontinuität:  $\frac{dm}{dt} = \int_V \frac{d\rho}{dt} dV + \int_S \rho \cdot \underline{u} \cdot \underline{n} dS = 0$

S... A  
 n... Normalenvektor  
 (zeigt aus KV raus)  
 u... q... v

parabolisches Geschwindigkeitsprofil:  $dS = r dr d\phi dz$

inkompressibel:  $\text{grad } \underline{u} = \nabla \cdot \underline{u} = 0$  wirbelfrei:  $\text{rot } \underline{u} = 0$

Impuls:  $\frac{dp}{dt} = \int_V \frac{\partial \rho \underline{u}}{\partial t} dV + \int_S \rho \cdot \underline{u} \cdot (\underline{u} \cdot \underline{n}) dS = - \int_S p \underline{n} dS + \sum F$

Impulssatz in  $x_i$ -Richtung einzeln aufstellen:  $x_i \Rightarrow \underline{u} \cdot (\underline{u} \cdot \underline{n}) \stackrel{!}{=} u_{x_i} \cdot (u_{x_1} n_{x_1} + u_{x_2} n_{x_2})$  mit  $\underline{u} = \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{x2} \end{bmatrix}, \underline{n} = \begin{bmatrix} n_{x1} \\ n_{x2} \end{bmatrix}$

Bernoulli:  $p + \rho gh + \frac{\rho}{2} q^2 = \text{const.}$   $G \dots$  Potential  $G = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \omega^2 r \\ g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ x_1 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \omega^2 r^2 - gx \end{bmatrix}$

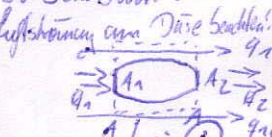
irrotational:  $\int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial q}{\partial t} ds + \frac{1}{2} q^2 \Big|_{s_1}^{s_2} + \int_{s_1}^{s_2} \frac{dp}{\rho} + G \Big|_{s_1}^{s_2} = 0$

bei Verlusten:  $\dots = \dots + \Delta p_{\text{Ver}}$   $\Delta p_{\text{Ver}} = \frac{\rho}{2} \sum \zeta_i q^2 \left( \sum \zeta_i + 2 \cdot \frac{l}{d} + \zeta_A \right)$

$q = \frac{\dot{V}}{A}$   $\sum \zeta_i \dots$  Verluste aus Tabelle / Winkel Krümmung

$q(z) = q_1 \left(1 - \frac{z}{H}\right)$   $\zeta_A \dots = 1$  bei Ausfluss in großen Behälter / = 0 sonst

bei Schubum Düse  $2 \cdot \frac{l}{d} \dots$  Verlust durch Rohr ( $\zeta$  aus Tabelle Skript S. 77)



$d = d_{\text{hydr}} = 4 \cdot \frac{A_F}{L_F}$  bei Kanal  $\left[ d_{\text{hydr}} = \frac{4 \cdot (b \cdot h)}{2 \cdot (b+h)} \right]$  (S. 78)

bei Drucksprung:  $\dots = \dots + \Delta p_{\text{Ver}} + \Delta p_{\text{Dr}}$   $\rightarrow$  Bernoulli gl. über gesamtes System

Gasdynamik: allg:  $\frac{p}{\rho} = RT$   $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$   $p \cdot \dot{V} = \dot{m} R T$

bei krit. Querschn.  $Ma = 1$  Schallgeschw.  $a = \sqrt{\gamma R T} = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}$  Öffnungswinkel:  $\sin \alpha = \frac{1}{Ma}$

$Ma = \frac{q}{a}$  /  $R = c_p - c_v / \gamma = \frac{c_p}{c_v} / \gamma = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R$  /  $h = c_p \cdot T$

diff. Bernoulli:  $\frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{p}{\rho} + \frac{q^2}{2} = \text{const.} = h + \frac{q^2}{2}$

diff. Impuls:  $\rho \cdot q dq + dp = 0$

Isentropenbez:  $\frac{p}{p_{\text{ref}}} = \left( \frac{T}{T_{\text{ref}}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = \left( \frac{\rho}{\rho_{\text{ref}}} \right)^{\gamma}$

nach Stöp:  $Ma < 1$

Tabelle: S. 97ff rechr. Verdichtungsstöp: Erhaltungssätze: S. 43

für  $Ma > 1$  (für  $Ma = 1$ :  $x_1 = 1$ ,  $x_2 = 1$ )

$\frac{q_2}{q_1}$	$= \frac{2}{\gamma + 1} \frac{1}{Ma_1^2} + \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}$
$\frac{\rho_2}{\rho_1}$	$= \left( \frac{2}{\gamma + 1} \frac{1}{Ma_1^2} + \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right)^{-1}$
$\frac{p_2}{p_1}$	$= \left( \frac{2\gamma}{\gamma + 1} Ma_1^2 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right) \left( \frac{2}{\gamma + 1} \frac{1}{Ma_1^2} + \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} \right)^{\gamma}$
$\frac{p_0}{p_1}$	$= \frac{2\gamma}{\gamma + 1} Ma_1^2 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}$

Ausströmung:  $q^2 = \frac{2\gamma}{\gamma - 1} \frac{p_0}{\rho_0} \left( 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right)$   
 Tabelle: S. 90ff  
 Skript: S. 61/62  $= \frac{2\gamma}{\gamma - 1} RT_0 \left( 1 - \frac{T}{T_0} \right)$   
 $= \frac{2\gamma}{\gamma - 1} \frac{p_0}{\rho_0} \left( 1 - \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right)$