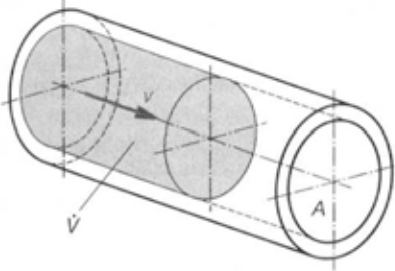
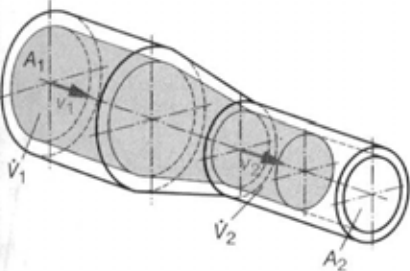
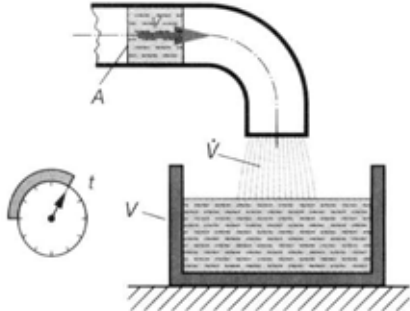
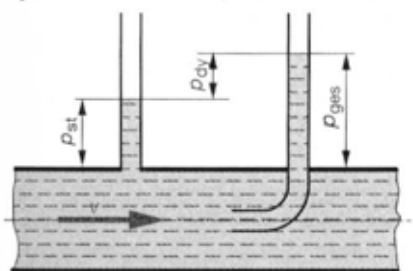
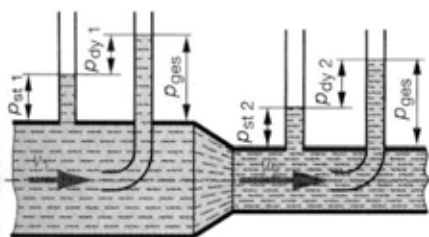
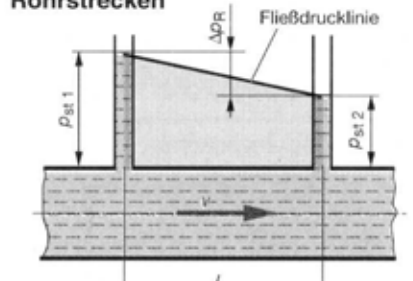


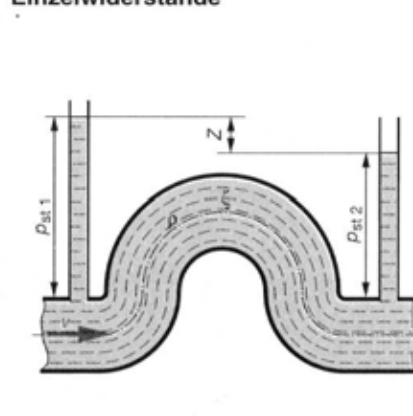
Grundlagen Hydraulik

<p>Volumenstrom</p> 	$\dot{V} = A \cdot v$	<p>\dot{V} : Volumenstrom in m³/s A : Strömungsquerschnitt in m² v : Strömungsgeschwindigkeit in m/s</p>
	$\dot{V} = A \cdot v \cdot 3600$	<p>\dot{V} : Volumenstrom in m³/h A : Strömungsquerschnitt in m² v : Strömungsgeschwindigkeit in m/s 3600: Umrechnungszahl in s/h</p>
<p>Kontinuitätsgesetz</p> 	$\dot{V}_1 = \dot{V}_2$ $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$ $\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$	<p>\dot{V}_1 : Volumenstrom 1 in m³/s \dot{V}_2 : Volumenstrom 2 in m³/s A_1 : Strömungsquerschnitt 1 in m² v_1 : Strömungsgeschwindigkeit 1 in m/s A_2 : Strömungsquerschnitt 2 in m² v_2 : Strömungsgeschwindigkeit 2 in m/s</p>
<p>Ausflussvolumen</p> 	$V = A \cdot v \cdot t$ $V = \dot{V} \cdot t$	<p>V : Ausflussvolumen in m³ \dot{V} : Volumenstrom in m³/s t : Zeit in s A : Strömungsquerschnitt in m² v : Strömungsgeschwindigkeit in m/s</p>

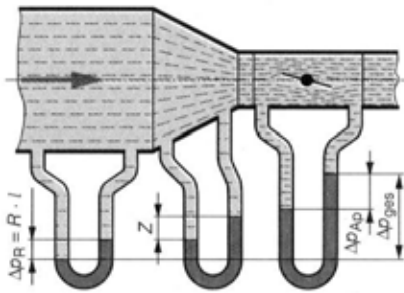
<p>Dynamischer Druck, Gesamtdruck</p> 	$\rho_{dy} = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$ $\rho_{ges} = \rho_{st} + \rho_{dy}$	<p>ρ_{dy} : dynamischer Druck in Pa</p> <p>ρ : Dichte des strömenden Mediums in kg/m^3</p> <p>v : Strömungsgeschwindigkeit in m/s</p> <p>ρ_{st} : statischer Druck in Pa</p> <p>ρ_{ges} : Gesamtdruck in Pa</p>
--	---	--

<p>Gesetz von Bernoulli</p>  <p>ohne Berücksichtigung von Druckverlusten durch Rohrreibung und Druck durch Höhenunterschiede</p>	$\rho_{st} + \rho_{dy} = \text{konstant}$ $\rho_{st1} + \rho_{dy1} = \rho_{st2} + \rho_{dy2}$ $\rho_{st1} + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = \rho_{st2} + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$	<p>ρ_{st} : statischer Druck in Pa</p> <p>ρ_{dy} : dynamischer Druck in Pa</p> <p>ρ_{st1} : statischer Druck 1 in Pa</p> <p>ρ_{dy1} : dynamischer Druck 1 in Pa</p> <p>ρ : Dichte des strömenden Mediums in kg/m^3</p> <p>v_1 : Strömungsgeschwindigkeit 1 in m/s</p> <p>ρ_{st2} : statischer Druck 2 in Pa</p> <p>ρ_{dy2} : dynamischer Druck 2 in Pa</p> <p>v_2 : Strömungsgeschwindigkeit 2 in m/s</p>
--	---	---

<p>Druckverluste in geraden Rohrstrecken</p> 	$\Delta p_R = R \cdot l$	<p>Δp_R : Druckverlust in Pa</p> <p>R : Druckgefälle in Pa/m</p> <p>l : Länge zwischen den Messpunkten in m</p> <p>ρ_{st1} : statischer Druck Messpunkt 1 in Pa</p> <p>ρ_{st2} : statischer Druck Messpunkt 2 in Pa</p>
---	--------------------------	--

<p>Druckverluste durch Einzelwiderstände</p> 	$Z = \sum \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$ $Z = \sum \zeta \cdot \rho_{dy}$ $Z = \sum \zeta \cdot z$	<p>Z : Druckverlust durch Einzelwiderstände in Pa</p> <p>$\sum \zeta$: Summe der Widerstandsbeiwerte</p> <p>ρ_{dy} : dynamischer Druck in Pa</p> <p>v : Strömungsgeschwindigkeit in m/s</p> <p>ρ : Dichte des strömenden Mediums in kg/m^3</p> <p>z : Druckverluste für $\zeta = 1$ in Pa</p> <p>ρ_{st1} : statischer Druck Messpunkt 1 in Pa</p> <p>ρ_{st2} : statischer Druck Messpunkt 2 in Pa</p>
---	---	---

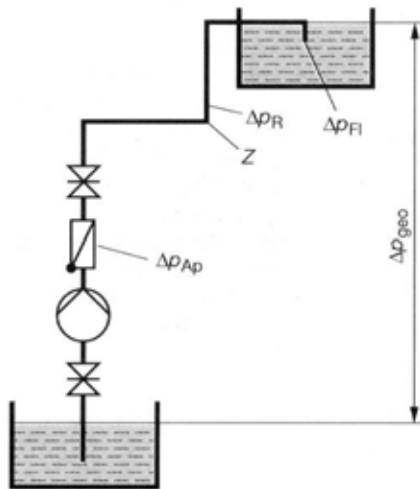
Gesamtdruckverluste



$$\Delta p_{ges} = R \cdot l + Z + \Delta p_{Ap}$$

Δp_{ges} : Gesamtdruckverlust in Pa
 R : Druckgefälle in Pa/m
 l : Rohrlänge in m
 Z : Druckverlust durch Einzelwiderstände in Pa
 Δp_{Ap} : Druckverlust durch Apparate in Pa

Pumpenförderdruck

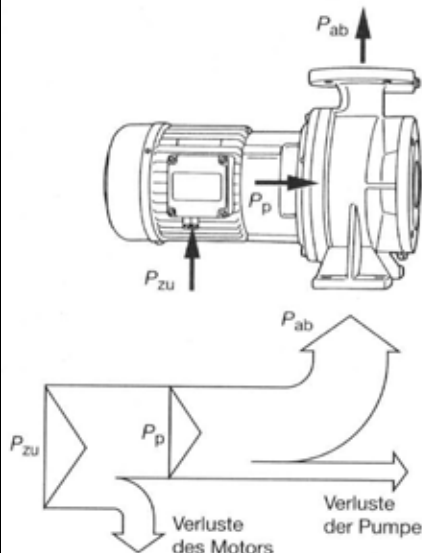


$$\Delta p_P = (\Delta p_{geo} + \Delta p_R + Z + \Delta p_{Ap} + \Delta p_{Fl}) \cdot 1,1$$

$$H = \frac{\Delta p_P}{\rho \cdot g}$$

Δp_P : Pumpenförderdruck in Pa
 Δp_{geo} : Druckverlust aus geodätischem Höhenunterschied in Pa
 Δp_R : Druckverlust durch Rohrreibung in Pa
 Z : Druckverlust durch Einzelwiderstände in Pa
 Δp_{Ap} : Druckverlust durch Apparate in Pa
 Δp_{Fl} : erforderlicher Fließdruck an der Entnahmestelle in Pa
 H : Förderhöhe in m
 ρ : Dichte der Flüssigkeit in kg/m³
 g : Fallbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) in m/s²
 $1,1$: Sicherheitsfaktor

Zugeführte Pumpenleistung



$$P_{zu} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{3600 \cdot \eta_{ges}}$$

$$P_{ab} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{3600}$$

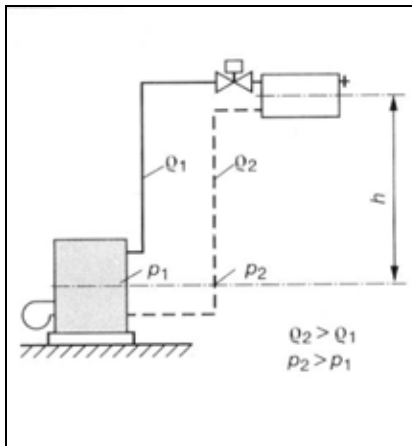
$$P_p = \frac{P_{ab}}{\eta_p}$$

$$\eta_{ges} = \eta_M \cdot \eta_p$$

P_{zu} : Leistungsaufnahme des Motors in W
 \dot{V} : Volumenstrom in m³/h
 Δp : Förderdruck in Pa
 3600 : Umrechnungszahl in s/h
 P_{ab} : hydraulische Leistung in W
 P_p : Leistungsbedarf an der Welle in W
 η_p : Wirkungsgrad der Pumpe
 η_M : Wirkungsgrad des Motors
 η_{ges} : Gesamtwirkungsgrad

Tab. 19.2: Wirkungsgrade von Pumpen

Pumpenart	Gesamtwirkungsgrad η in %
Kreiselpumpen (Trockenläufer)	50...83 (83% nur bei sehr geringem Druck)
Kreiselpumpen (Nassläufer)	5...25 (bis 100 W)
Verdrängerpumpen	85...94 (bei hohen Drücken)



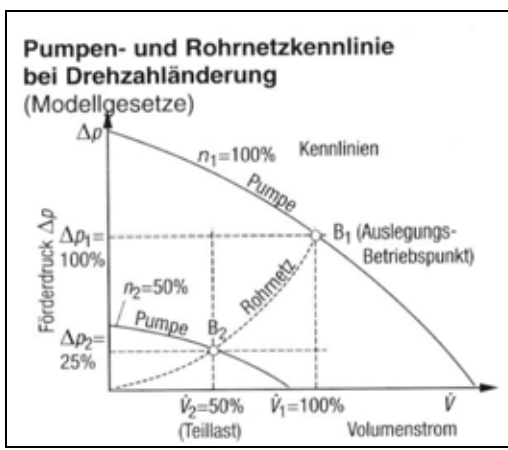
$$\Delta p = h \cdot g \cdot \Delta \rho$$

$$\Delta \rho = \rho_1 - \rho_2$$

- Δp : Umtriebsdruck in Pa
- h : Höhenunterschied zwischen Heizkörpermitte und Kesselmitte in m
- g : Fallbeschleunigung in m/s^2
- ρ_1 : Dichte des warmen Wärmeträgermediums im Vorlauf in kg/m^3
- ρ_2 : Dichte des kalten Wärmeträgermediums im Rücklauf in kg/m^3

Tab: 65: Dichte ρ von Wasser

Temperatur ϑ in $^{\circ}C$	50	60	70	80	90	100
Dichte ρ in kg/m^3	988,0	983,2	977,7	971,8	965,3	958,4



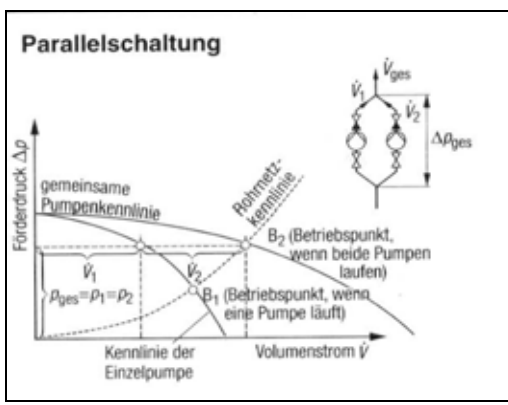
$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^2$$

$$P_{ab2} = P_{ab1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

- \dot{V}_1 : Volumenstrom im Betriebspunkt 1 (B_1) in m^3/h
- \dot{V}_2 : Volumenstrom in B_2 in m^3/h
- n_1 : Drehfrequenz der Pumpe in B_1 in 1/min
- n_2 : Drehfrequenz der Pumpe in B_2 in 1/min
- Δp_1 : Förderdruck in B_1 in Pa
- Δp_2 : Förderdruck in B_2 in Pa
- P_{ab1} : hydraulische Leistung in B_1 in W
- P_{ab2} : hydraulische Leistung in B_2 in W

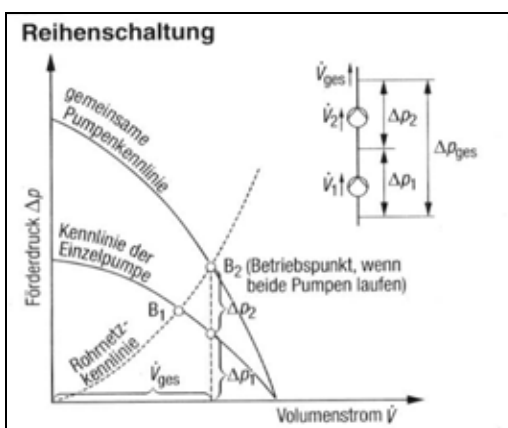


$$\dot{V}_{ges} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2$$

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_1 = \Delta p_2$$

- \dot{V}_{ges} : Gesamtvolumenstrom in m^3/h
- \dot{V}_1, \dot{V}_2 : Einzelvolumenströme in m^3/h
- Δp_{ges} : Gesamtförderdruck in Pa
- $\Delta p_1, \Delta p_2$: Einzelförderdrücke in m^3/h

Hinweis:
Aus den Formeln lässt sich lediglich die gemeinsame Pumpenkenlinie entwickeln. Für den Betriebspunkt muss auch die Rohrnetzkenlinie beachtet werden.



$$\Delta p_{ges} = \Delta p_1 + \Delta p_2$$

$$\dot{V}_{ges} = \dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

- Δp_{ges} : Gesamtförderdruck in Pa
- $\Delta p_1, \Delta p_2$: Einzelförderdrücke in Pa
- \dot{V}_{ges} : Gesamtvolumenstrom in m^3/h
- \dot{V}_1, \dot{V}_2 : Einzelvolumenströme in m^3/h

Hinweis:
Aus den Formeln lässt sich lediglich die gemeinsame Pumpenkenlinie entwickeln. Für den Betriebspunkt muss auch die Rohrnetzkenlinie beachtet werden.

Quelle: Baer/Günther/Patzel/Wagner;
Versorgungstechnik Formelsammlung;
Westermann Verlag, Braunschweig; 1998