

Universität  
Rostock



Traditio et Innovatio



# Wintersemester 2015/2016

## Hydraulische Strömungsmaschinen

Prof. Dr. Hendrik Wurm

Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

- ▶ Einführung / industrieller Hintergrund (Vorlesung 1)
- ▶ Strömungstechnische Grundlagen (Vorlesung 2)
  - Navier-Stokes-Gleichungen, Kontinuitätsgleichung
  - Turbulenzmodellierung
  - Grenzen der verschiedenen Modellierungsmöglichkeiten
- ▶ Kavitation (Vorlesungen 3,4)
- ▶ **Strömungsmaschinen mit Gehäuse (Entwurf, Kennlinien, Regelung)**  
(Vorlesung 5,6,**7**,8)
- ▶ Strömungsmaschinen ohne Gehäuse (Entwurf)  
(Vorlesung 9)

- ▶ Strömungstechnische Optimierung mit numerischen Methoden (Vorlesung 10)
- ▶ Strömungswandler (Vorlesung 11)
- ▶ spezielle Bauformen – Seitenkanalpumpen, Schraubenspindelpumpen (Vorl. 12)
- ▶ spezielle Bauformen – Voith-Schneider-Propeller (Vorlesung 13)
- ▶ Anwendung bionischer Methoden und Herzunterstützungssysteme (Vorl. 14)

# Entwurf von Radialmaschinen

## Verluste und Kennlinien

## Funktionen:

- Drallabbau
- Druckaufbau

## Ausführungen:

- Leitrad
- Rückführgitter mit Diffusor
- Spiralgehäuse
- schaufelloser Ringraum

Entwurf:

$$b_5 \geq b_2 + (1 \dots 2) \text{ mm}$$

$$z_{Leit} = \frac{\pi D_5}{b_5 + s_5} \sin \alpha_5$$

$$\frac{D_7}{D_5} \approx 1,2 \dots 1,4$$

Berechnung der Schaufel- und Strömungswinkel in Analogie zum Laufrad mit Minderumlenkung nach Pleiderer



## Aufgabe:

- ▶ Drallabbau und möglichst verlustarme Zuführung der Strömung zum folgenden Laufrad



„Leitkanal“ mit einer Schaufel, Druckaufbau im  
diffusorförmigen Druckstutzen

Für die Berechnung wird in der Regel von einem konstanten Drall im Spiralgehäuse ausgegangen:

$$c_{3u} \cdot r = konst.$$

$$d\dot{V}(\varphi) = c_u dA$$

$$d\dot{V}(\varphi) = c_{3u} r_2 \frac{b(r)}{r} dr .$$

Nach einigen Umformungen ergibt sich:

$$\varphi = \frac{2\pi r_2}{\dot{V}} c_{3u} \int_{r_4}^R \frac{b(r)}{r} dr .$$

Tafelbild 1

Die Kompliziertheit der Lösung des Integrals hängt von den gewählten Querschnittsformen des Gehäuses ab.

Einfache und oft verwendete Querschnittsformen des Gehäuses sind:

Rechteck,

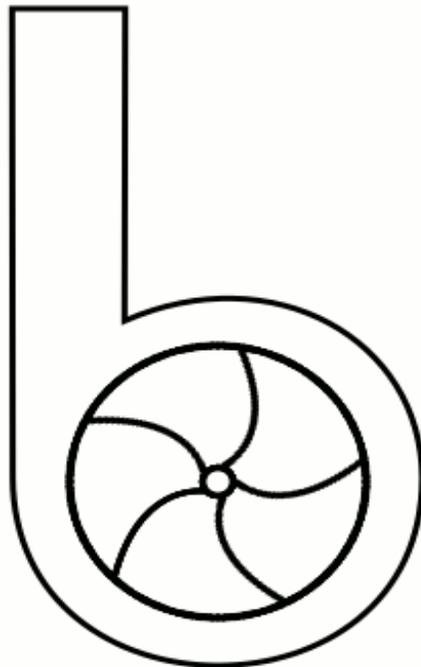
Trapez,

Kreis und

daraus zusammengesetzte Flächen.

Tafelbild 2

## Lage des Druckstutzens

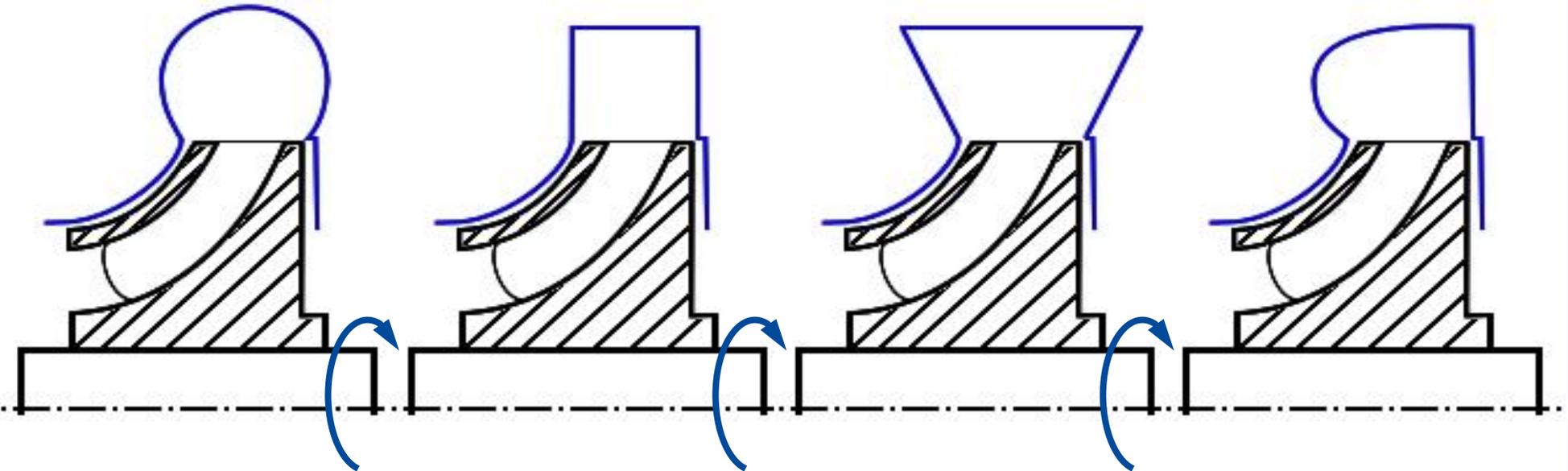


Querschnitt  
Kreis

Rechteck

Trapez

Asymmetrischer  
Halbkreis



## Besonderheiten bei Abwasserpumpen:

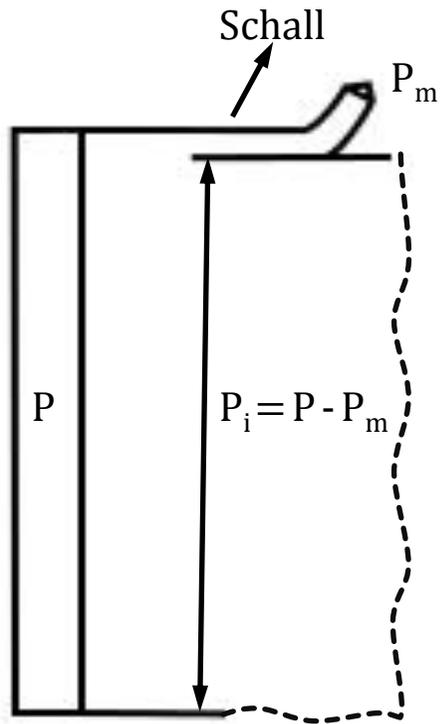
- großer Zungenabstand (etwa Kugeldurchgang) bei sehr kleinem  $\alpha_3$
- robust ausgeführte Zunge.

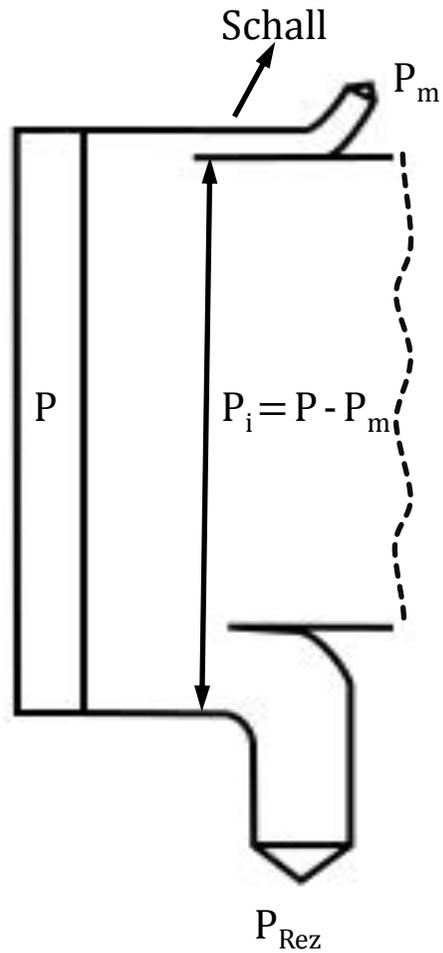
# Verluste

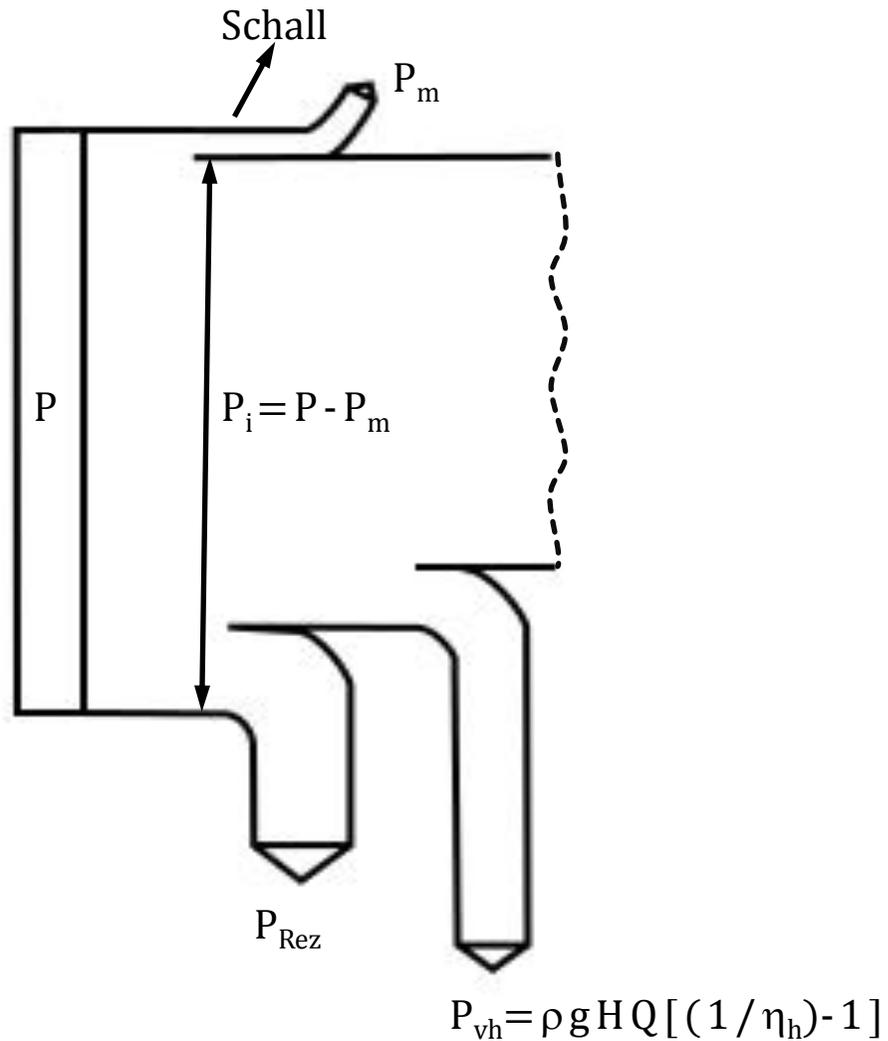


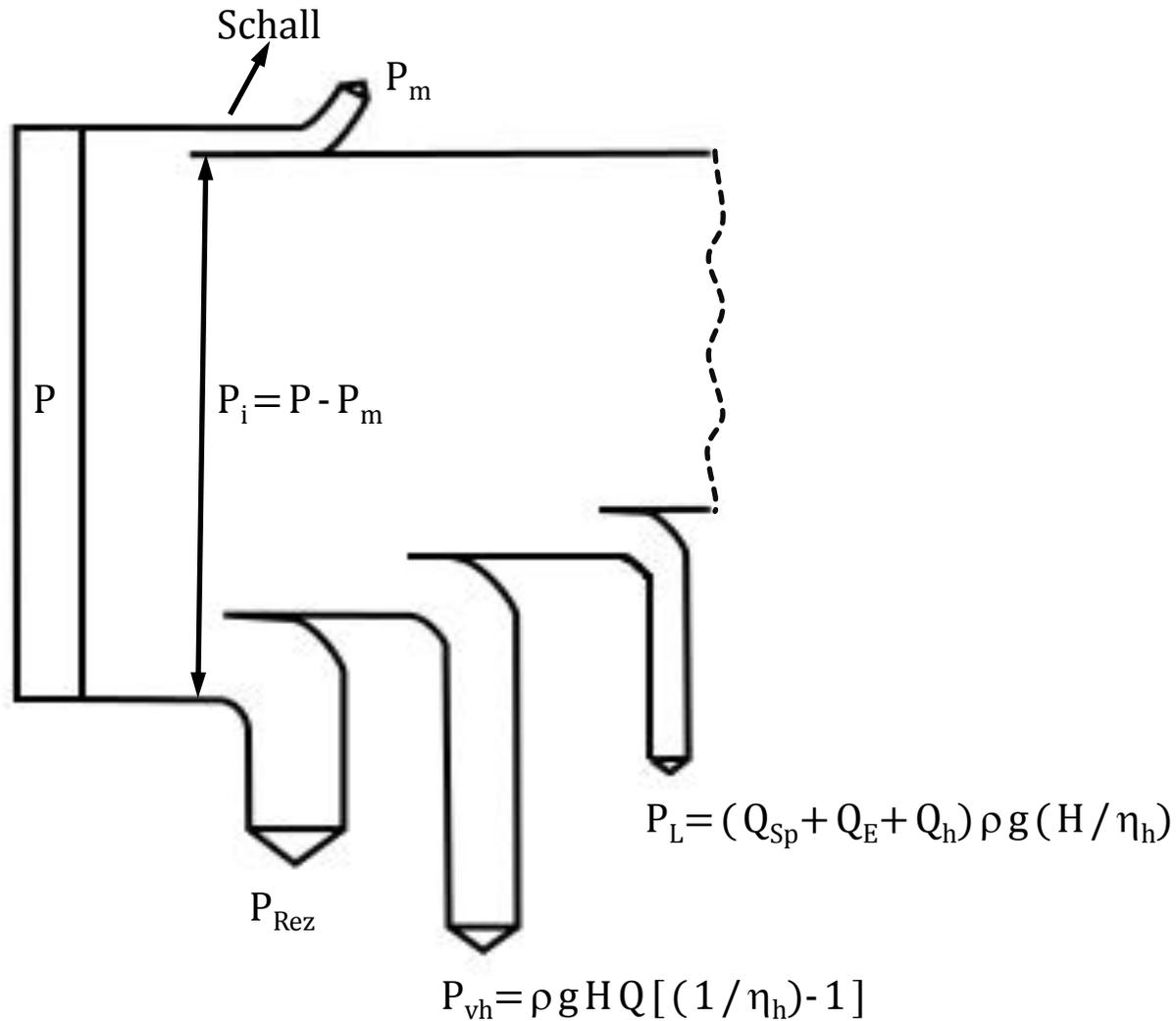


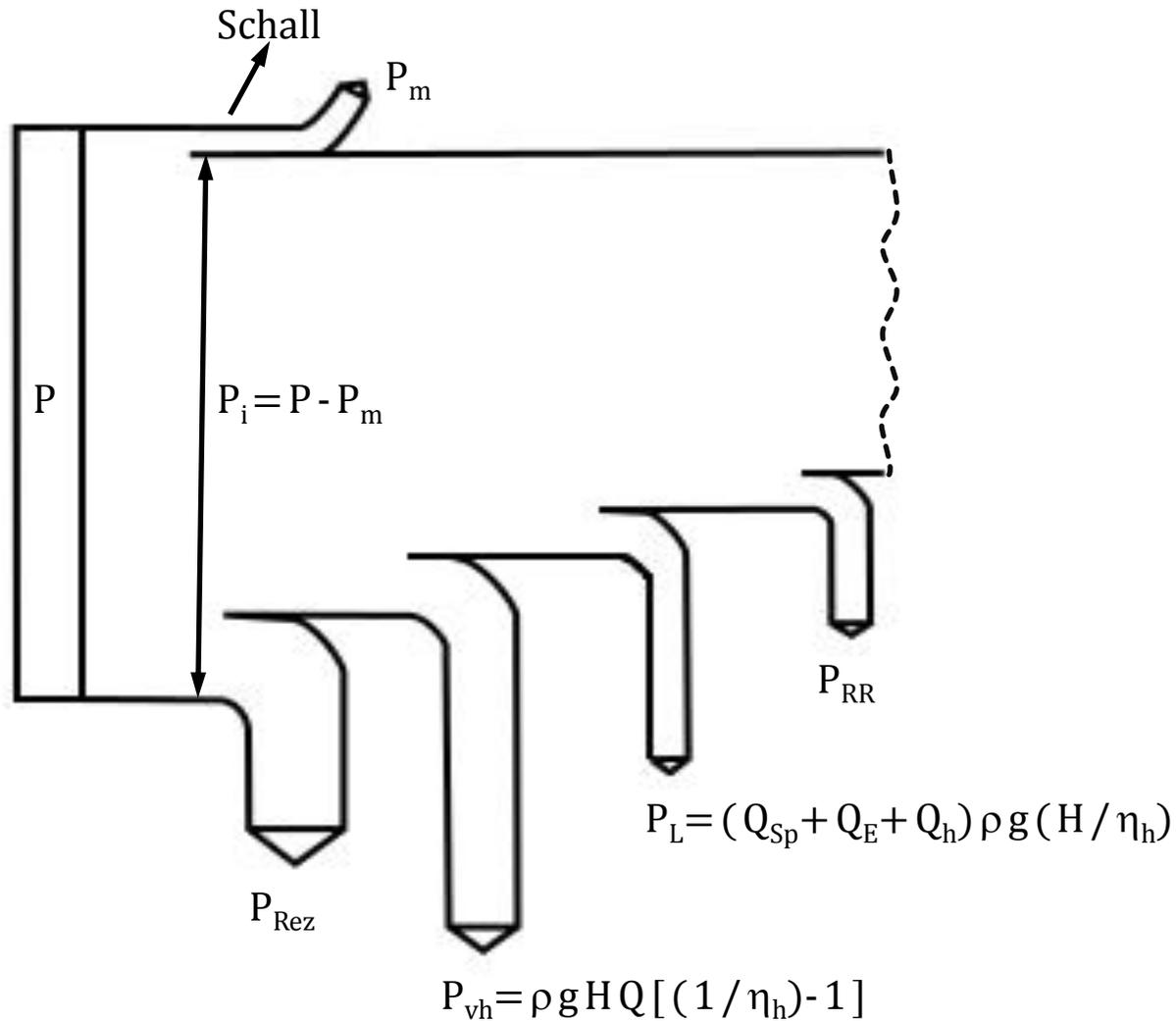
P

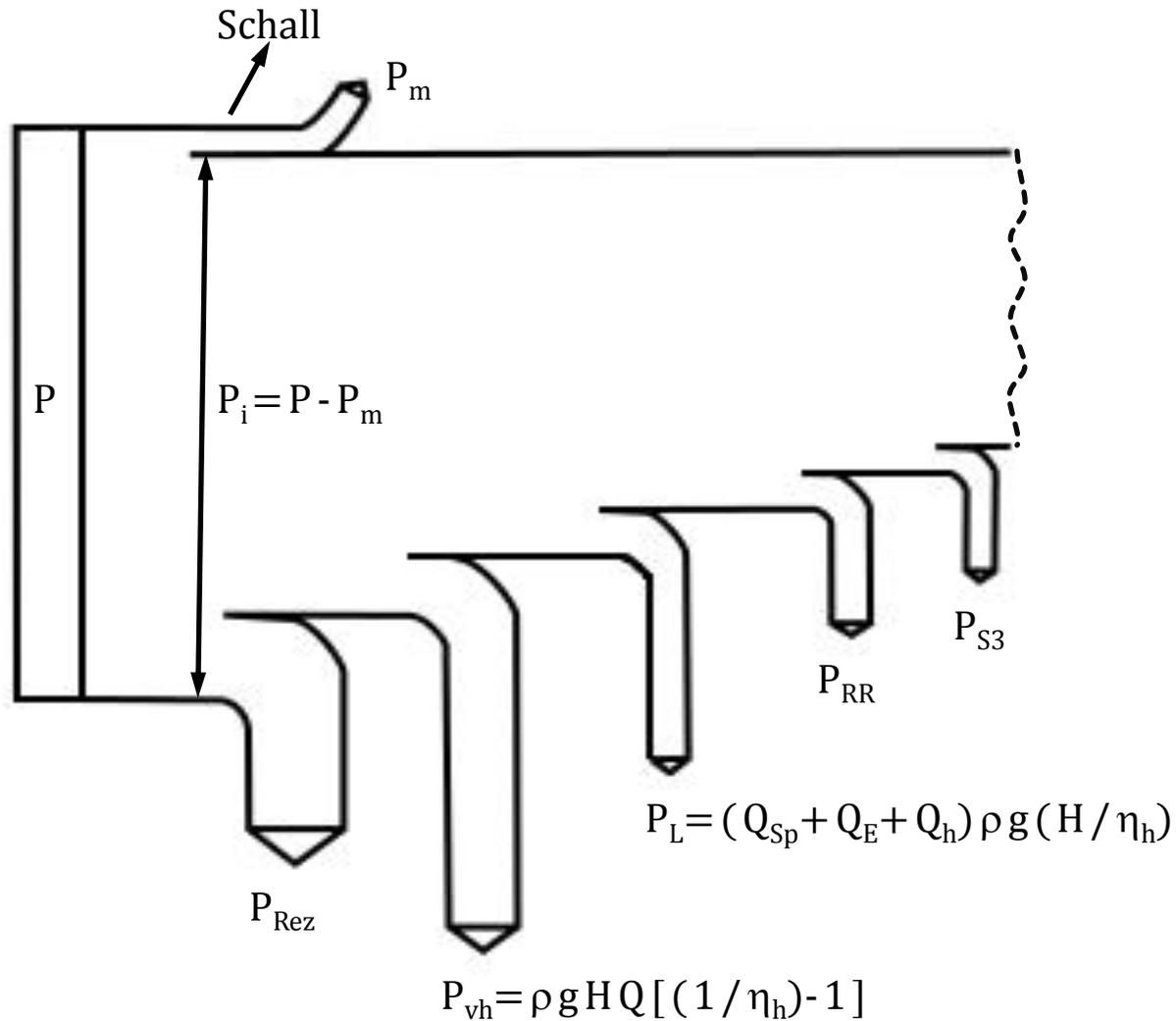


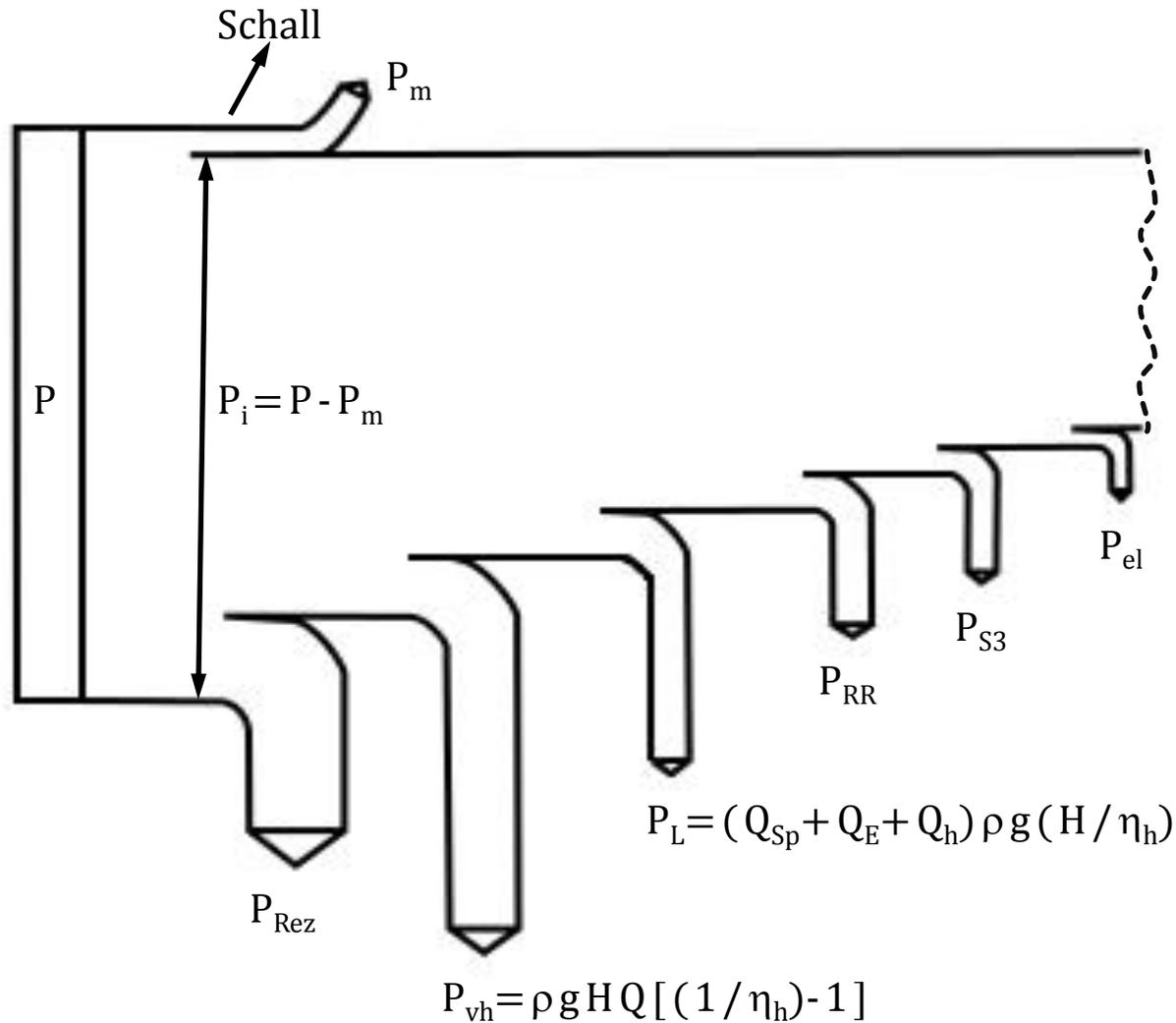


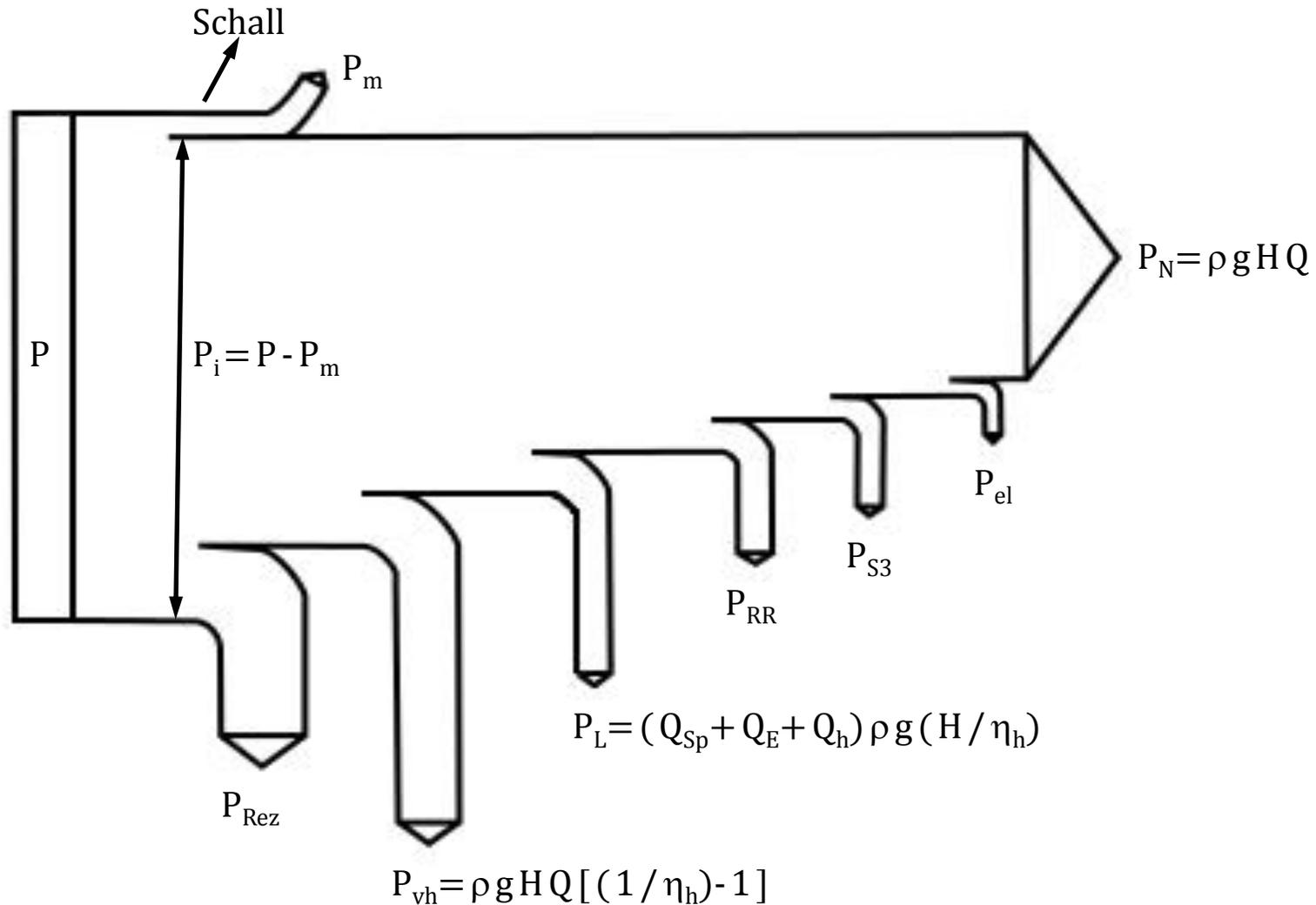












## Verluste

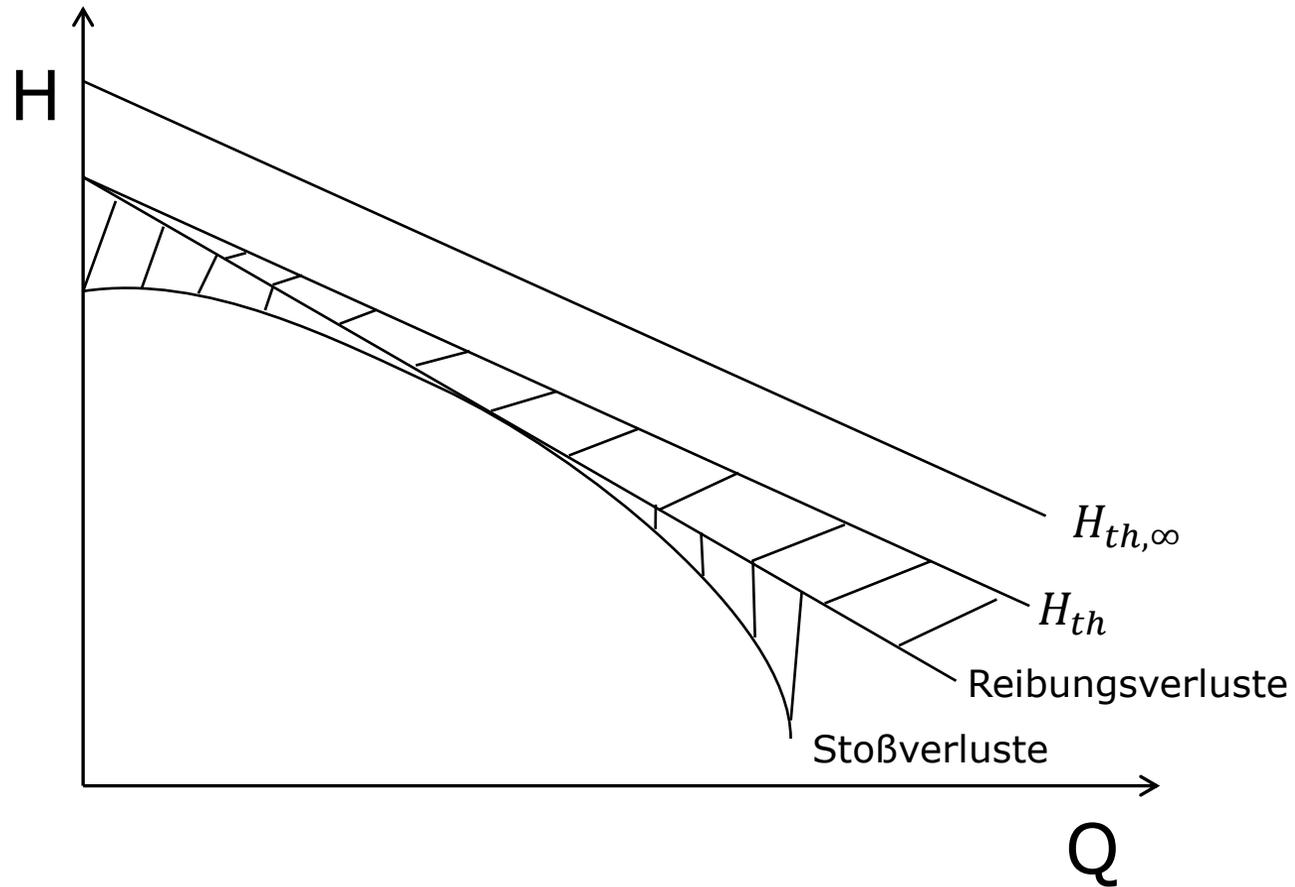
- ▶ Mechanisch (Lager, Dichtungen, ...) →  $P_m$
- ▶ Volumetrisch (Spalte, Entlastungsbohrung, ...) →  $P_v$
- ▶ Radseitenreibung →  $P_{\text{Reib}}$
- ▶ Hydraulische (Fluidreibung, Turbulenz, ...) →  $P_h$
- ▶ Rezirkulation und Austausch →  $P_{\text{rez}}$

## Mechanische Verluste

- ▶ Radiallager
- ▶ Axiallager
- ▶ Dichtungen

## Hydraulische Verluste

- ▶ Einlauf, Lauf- und Leiträder, Gehäuse, Austrittsgehäuse
- ▶ Durch Reibung, Sekundärströmungen, Ablösung, Stoß, Nachläufe, ...



Gesamtwirkungsgrad  $\eta = \frac{P_{Nutz}}{P} \quad P_{Nutz} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$

Innerer Wirkungsgrad  $\eta_i = \frac{P_{Nutz}}{P_i} = \frac{\eta}{\eta_m} \quad P_i = P - P_m$

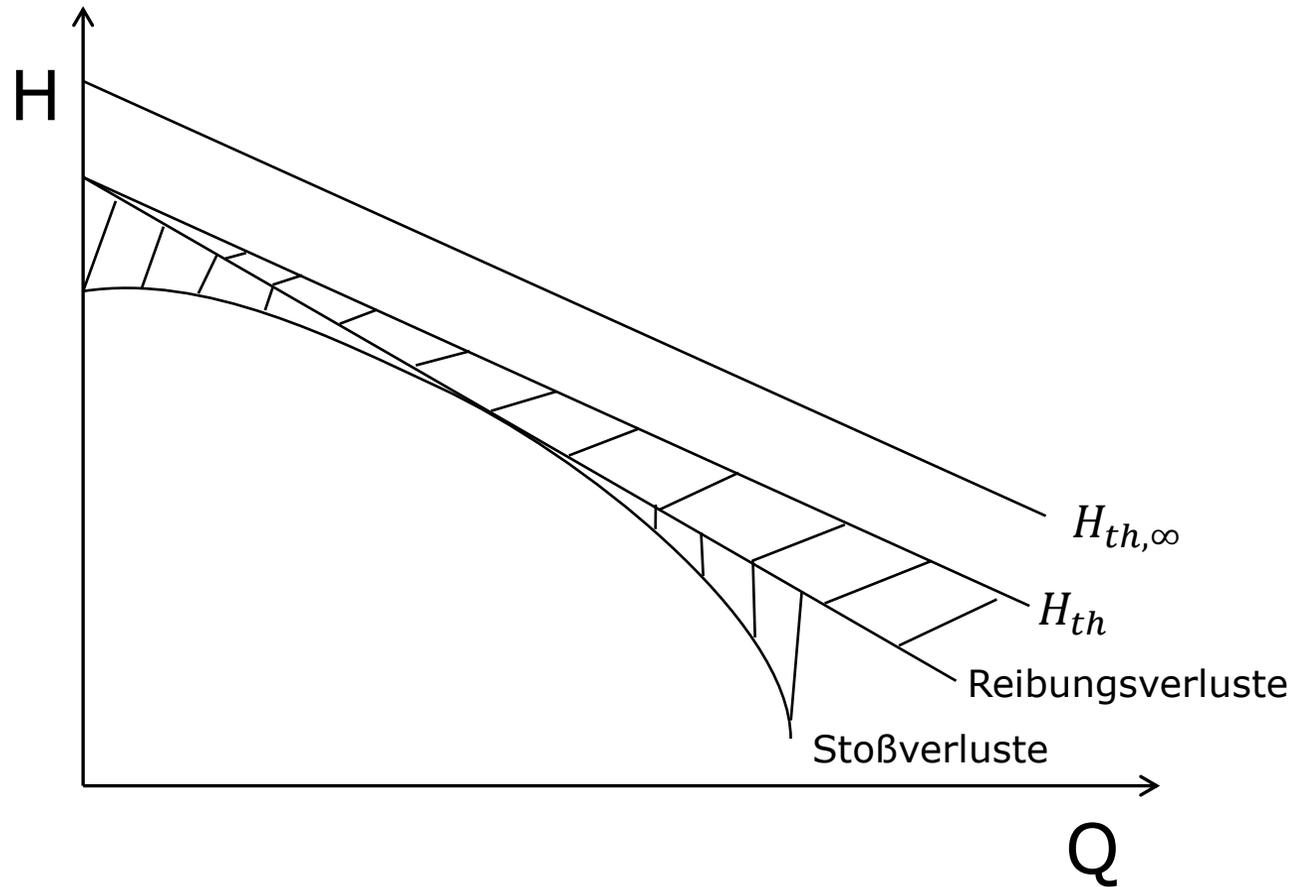
Mechanischer Wirkungsgrad  $\eta_m = 1 - \frac{P_m}{P}$

Hydraulischer Wirkungsgrad  $\eta_h = \frac{\rho g H (Q + Q_{Spalt} + Q_{Entlastung})}{P - \sum P_{RR} - P_m} = \frac{H}{H + Z_{la} + Z_{le} + Z_E + Z_A}$

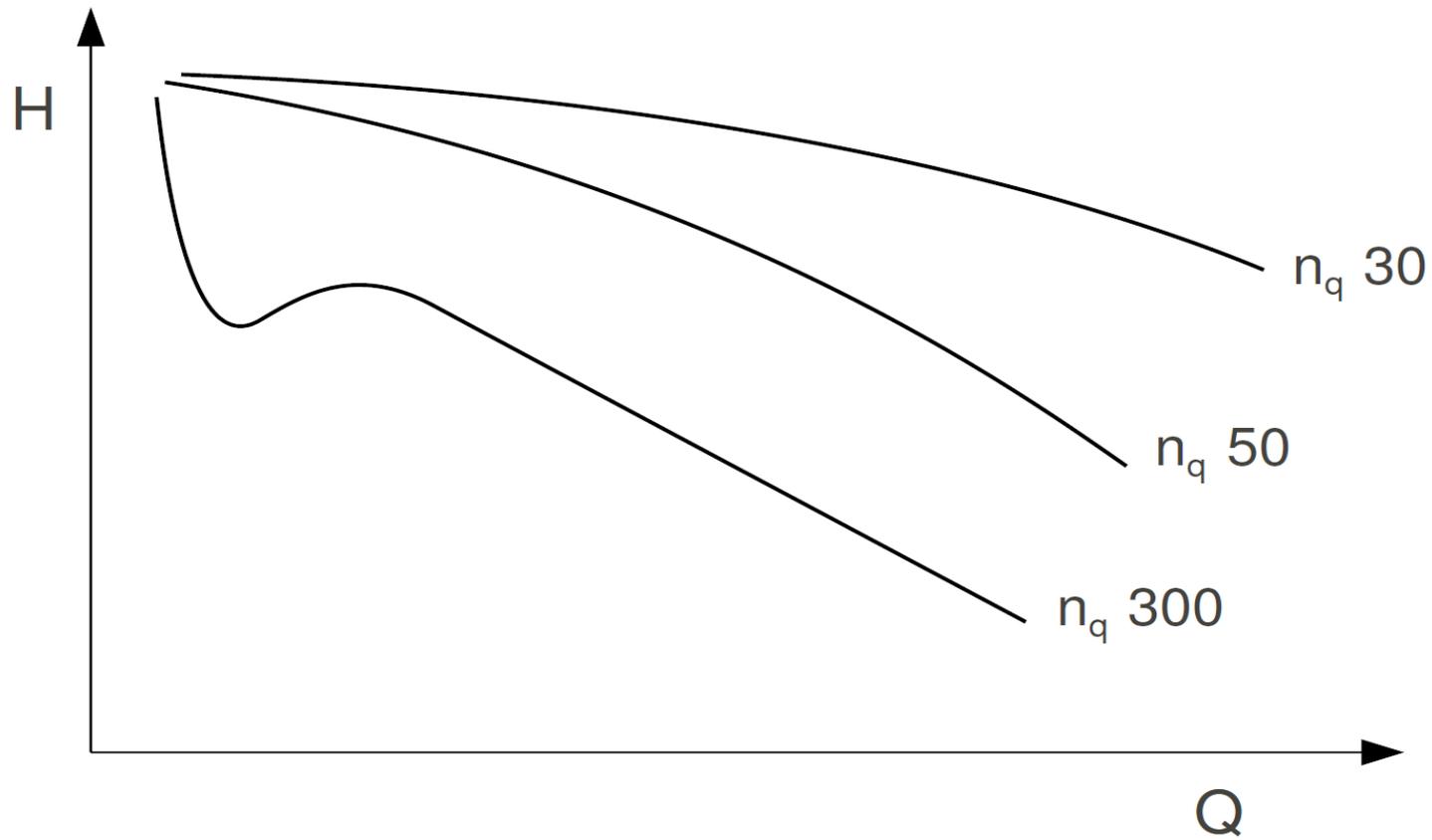
# Kennlinien von Pumpen



- ▶  $H = f(Q)$
- ▶  $\eta = f(Q)$
- ▶  $P = f(Q)$
- ▶  $NPSH = f(Q)$

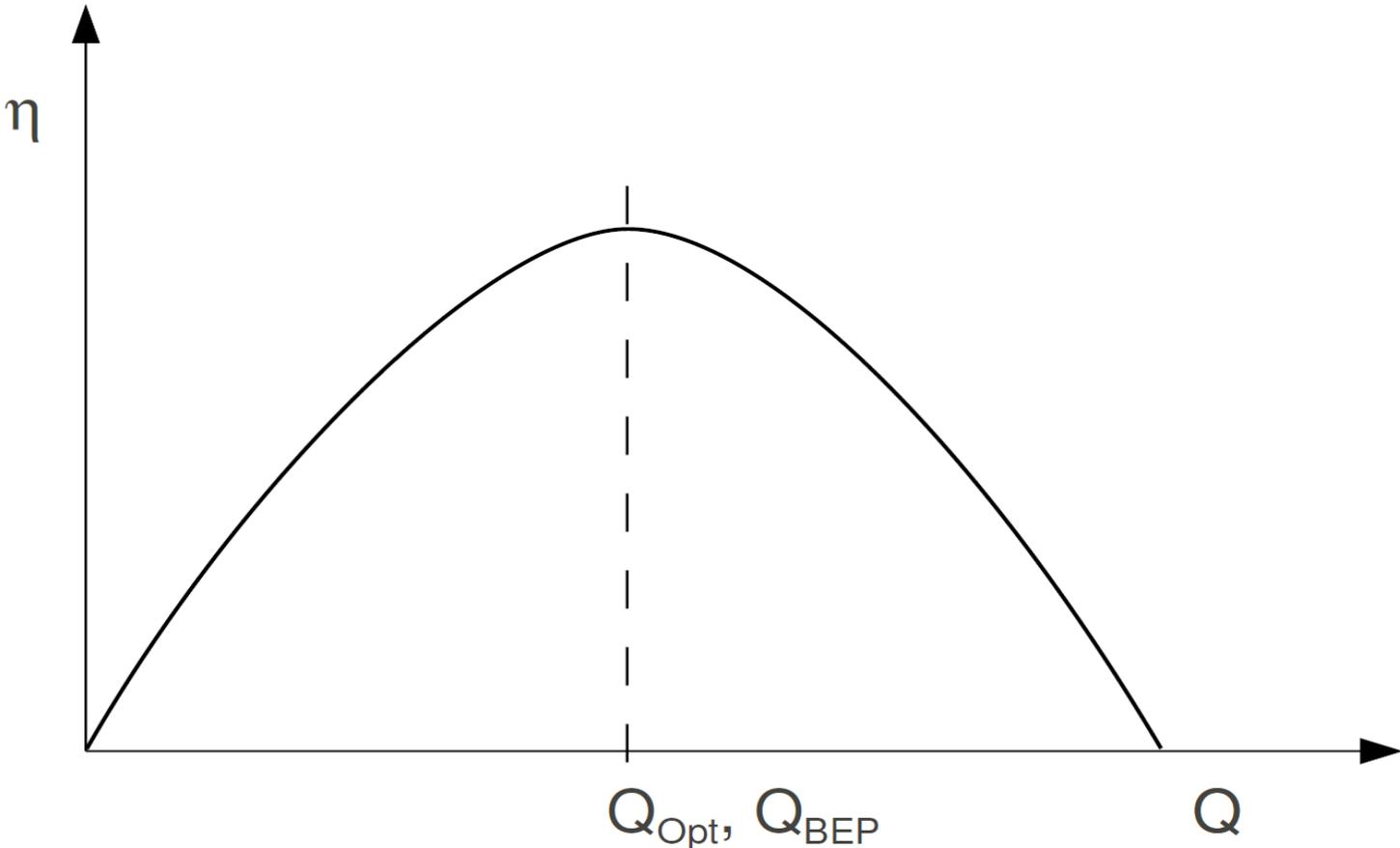


# Kennlinienverlauf abhängig von der spezifischen Drehzahl

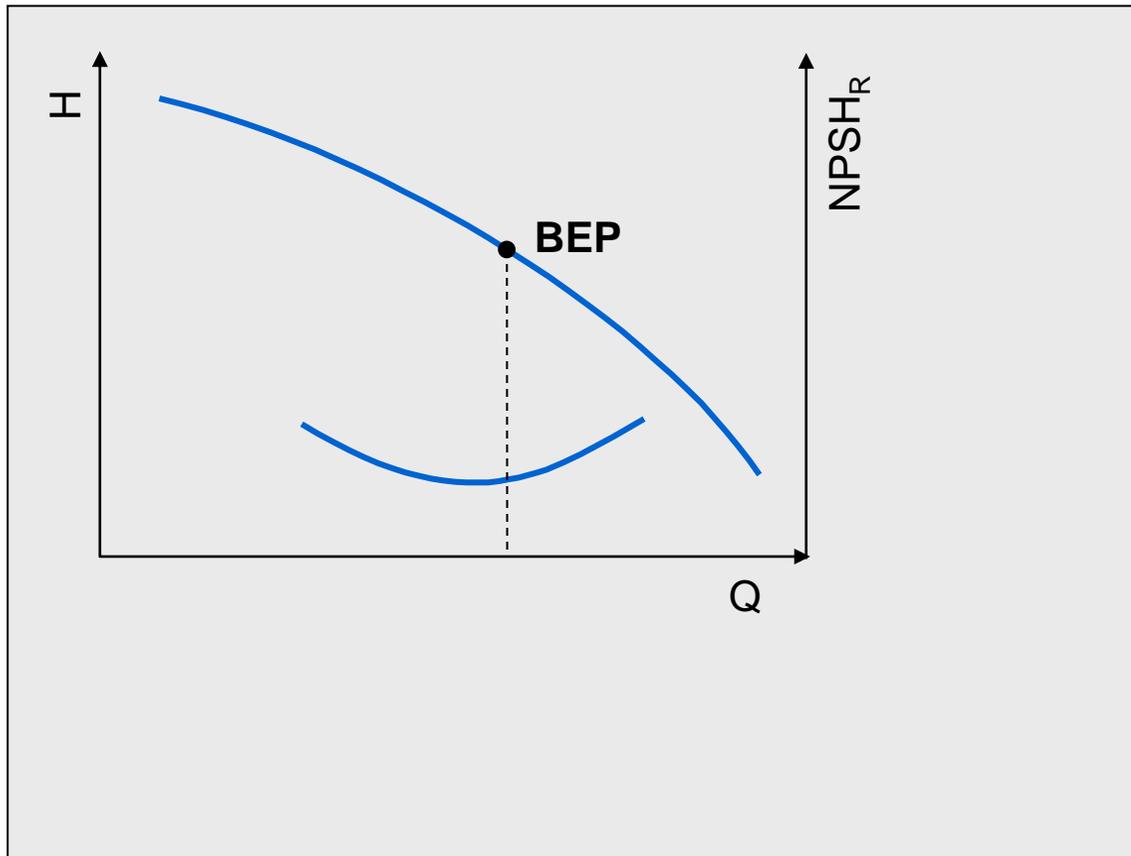


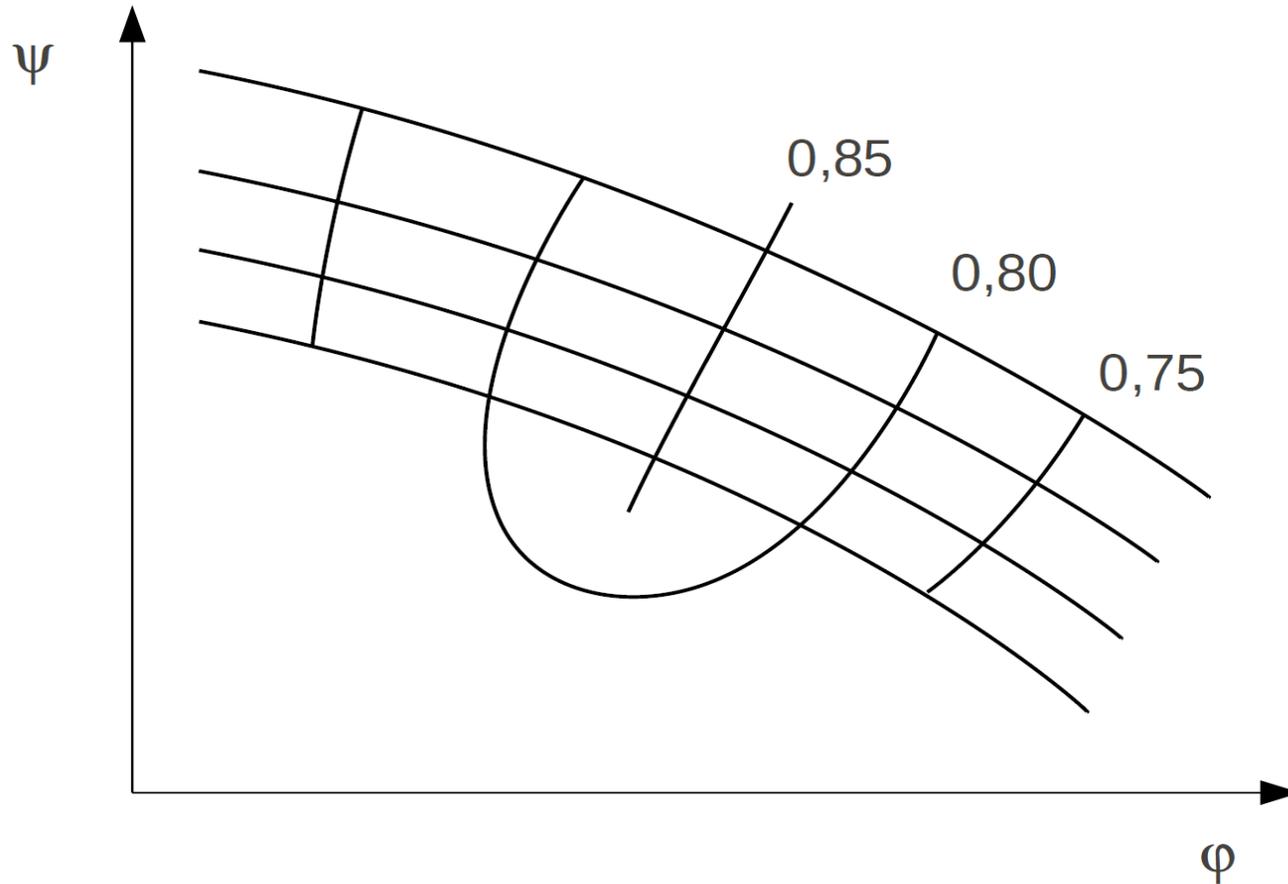
Tafelbild

# Wirkungsgradverlauf

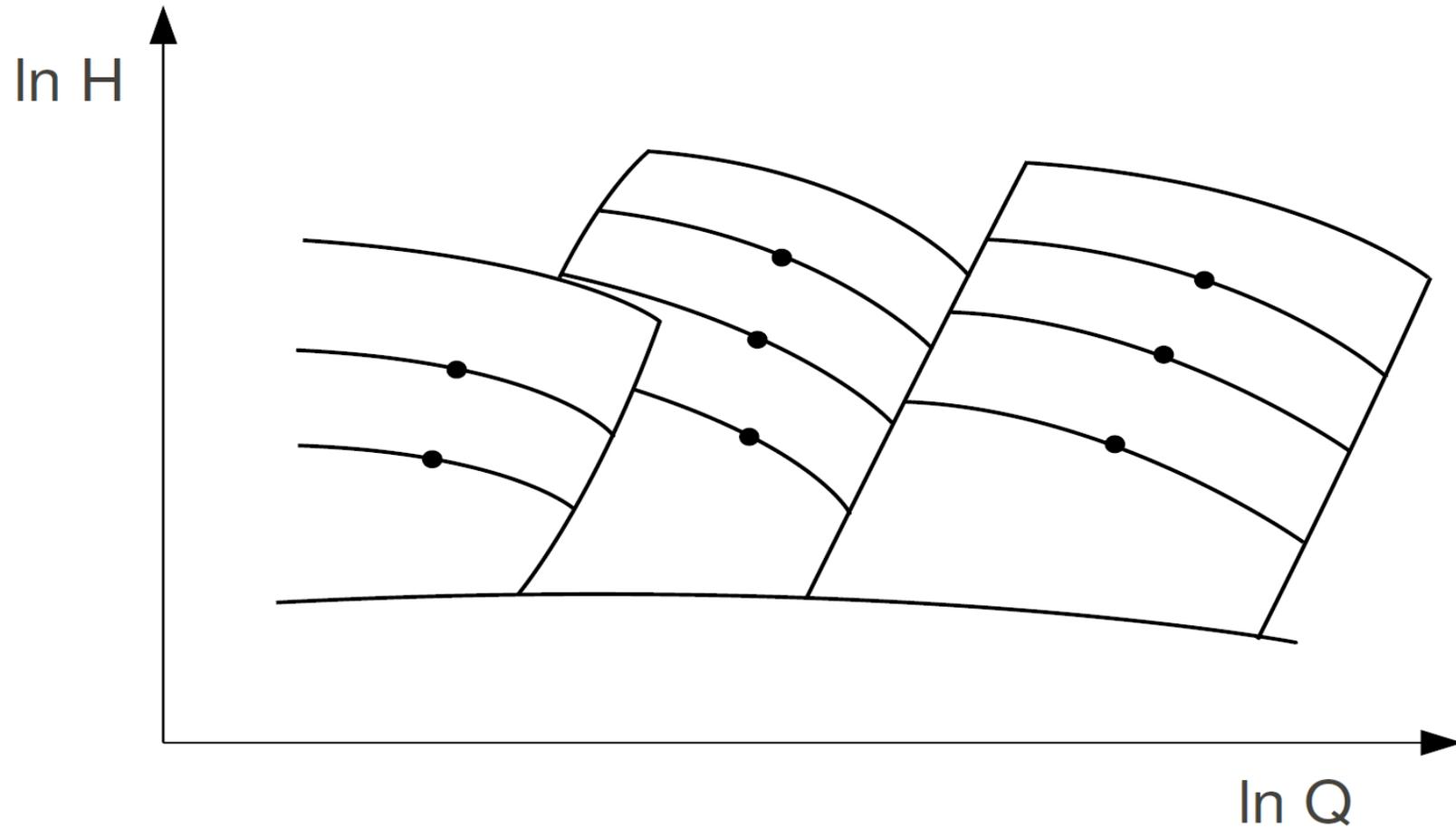


# NPSH-Wert- Verlauf



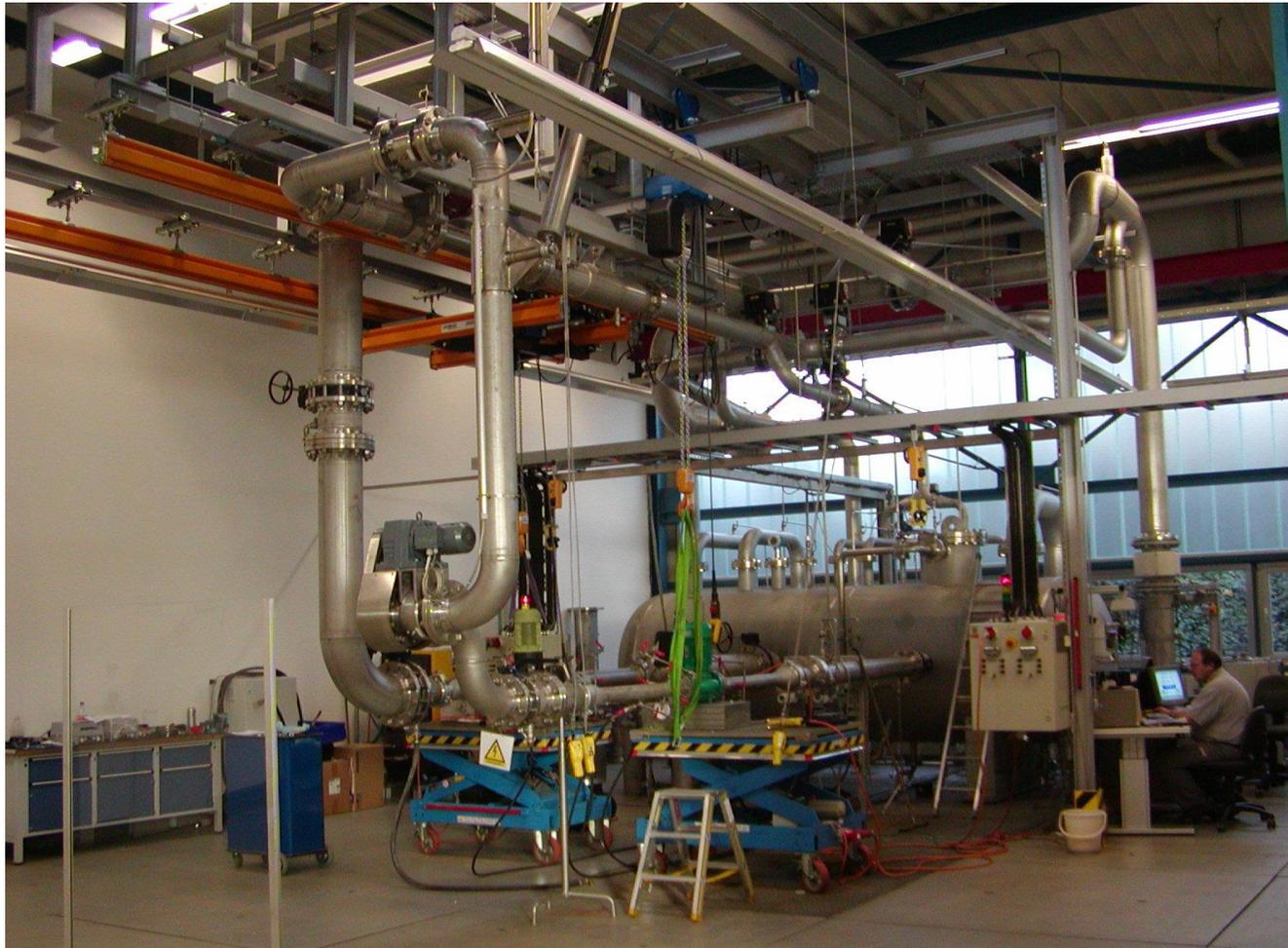


# Kennfeld einer Pumpenbaureihe

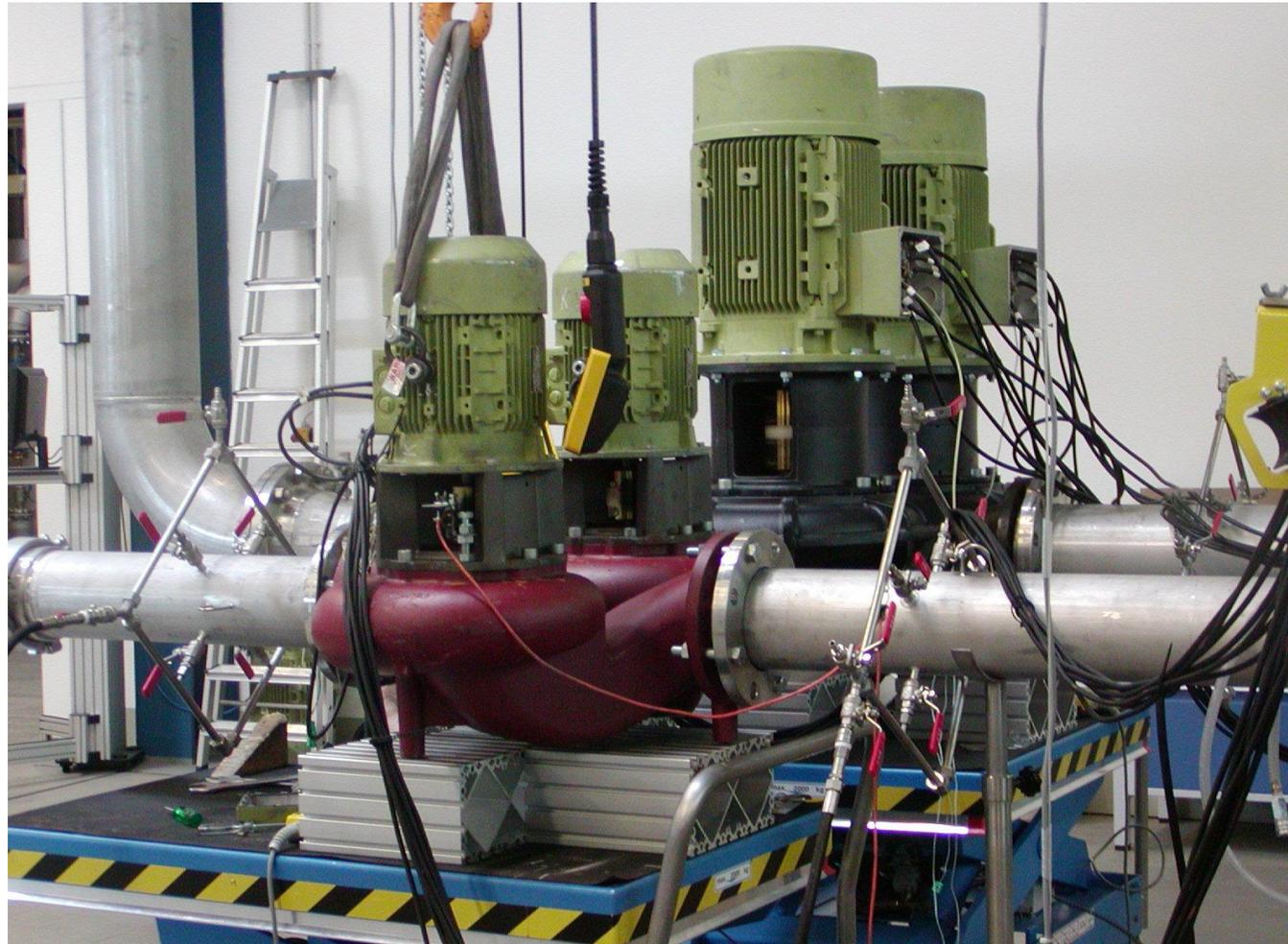




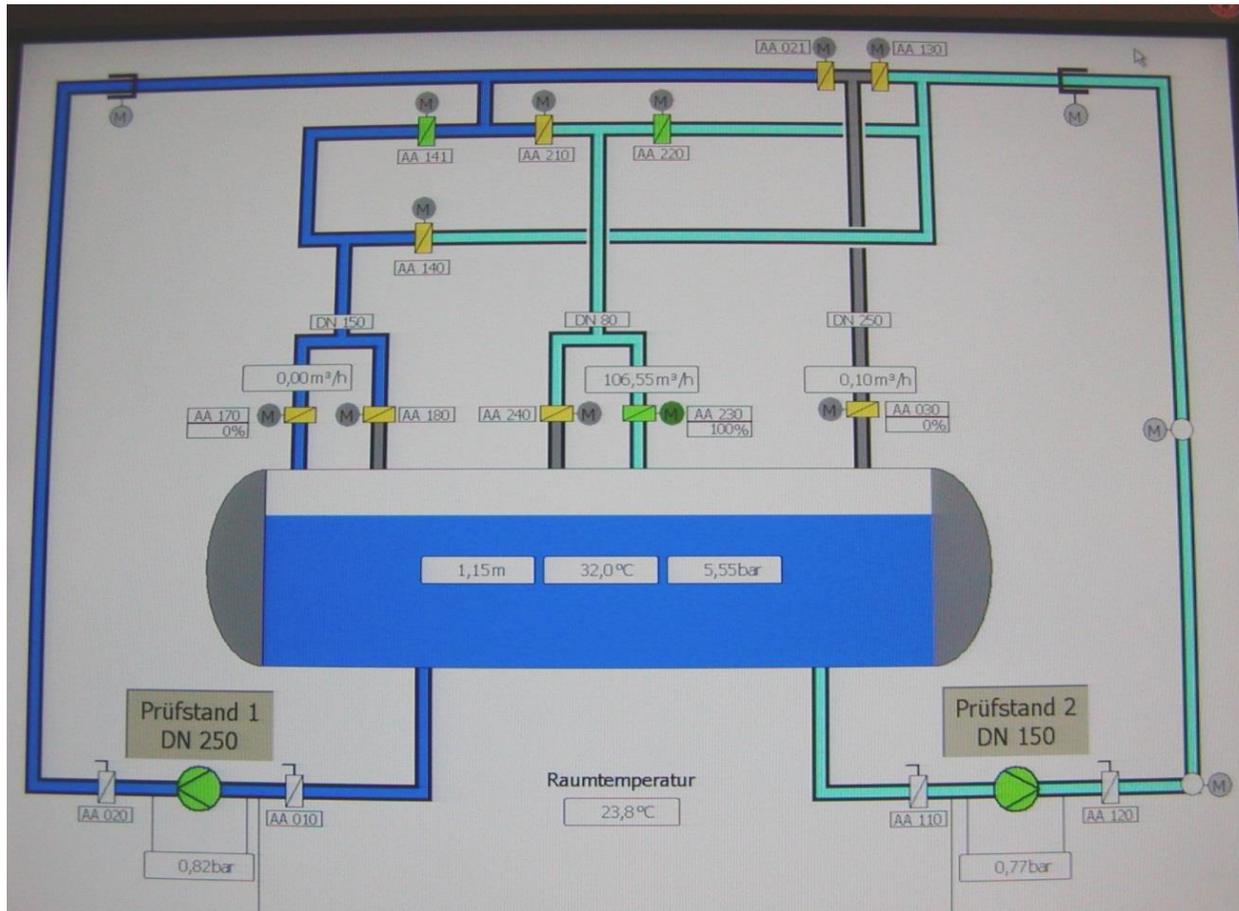
- ▶  $H = f(Q)$  ; Messung des Differenzdruckes und des Volumenstromes
- ▶  $\eta = f(Q)$
- ▶  $P = f(Q)$  ; Messung der elektr. Aufnahmeleistung
- ▶  $NPSH = f(Q)$  ; siehe Vorlesung Kavitation



# Foto Einbausituation Pumpen



# Aufbauschema Prüfstand bis DN 250



ein Behälter,  
zwei Prüflinge,  
drei Durchflussmesser

Druckmessanschlüsse  
auswechselbar für alle  
Pumpen -  
Anschlussnennweiten



Auslegung und Auswahl der Messausrüstung:

Nach den Vorgaben der DIN EN ISO 9906

Prüfbedingungen (Genauigkeiten, Abstände von Messstellen,  
Durchmesser und Form von Druckmess-  
bohrungen)

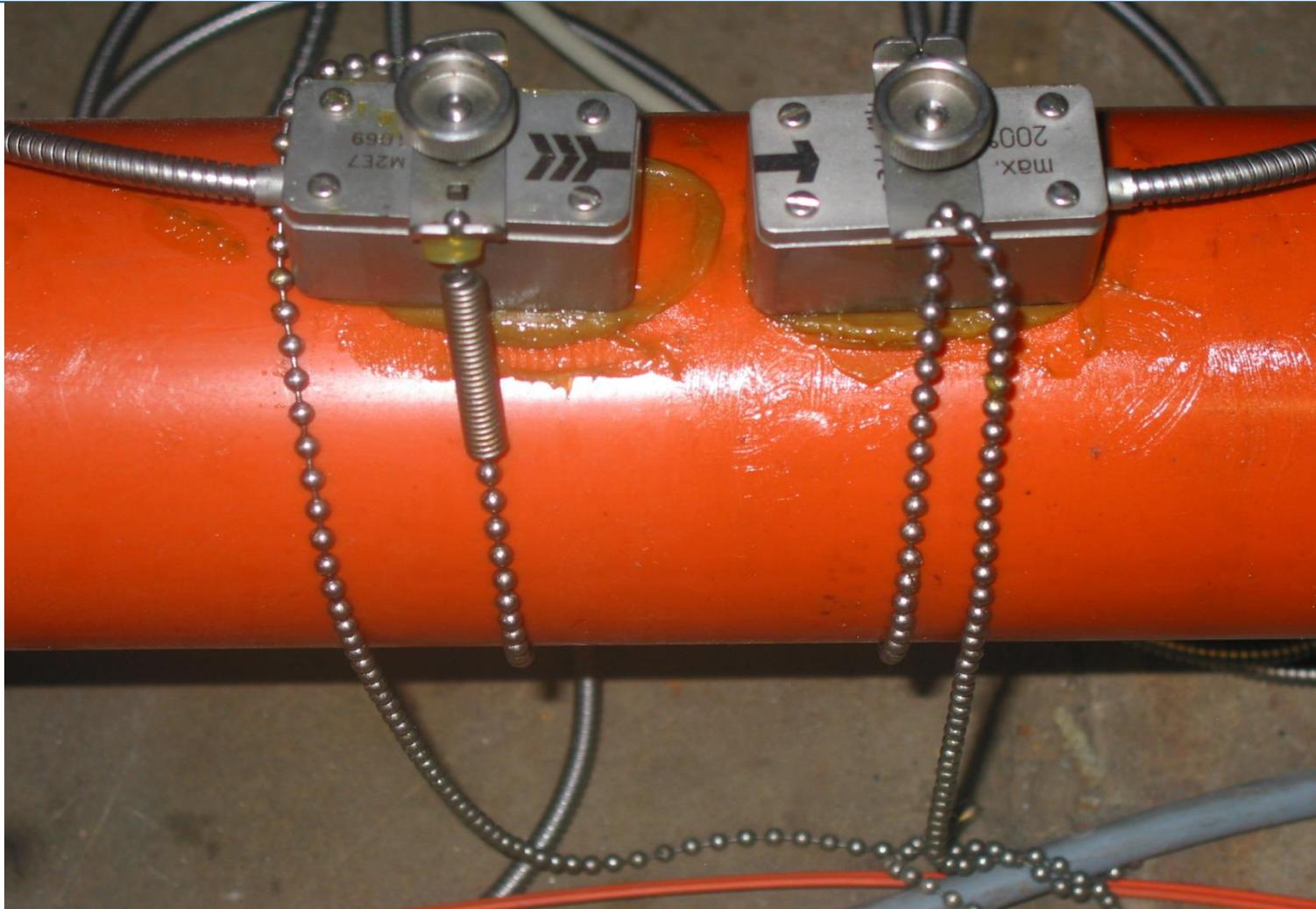
Toleranzen (Q, H etc.)

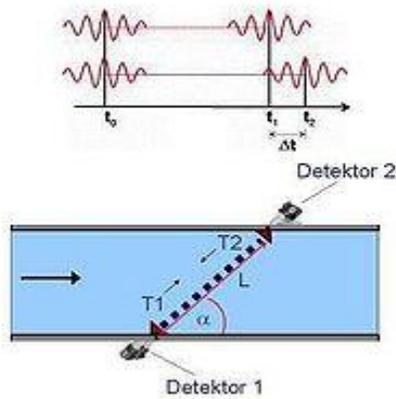
(für kleine Zirkulationspumpen unter 200W gilt die EN 1151)

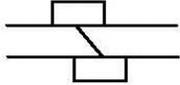
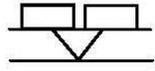
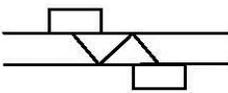
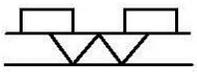


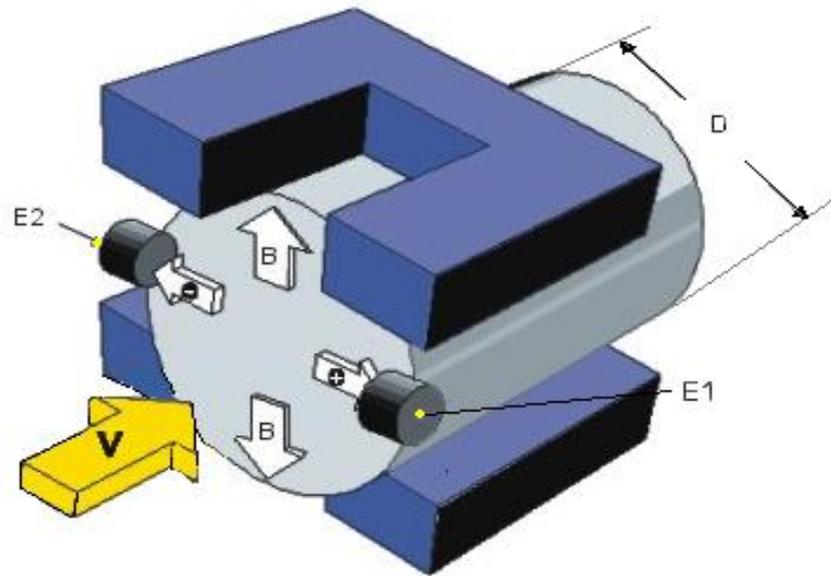
- Ultraschall
- Magneto-Induktiver-Durchflusssensor (MID)
- Flügelradanemometer
- Hitzdrahtanemometer
- Paddle
- Hochgeschwindigkeitsaufnahmen
- Laser-Doppler-Anemometrie (LDA)
- Particle image velocimetry (PIV)

# Ultraschall



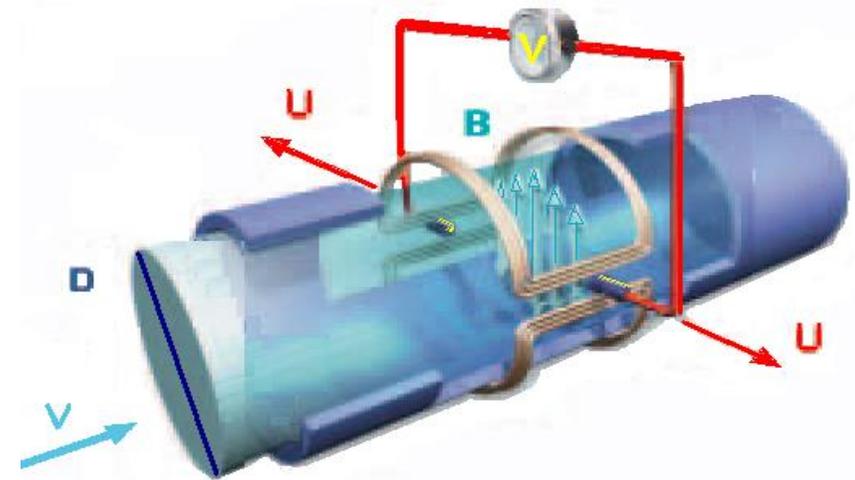


Sensoranordnung beim Durchstrahlungsmodus		Sensoranordnung beim Reflexsmodus	
Anzahl der Durchläufe	Schallweg	Anzahl der Durchläufe	Schallweg
1		2	
3		4	
USW.		USW.	

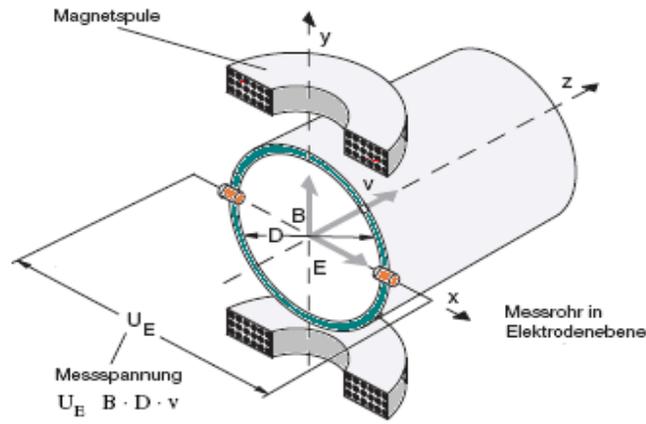
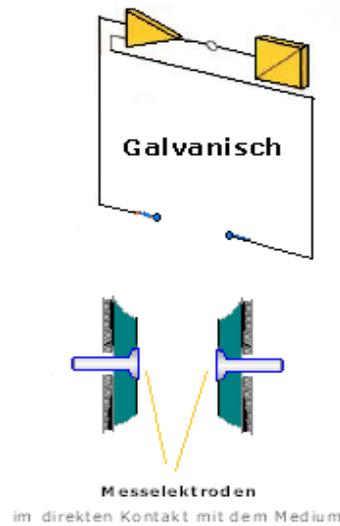


$$U_E = k \cdot B \cdot D \cdot v$$

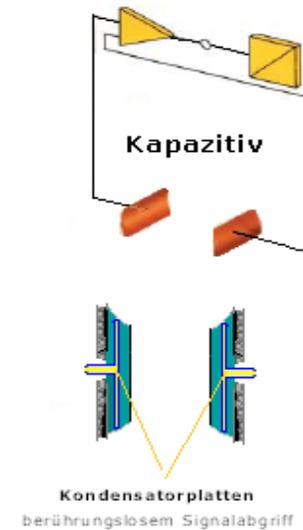
- $U$  = Spannung
- $B$  = Magnetfeld
- $D$  = Rohrdurchmesser
- $v$  = Strömungsgeschwindigkeit
- $k$  = Faktor Proportionalität



**Messelektroden Anordnung**  
Magnetisch Induktiver Durchflussmesser



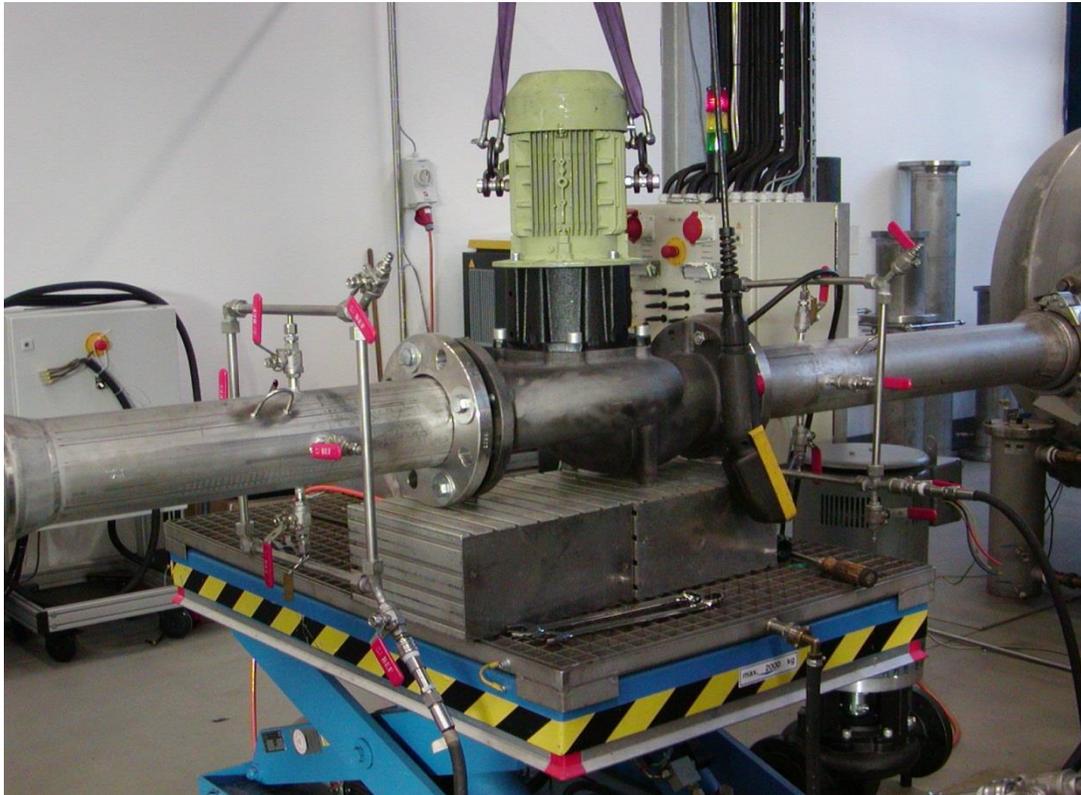
- $U_E$  = Messspannung
- $B$  = magnetische Induktion
- $D$  = Elektrodenabstand
- $v$  = mittlere Strömungsgeschwindigkeit





Magnetisch-Induktive Volumenstrom-Messeinrichtung  
(Grundgenauigkeit 0,4% vom Messwert bei 0,5 bis 10 m/s  
Strömungsgeschwindigkeit)





Messumformer mit hoher, auch einseitiger Überlastsicherheit in abgestuften Messbereichen (Genauigkeit, auf Messbereich bezogen, besser 0,5%, je nach Umgebungsbedingungen und Kalibrierung)



Präzisions-Leistungsmessgeräte ,  
Leistungen bis 200kW über Messwandler  
(bei 50/60Hz Netzfrequenz ergeben sich je nach Messbereichsausnutzung  
Messgenauigkeiten um 0,6%  
für Strom und Spannung)





## PC-gesteuertes Multimeter mit Messstellenumschalter

- Drehzahl über Frequenzmessung (je nach Signalqualität, Einstellung und Periodendauer bis 0,3% vom Messwert möglich)
- Temperaturen: Thermoelemente, Messwiderstände [Pt100] (messwert- und sensorabhängig unter 1K Messabweichung)

Drehmoment: Ermittlung aus Messprotokollen zuvor individuell vermessener Motoren

wesentliche Messgrößen:

$$p_D - p_S, Q, P_1$$

bekannt aus Messungen des Motorherstellers :

$$\eta_{Motor} = f(P_1)$$

berechnete Größen:

$$Y = \frac{p_D - p_S}{\rho} + g(z_D - z_S) + \frac{c_D^2 - c_S^2}{2} + Y_{V,S} + Y_{V,D}$$

$$H = \frac{Y}{g}$$

$$\eta_{Gesamt} = \eta_{Pumpe} * \eta_{Motor}$$

$\eta_{Gesamt}$  aus Messung;  $\eta_{Motor} = f(P_1)$  aus Herstellerdaten – Berechnung  
des Pumpenwirkungsgrades