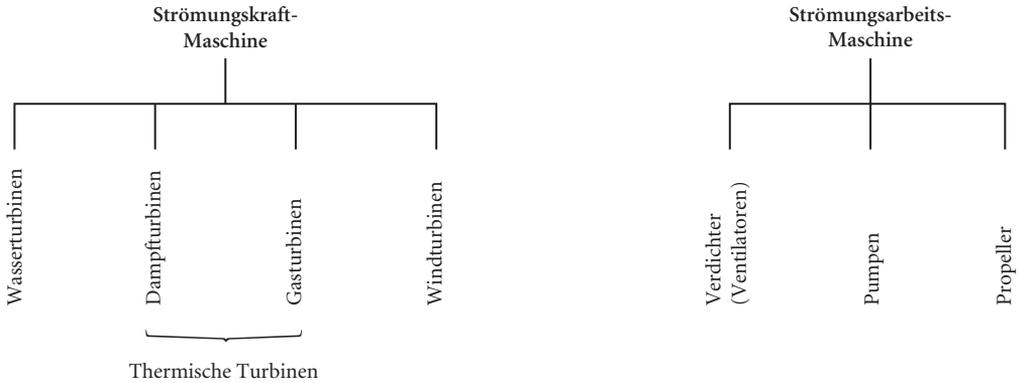


2 Strömungsmaschinen



In Strömungsmaschinen wird von einem mit Schaufeln bestückten Läufer oder Rotor an ein kontinuierlich strömendes Fluid entweder **Arbeit übertragen** und ihm dadurch **Energie zugeführt**; an der Welle der angetriebenen **Arbeitsmaschinen** ist mechanische Leistung aufzuwenden; oder dem Fluid wird **Energie entzogen** und in **mechanische Arbeit umgewandelt**: die treibende **Kraftmaschine** gibt Leistung an der Welle ab.

Grundsätzlich könnte man aus jeder *Kraftmaschine* durch Umkehrung der Strömungs- und Drehrichtung eine *Arbeitsmaschine* machen (Ausnahme Wasser-Freistrahlturbine). Der Wirkungsgrad hierbei wäre jedoch schlecht, da in den umgekehrt durchströmten Kanälen zu starke Erweiterung und daher Ablösung erfolgt. Mit kleineren Verlusten könnte umgekehrt eine *Arbeitsmaschine* als *Kraftmaschine* laufen. Angewendet wird dies bei *Pumpenturbinen* für Speicherkraftwerke, wenn ein schlechterer Gesamtwirkungsgrad in Kauf genommen wird. Denn Francis-Laufräder können grundsätzlich als Pumprad eingesetzt werden. Bei diesem Kompromiss des Gesamtwirkungsgrades ist der große Vorteil der geringere Bauaufwand.

Die Energieträger der Strömungsmaschine sind:

- Gase und Dämpfe bei thermischen Strömungsmaschinen,
- Wasser bei hydraulischen Strömungsmaschinen,
- Luft bei Windturbinen/Propellern etc.

2.1 Theoretische Grundlagen

Während die Bernoulli'sche Gleichung eine Aussage über den Geschwindigkeits- und Druckzustand längs eines Stromfadens macht, befasst sich der **Impulssatz** mit den Kräften die das strömende Medium auf seine Systemgrenzen, das heißt auf die durchflutete Stromröhre ausübt.

Unter dem Impuls $I^x)$ einer mit der Geschwindigkeit c bewegten Masse m versteht man:

$$I = m \cdot c \quad [\text{kg} \cdot \text{m/s}] \quad (26)$$

(I und c sind Vektoren)

Die zeitliche Änderung des Impulses ist nun gleichbedeutend mit der *geometrischen Summe* aller an der Masse angreifenden Kräfte F .

Das Newton'sche Grundgesetz der Dynamik lautet: Kraft = Masse \times Beschleunigung

$$F = m \cdot \frac{dc}{dt} = \dot{m} \cdot c = \frac{dI}{dt} = \dot{I} \quad [\text{kg/s} \cdot \text{m/s} = \text{N}] \quad (27)$$

$$\dot{I} = \text{Impulsstrom} [\text{N}] = \sum_{\text{geom.}} F$$

Die Reaktions- oder Rückstoßkräfte

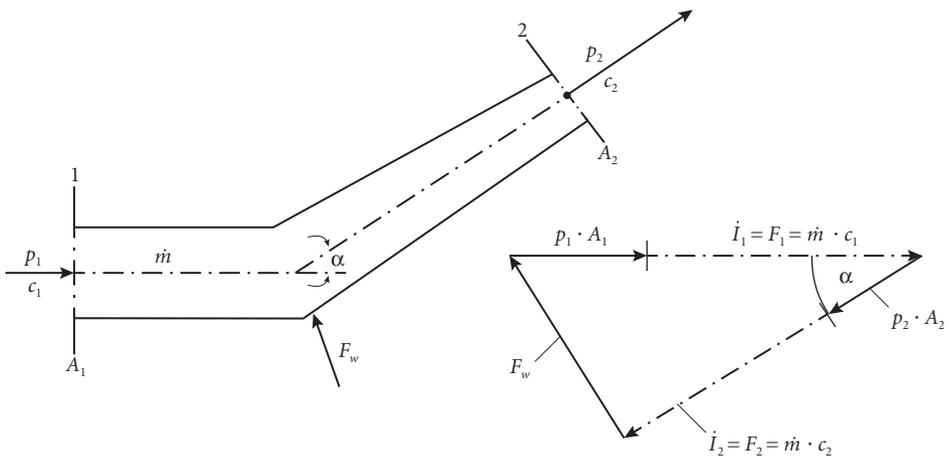


Abb. 19: Geometrische Summe aus: Impulskräfte und Druckkräfte = Wandkraft F_w

$$\dot{m} = \varrho \cdot c_1 \cdot A_1 = \varrho \cdot c_2 \cdot A_2$$

$$p \cdot A = \text{Druckkraft}$$

^{x)} Der Impuls kommt aus der Mechanik und ist eine gerichtete Größe (Vektor); seine Richtung deckt sich mit der Richtung von c .

Die Druckkräfte werden gemeinsam mit den Impulskräften vektoriell addiert. Zwischen (1) und (2) herrscht die Bernoulli-Gleichung:

$$p_1 + \frac{\rho}{2} \cdot c_1^2 = p_2 + \frac{\rho}{2} \cdot c_2^2$$

Nun ist die von der Flüssigkeit ausgeübte Reaktionskraft F_R nach dem Wechselwirkungsgesetz der Wandkraft F_W entgegengesetzt.

F_R ist die Resultierende aus den Kräften:

$$p_1 \cdot A_1 + \dot{m} \cdot c_1 \text{ und } p_2 \cdot A_2 + \dot{m} \cdot c_2$$

Die Komponenten der Reaktionskraft F_R bezogen auf das Koordinatensystem sind F_{R-X} und F_{R-Y} .

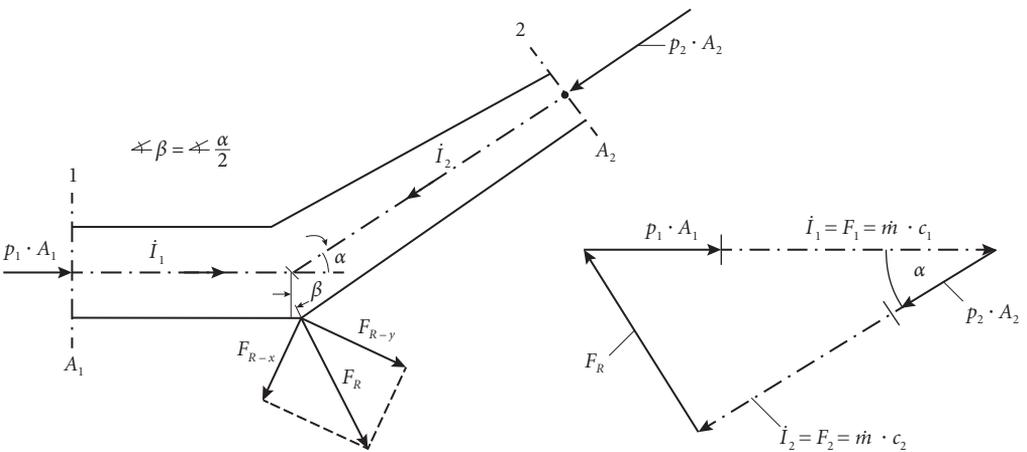
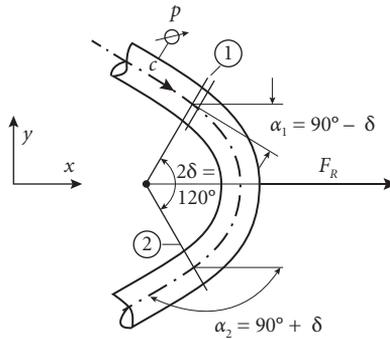


Abb. 19a: Zu Abb. 19 die Reaktionskräfte

Beispiel 6: Rohrkrümmer $d = 100 \text{ mm}^\varnothing$, $\dot{V} = 2 \text{ m}^3/\text{min}$, Reibung vernachlässigt, $p = 1,5 \text{ bar}$ (Ü)
 Wie groß ist die Reaktionskraft F_R bei Wasser $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$?



$$F_R = F_{R-X}, F_{R-Y} = 0$$

$$A = d^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0,1^2 \cdot 0,785 = 0,00785 \text{ m}^2$$

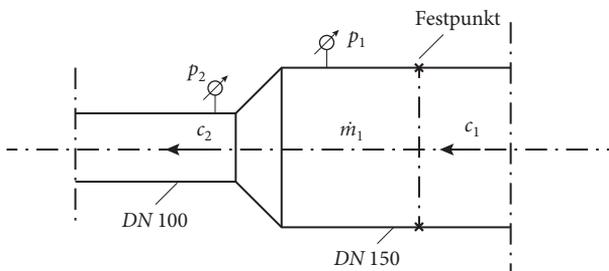
$$c = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{2}{60 \cdot 0,00785} = 4,25 \text{ m/s}$$

$$\alpha_1 = 90^\circ - \delta, \alpha_2 = 90^\circ + \delta, \cos\alpha_1 = \cos(90^\circ - \delta) = \sin\delta, \cos\alpha_2 = \cos(90^\circ + \delta) = -\sin\delta$$

$$\text{Ergo: } F_R = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin\delta + 2 \cdot \dot{m} \cdot c \cdot \sin\delta$$

$$= 2 \cdot 1,5 \cdot 10^5 \cdot 0,00785 \cdot 0,866 + 2 \cdot \frac{2}{60} \cdot 1000 \cdot 4,25 \cdot 0,866 = 2,28 \text{ kN}$$

Beispiel 6a:



Wasserstrom: $\dot{m} = 50 \text{ kg/s}$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $p_1 = 3 \text{ bar}$, $p_2 = 2,8 \text{ bar}$

Gesucht:

- Welche Kraft muss der Festpunkt aufnehmen? (keine vektorielle Addition da waagrechte Strömungsrichtung)
- Wie groß ist der Druckverlust?