

Sommersemester 2016

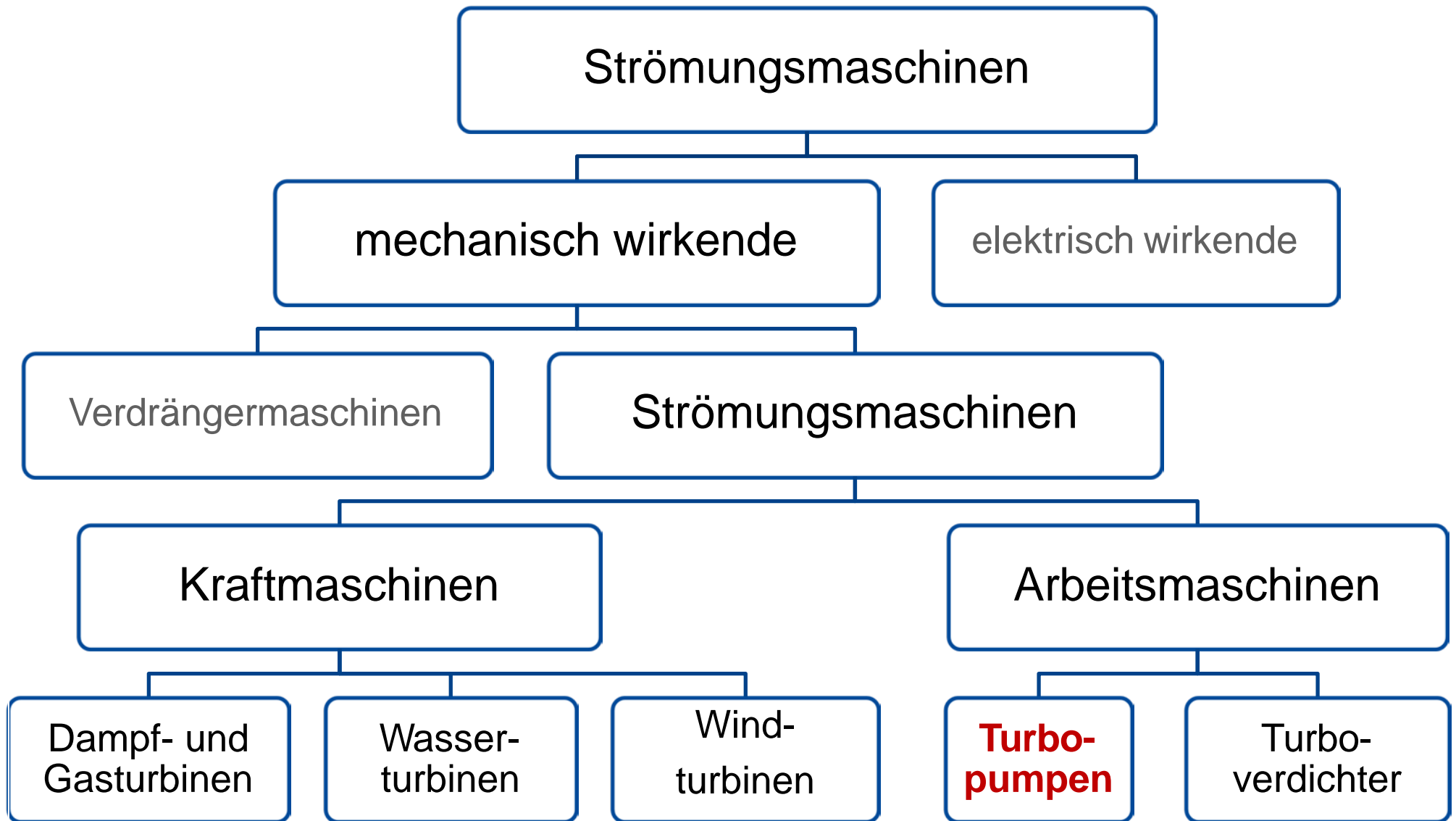
Kolben- und Strömungsmaschinen

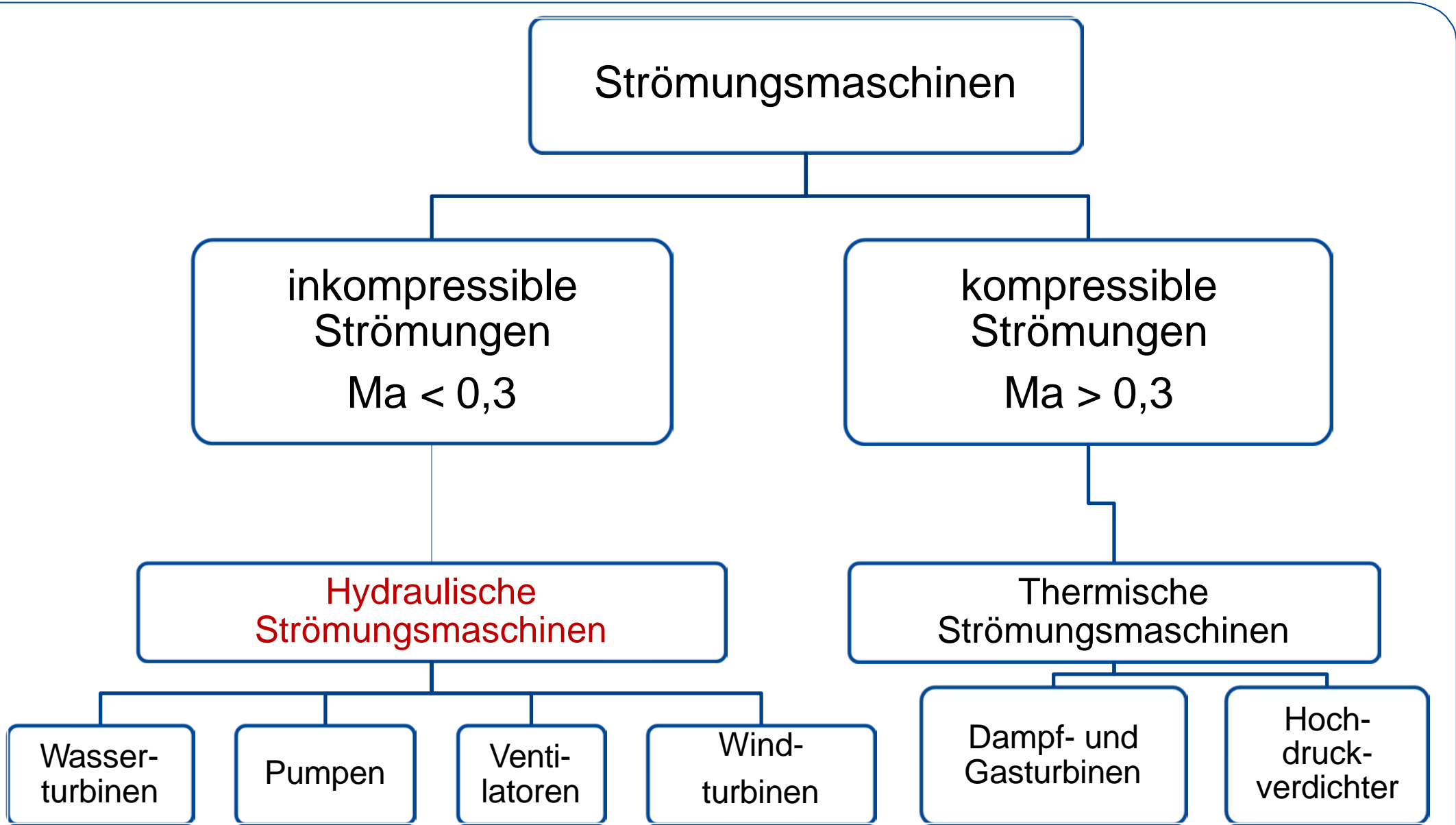
Prof. Dr. Hendrik Wurm

Lehrstuhl für Strömungsmaschinen



- Einführung, Arten und grundsätzlicher Aufbau von Strömungsmaschinen
- Aufbau und Funktionsweise von Flugtriebwerken und den enthaltenen Strömungsmaschinen
- Aufbau und Funktionsweise von Windturbinen
- **Aufbau, Funktionsweise und Kennlinien von Pumpen**
- Entwurfsmethoden
- Optimierungsmethoden



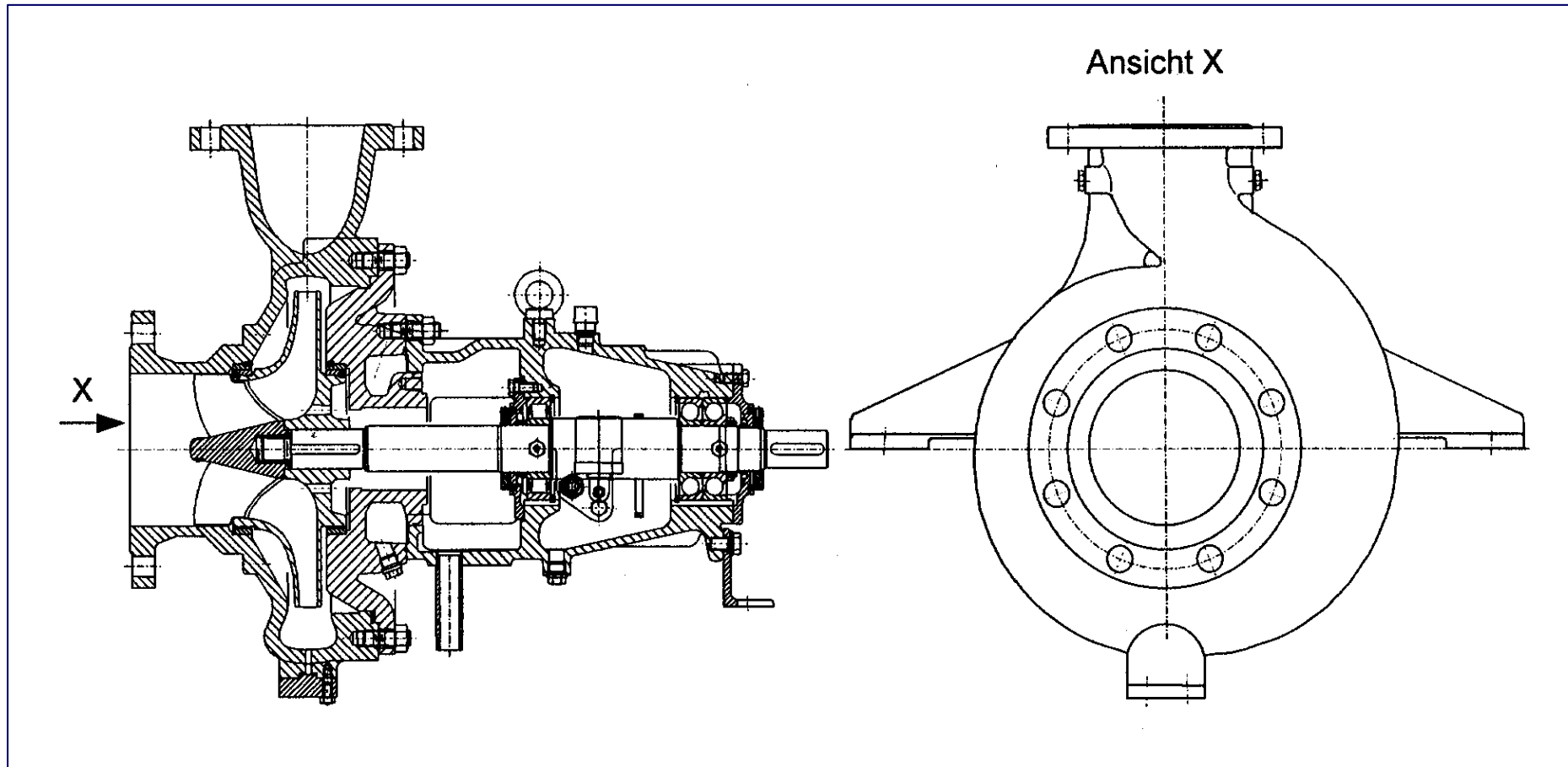


- Industrie
- Heizung / Klimatechnik
- Energietechnik
- Wasserversorgung
- Abwasserentsorgung
- Kraftfahrzeuge

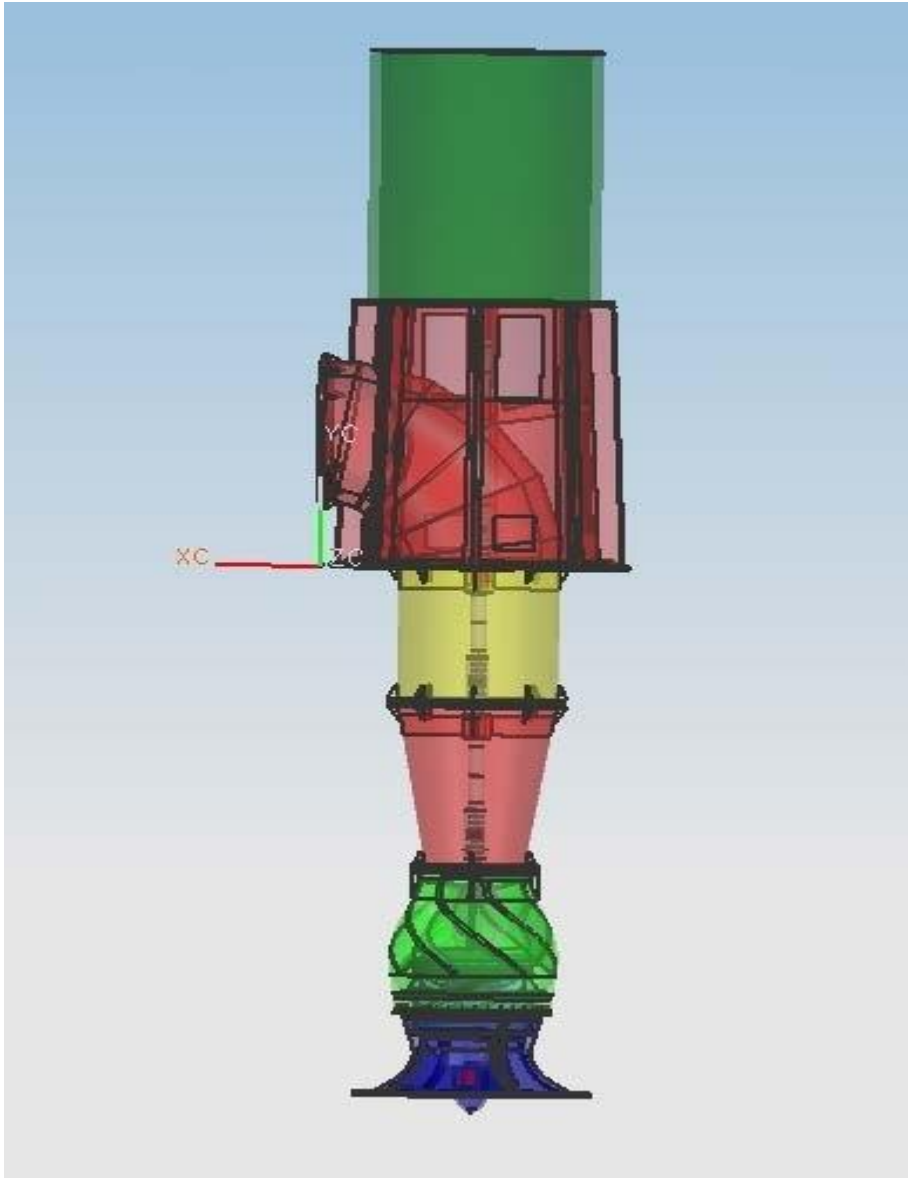


- Radialpumpen (radial durchströmtes Laufrad mit folgendem Leitrad oder Spiralgehäuse)
- Halbaxial- oder Diagonalpumpen (diagonal durchströmtes Laufrad, meist mit folgendem Leitrad)
- Axialpumpe (axial durchströmtes Laufrad, meist mit folgendem Leitrad)

# Typische Industripumpe zur Förderung von Prozessmedien oder für Heiz- und Kühlanwendungen



einstufige Spiralgehäusepumpe mit radial durchströmten Laufrad, Sulzer Pumpen AG



$P = 3,6 \text{ MW}$  (4 permanent, 1 stand by)

$H = 29 \text{ m}$

$Q = 35.000 \text{ m}^3/\text{h}$

$l_{\text{Welle}} = 17,5 \text{ m}$

$d_{\text{Laufgrad}} = 1,8 \text{ m}$

$l_{\text{EBW}} = 50 \text{ m}$

$m \text{ ca. } 115 \text{ t}$

einstufige Diagonalspumpe mit Leitrad,  
WILO SE

- Laufrad
- Leiteinrichtung
- Gehäuse
- Welle
- Lager
- Dichtungen
  
- Antrieb

## Funktionen:

- Drallerzeugung (Eulergleichung!)
- Druckaufbau

## Ausführungen:

- halboffen (nur Tragscheibe, keine Deckscheibe)
- geschlossen (mit Trag- und Deckscheibe)
- Werkstoffe: Gusseisen, Edelstahl, faserverstärkte Kunststoffe, Keramik (selten)

## Funktionen:

- Drallabbau
- Druckaufbau

## Ausführungen:

- Leitrad
- Rückführgitter mit Diffusor
- Spiralgehäuse
- schaufelloser Ringraum
- Werkstoffe: wie bei Laufrädern

## Funktionen:

- Drehmomentübertragung vom Antrieb
- Aufnahme der Laufräder

## Ausführungen:

- Pumpenwelle mit Kupplung an Motorwelle verbunden  
(Kupplung kann als mechanische oder magnetische ausgeführt werden.)
- Motorwelle wird verlängert und dient direkt als Pumpenwelle
- Werkstoffe: metallische Werkstoffe oder kohlefaserverstärkte Kunststoffe

## Funktionen:

- Lagerung der Welle und Aufnahme von Kräften

## Ausführungen:

- Gleitlager
- Kugellager
- Magnetlager

## Funktionen:

- Abdichtung nach außen, meist zum Atmosphärendruck (Druckdifferenzen bei Kreiselpumpen bis ca. 600 bar)
- Abdichtung zwischen den einzelnen Stufen (Reduzierung des Spaltvolumenstromes – Tafelbild)

## Ausführungen:

- nach außen: Gleitringdichtungen, Labyrinthdichtungen u.a.
- zwischen Stufen: ebene Spalte mit möglichst kleinem Spaltmaß, Labyrinthdichtungen, „Schwimmringe“ u.a.

## Funktionen:

- Antrieb der Pumpenwelle mit  $100 \text{ U/min} < n < 100.000 \text{ U/min}$

## Ausführungen:

- Elektromotor als Asynchronmotor oder zunehmend als permanenterregter Synchronmotor
- Dieselmotor
- bei großen Leistungen auch Dampf- und Gasturbinen

- Förderhöhe  $H$  bzw. erzeugte Druckdifferenz  $\Delta p$
- Volumenstrom  $Q = c \times A$
- Leistungsaufnahme  $P$
- Wirkungsgrad
- NPSH- Wert (charakterisiert das Kavitationsverhalten, Kavitation siehe Vorlesung Hydraulische Strömungsmaschinen)

$$H = H(Q)$$

$$\eta = \eta(Q)$$

$$P = P(Q)$$

$$\text{NPSH} = \text{NPSH}(Q)$$



- offene Systeme
- geschlossene Systeme

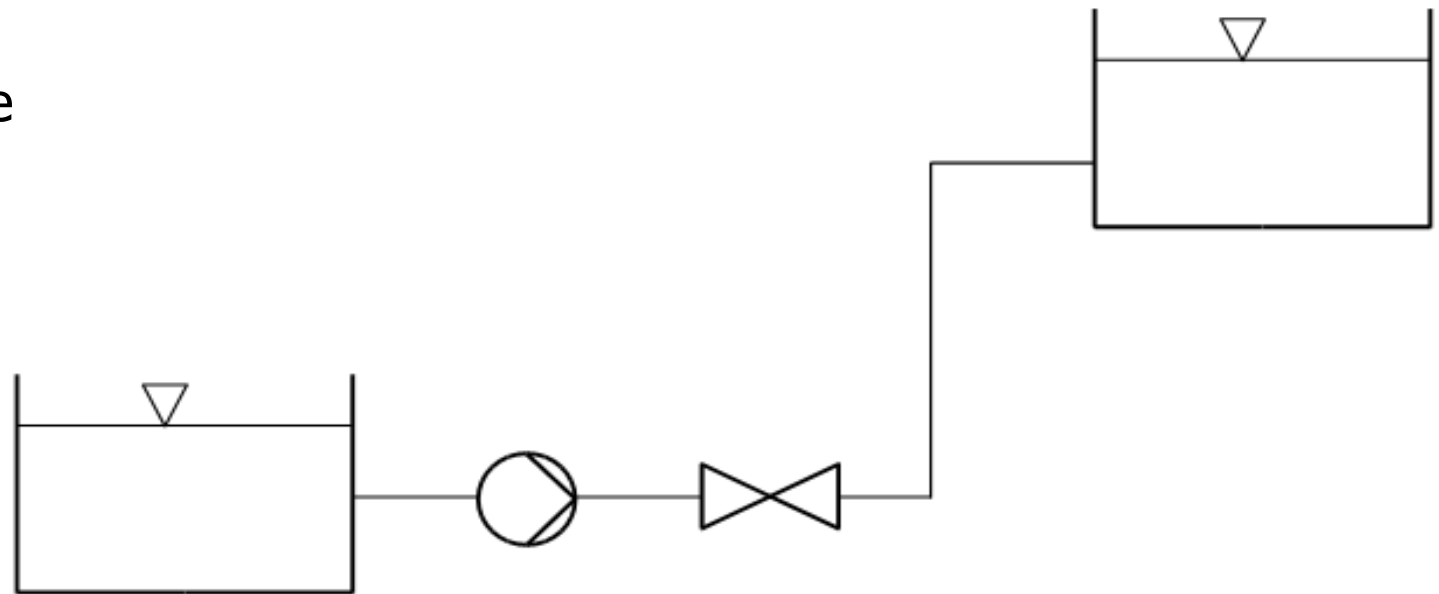
Wasserversorgung

Abwasserentsorgung

Bewässerung

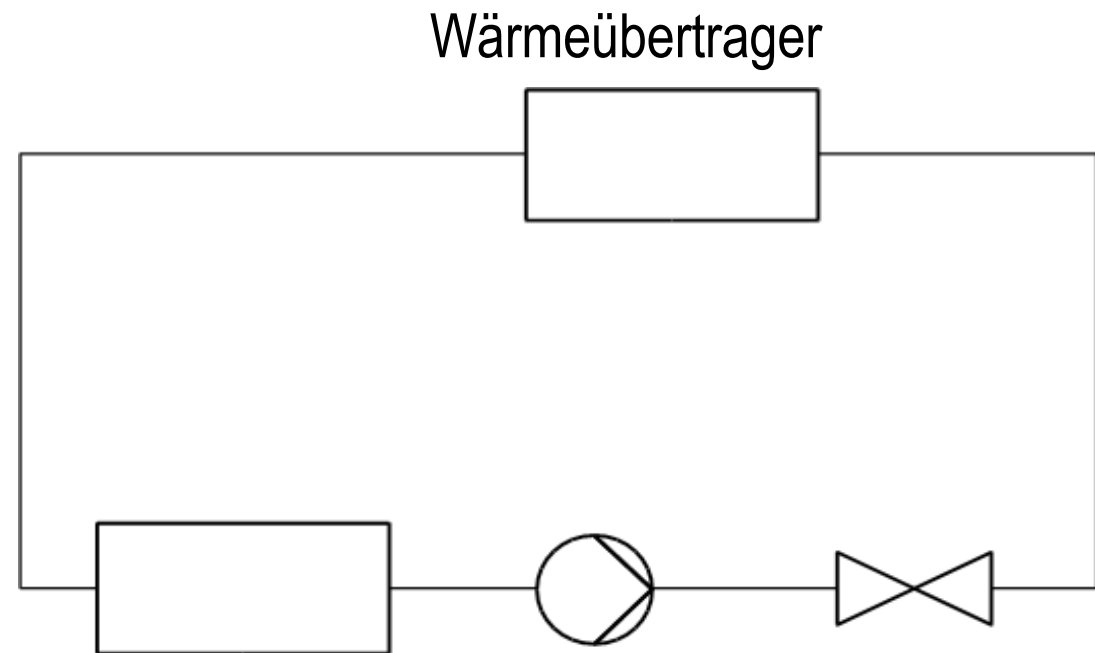
Substanzzuführung

Hochwasserpumpwerke



$$H = H_{\text{Stat}} + H_{\text{Verluste}}$$

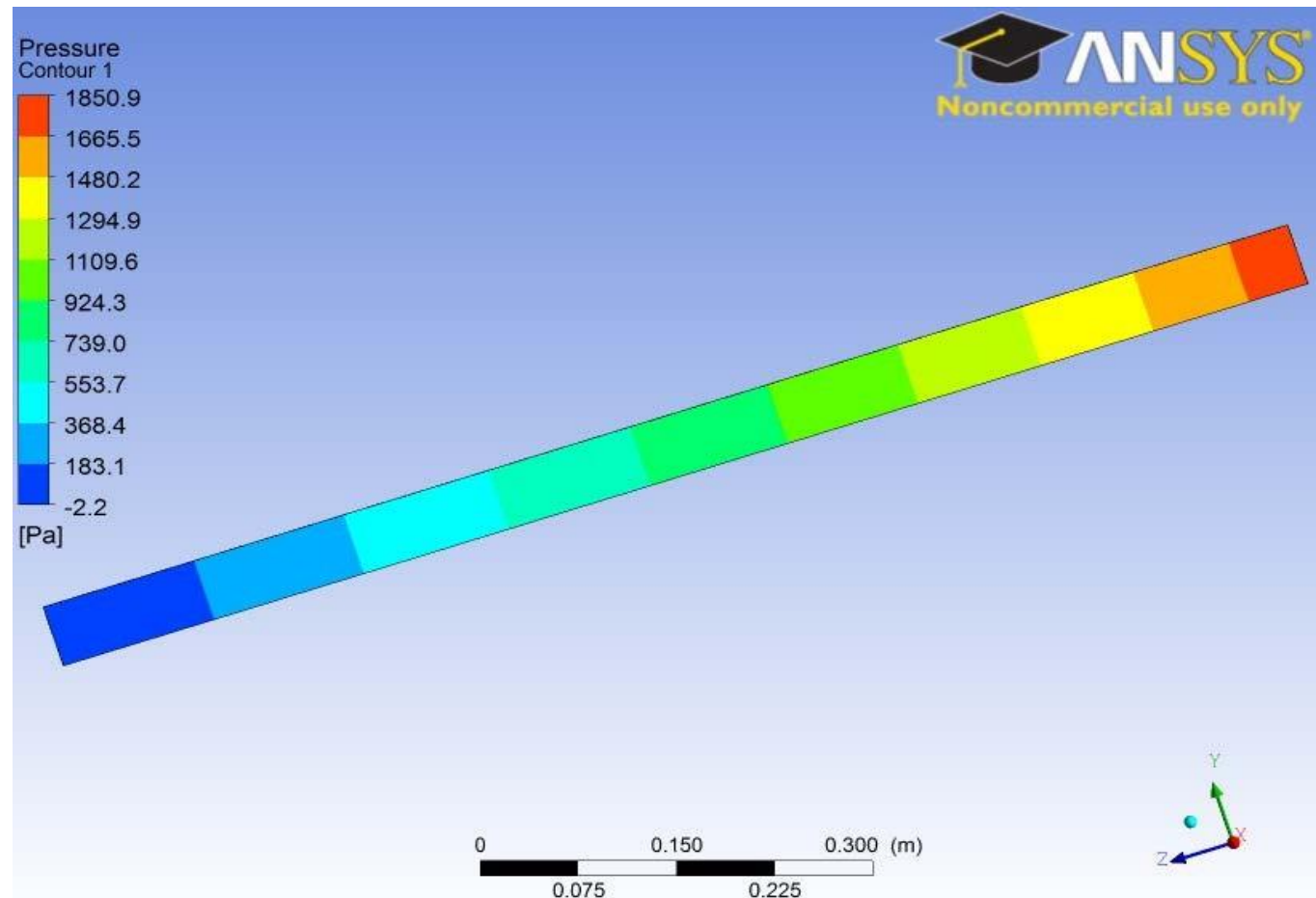
Blutkreislauf  
Heizkreislauf  
Kühlkreislauf



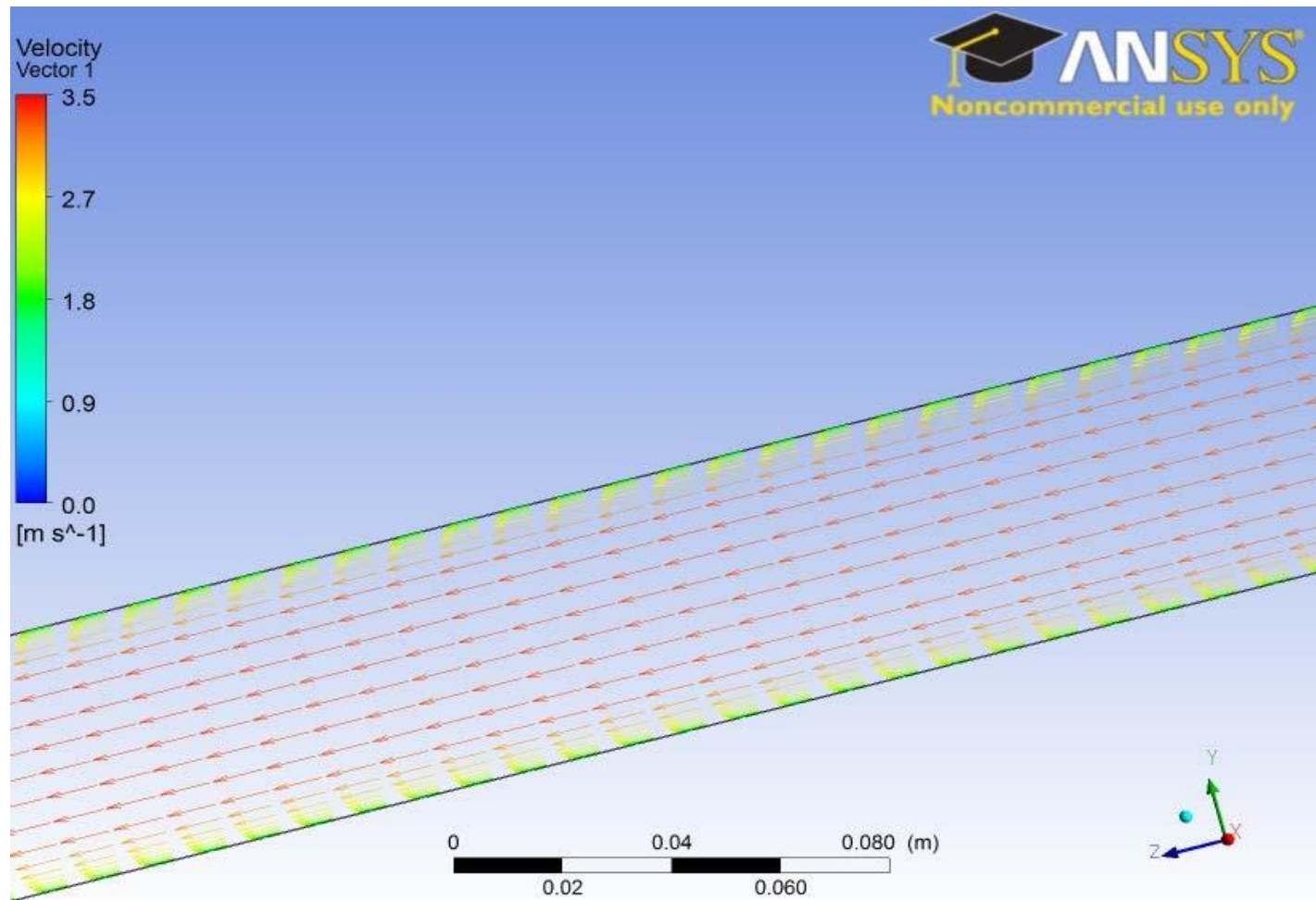
$$H = H_{\text{Verluste}}$$

- Reibungsverluste (abhängig von Durchmesser und Länge der Rohrleitung, Strömungsgeschwindigkeit, Reibungszahl)
- Druckverlust in Einbauten (Krümmer, Drosseln, Klappen, Abzweigungen, Filter)
- Stoßverlust durch plötzliche Querschnittsänderungen

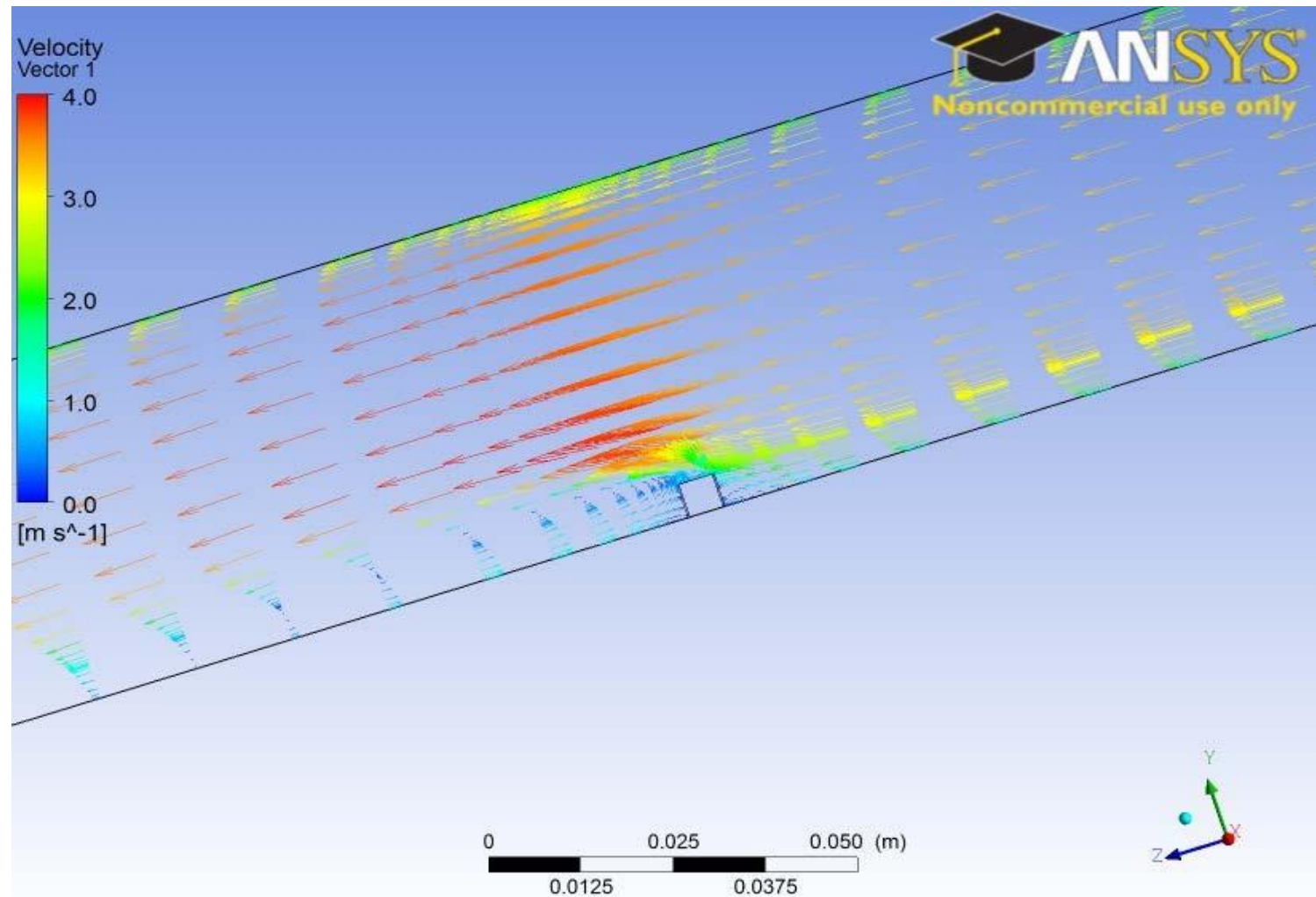
# Strömung in einem Rohr bei verschiedenen Schieberstellungen ( $c = 3 \text{ m/s}$ für alle Rechnungen)



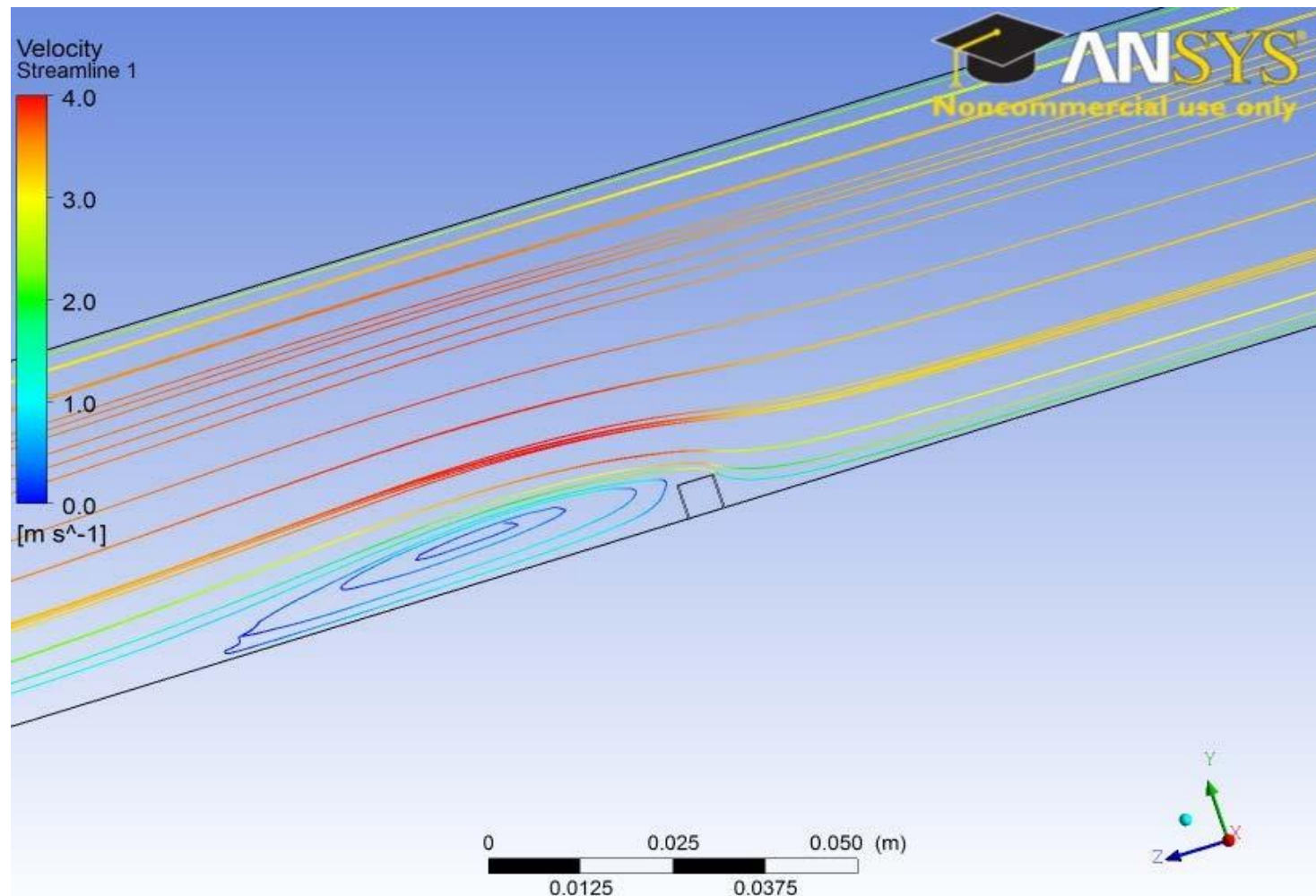
statische Druck bei offenem Schieber,  
 **$dp = 1826 \text{ Pa}$**



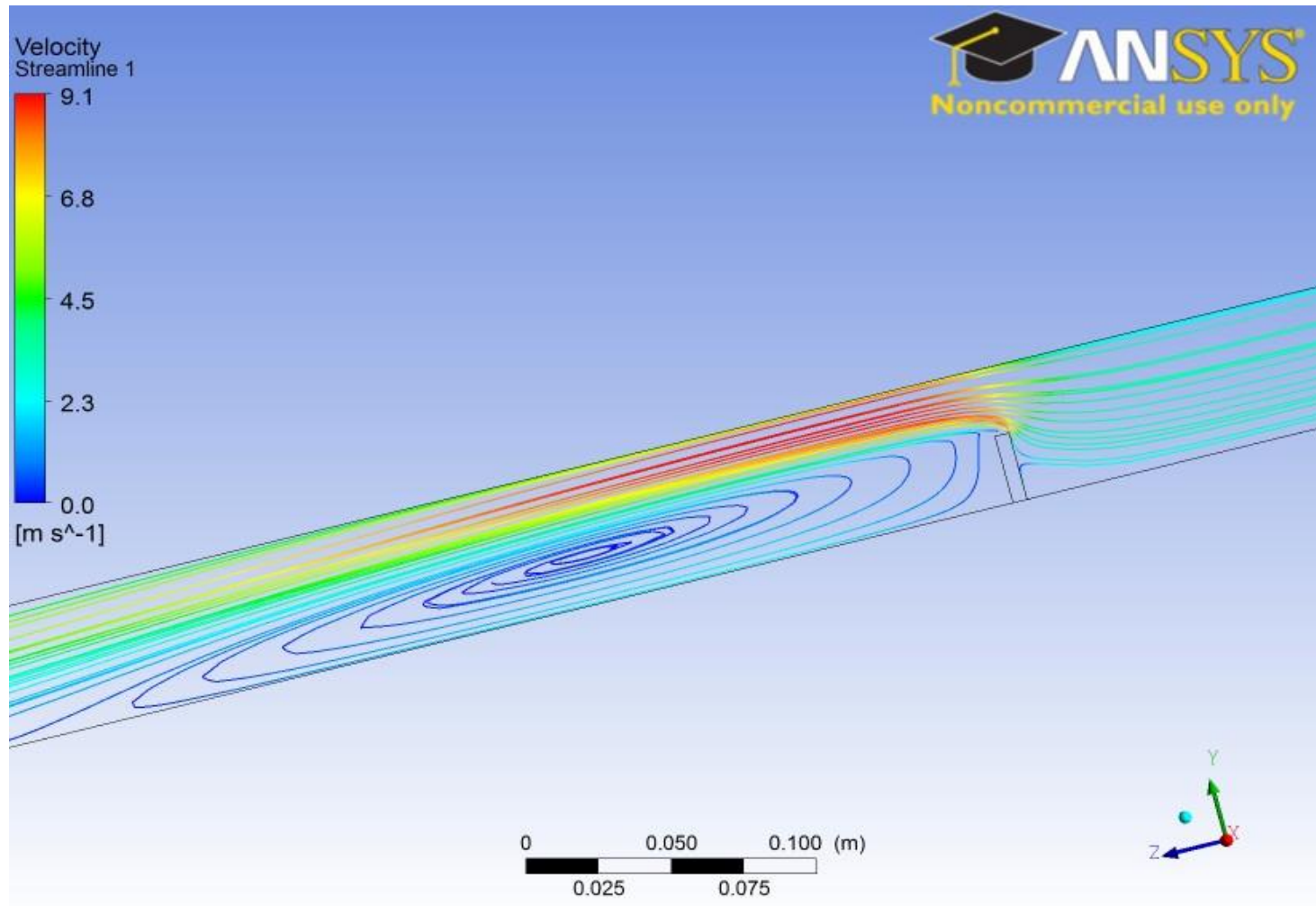
Geschwindigkeitsvektoren bei offenem Schieber



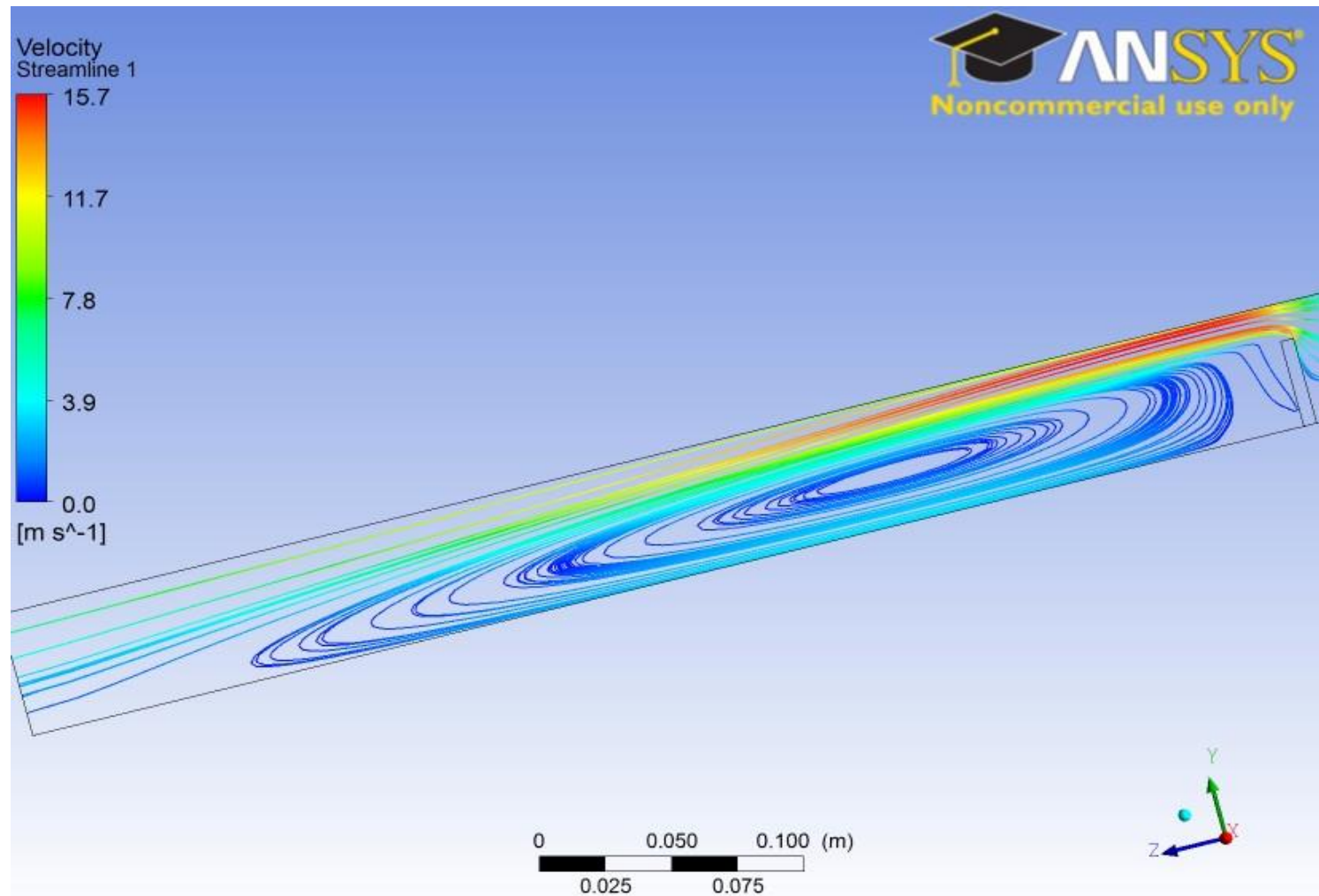
Geschwindigkeitsvektoren bei Schieberstellung 10% geschlossen,  
**dp = 2304 Pa**



Stromlinien bei Schieberstellung 10% geschlossen,  
**dp = 2304 Pa**



Stromlinien bei Schieberstellung 50% geschlossen,  
**dp = 22568.8 Pa**



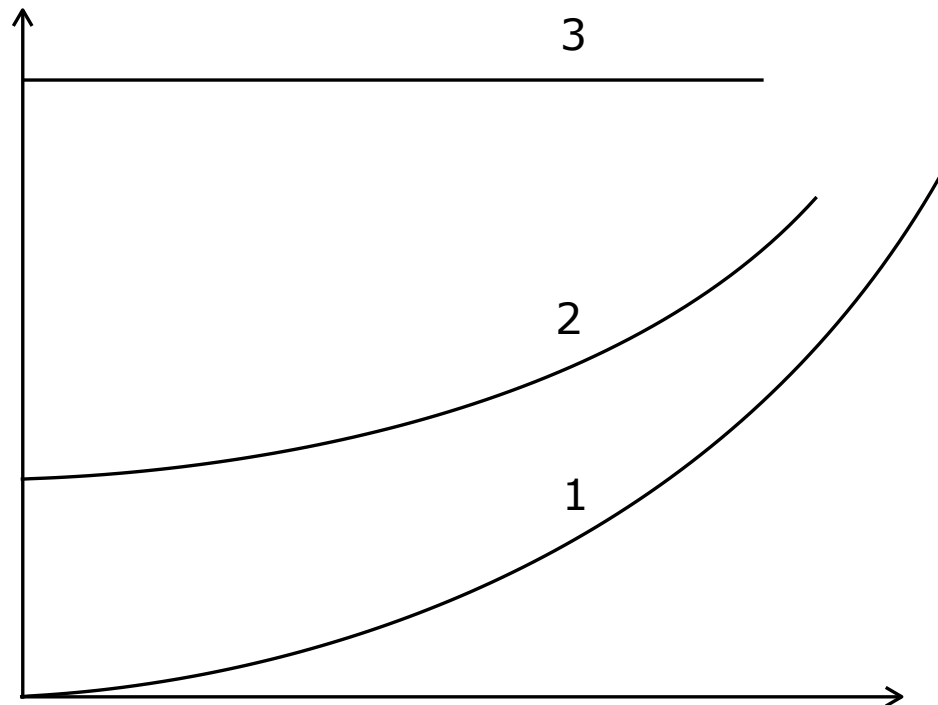
Stromlinien bei Schieberstellung 70% geschlossen,  
**dp = 87852.2 Pa**

$$\Delta p_v = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \frac{l_i}{D_i} \frac{\rho}{2} \left( \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_i^2} \right)^2 + \sum_{j=1}^m \zeta_j \frac{\rho}{2} \left( \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_j^2} \right)^2$$

$\lambda$  - Reibkoeffizient

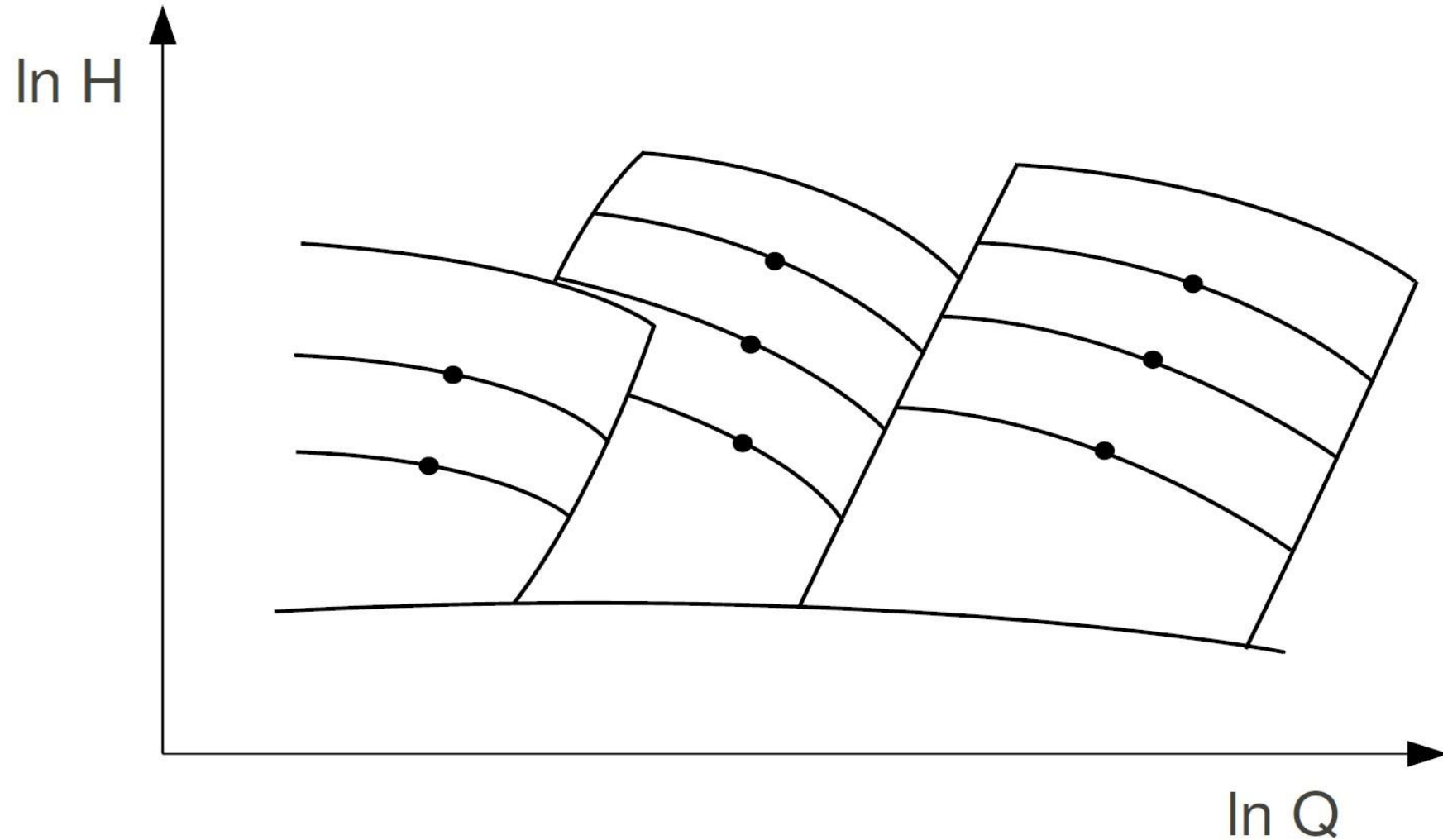
$\zeta$  - Verlustbeiwert

$$H_{\text{Verluste}} = \frac{\Delta p_v}{\rho \cdot g}$$

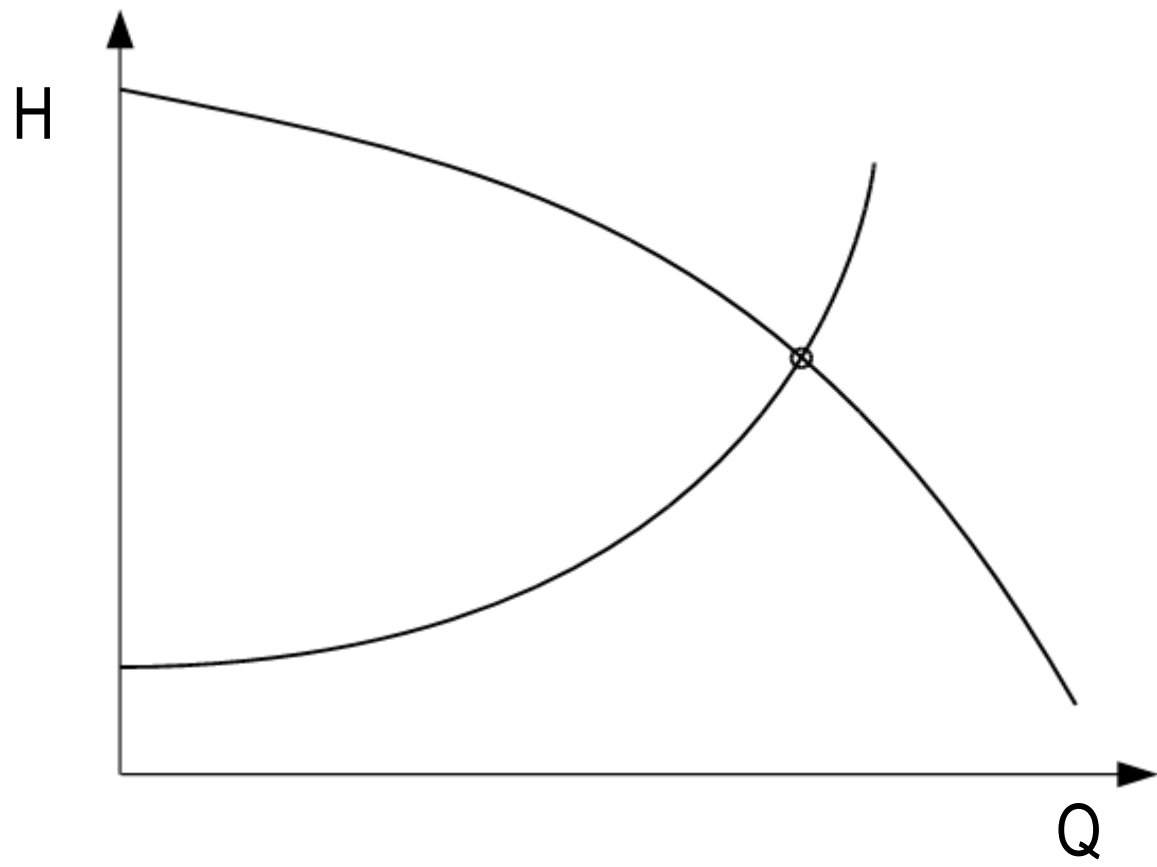


- 1 Förderhöhe: nur dynamischer Anteil
- 2 Förderhöhe: statischer und dynamischer Anteil
- 3 Förderhöhe: "nur" statischer Anteil

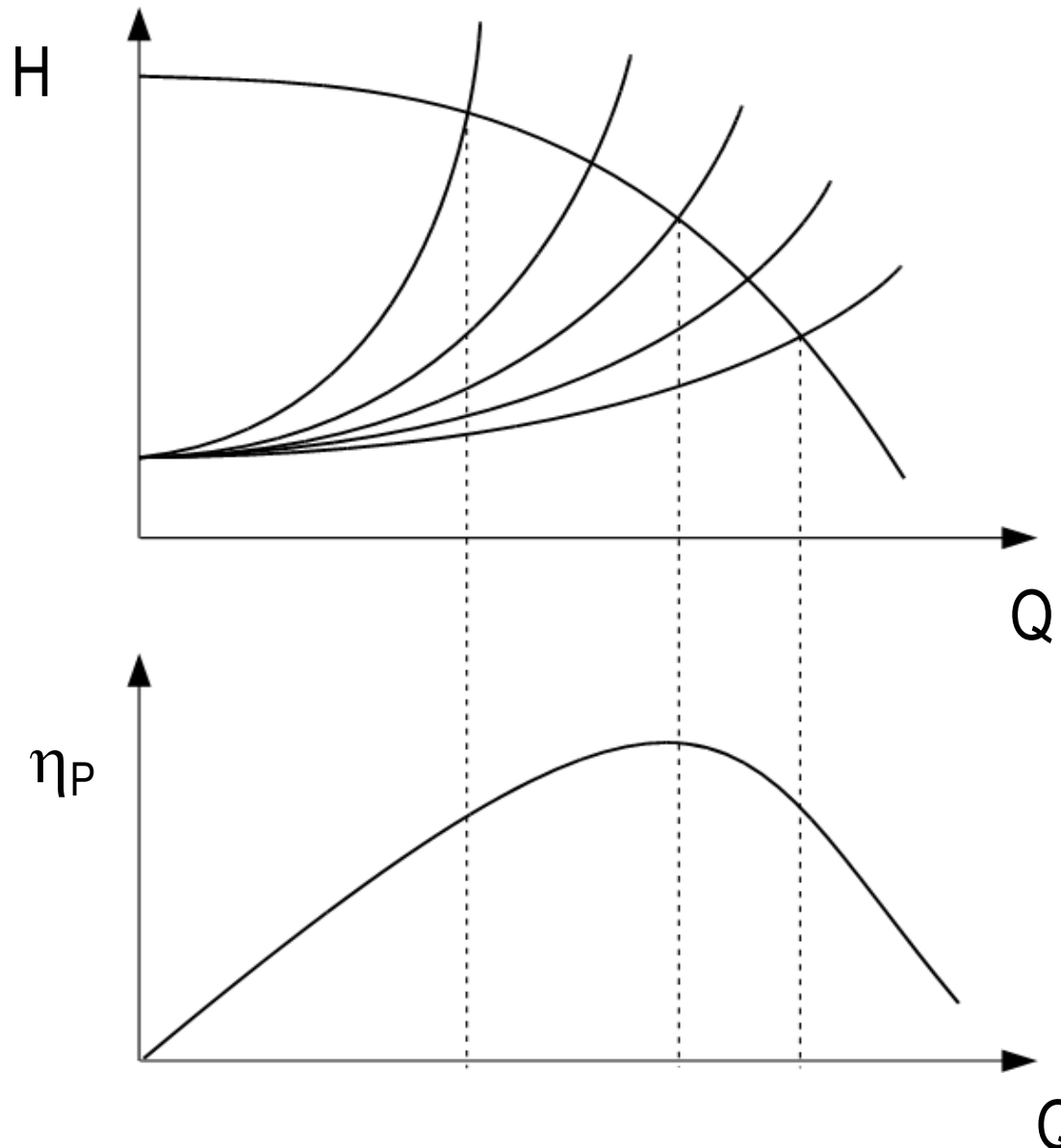
# Kennfeld einer Pumpenbaureihe



# Pumpe – Anlage



# Dynamischer Anlagenbedarf

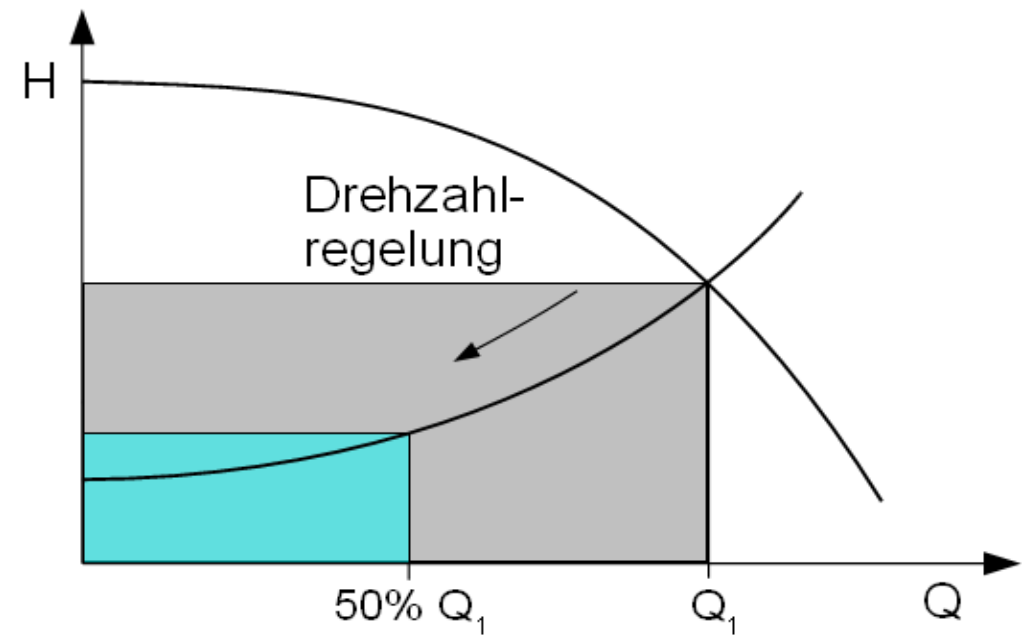
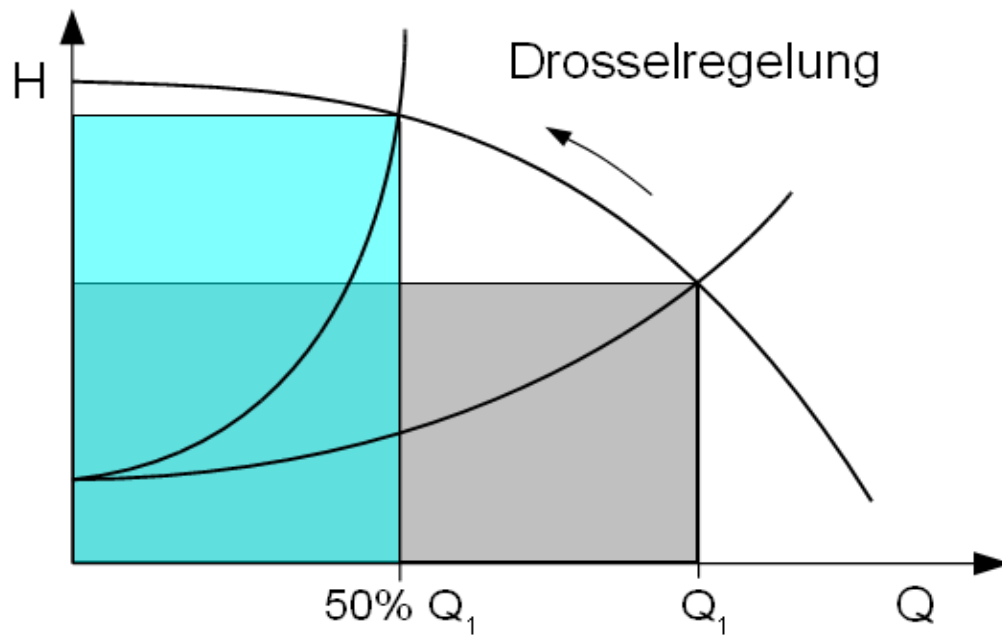


# Anpassung an den dynamischen Anlagenbedarf



- Drehzahlregelung
- Drosselregelung
- Start – Stop – Ansteuerung der Pumpe
- Bypass- Regelung
  
- Reihenschaltung von Pumpen
- Parallelschaltung von Pumpen

# Gegenüberstellung Drehzahl- und Drosselregelung

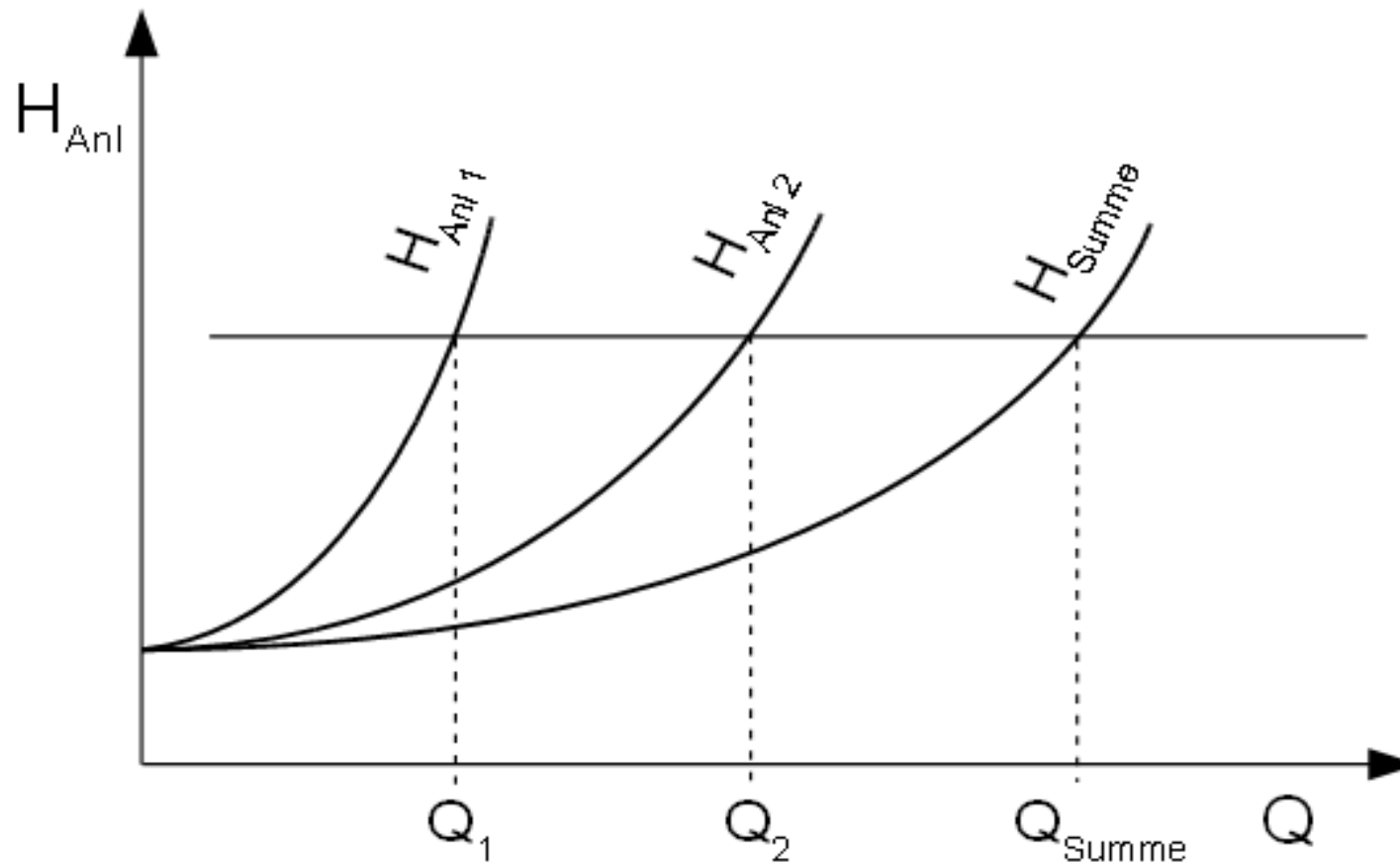


Ziel: 50% von  $Q_1$

# Start-Stop-Ansteuerung

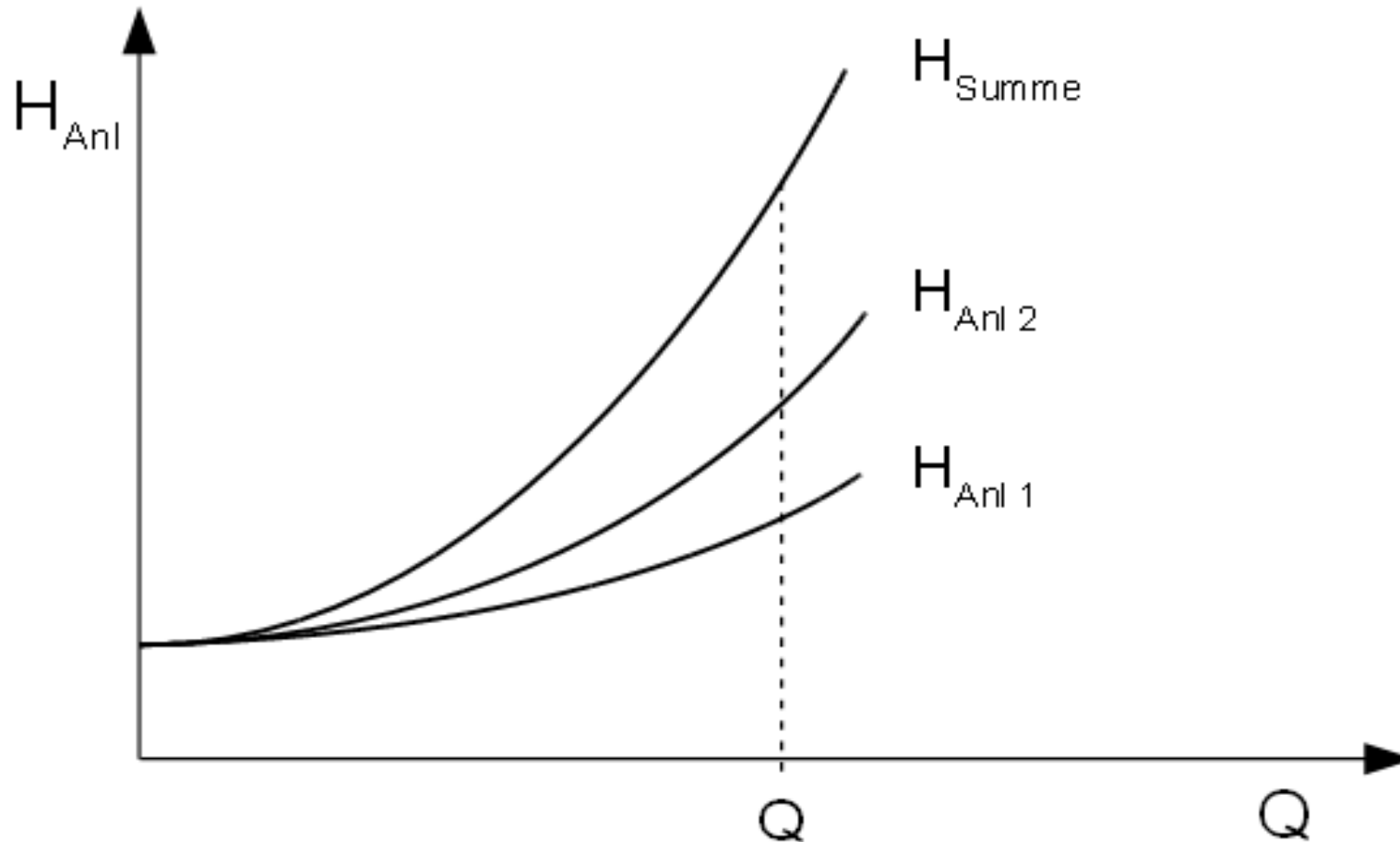
Tafelbild

# Anlagenkennlinie – Parallelschaltung von Pumpen



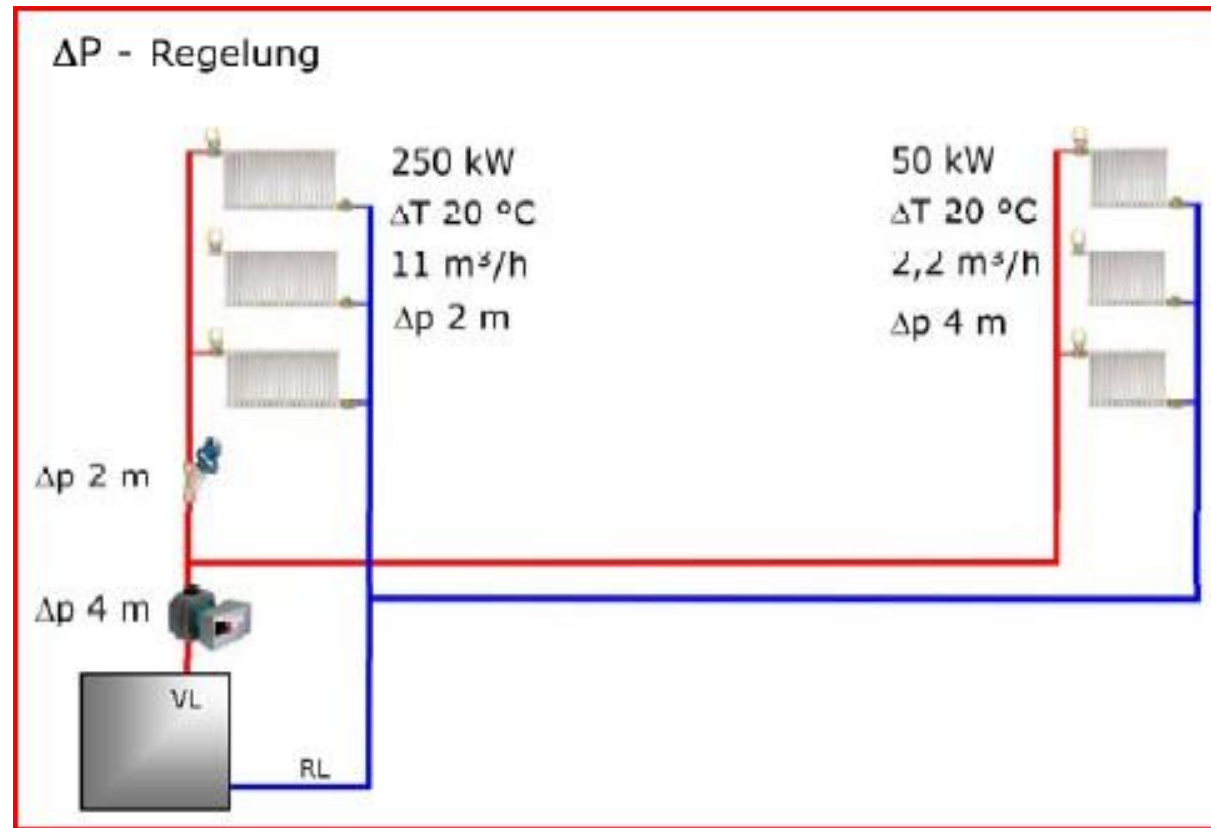
Förderung in zwei parallele Rohrleitungen

# Anlagenkennlinie- Reihenschaltung von Pumpen



Förderung in eine Rohrleitung Pumpen in Reihe geschaltet

- Förderhöhe gemäß Bedarf im ungünstigsten Strang
- Drosselung der Stränge mit geringerem Bedarf



# Konzept mit dezentralen Pumpen in jedem Strang

- Förderhöhe individuell je Strang
- Drosselung entfällt → hydraulische Leistung sinkt

