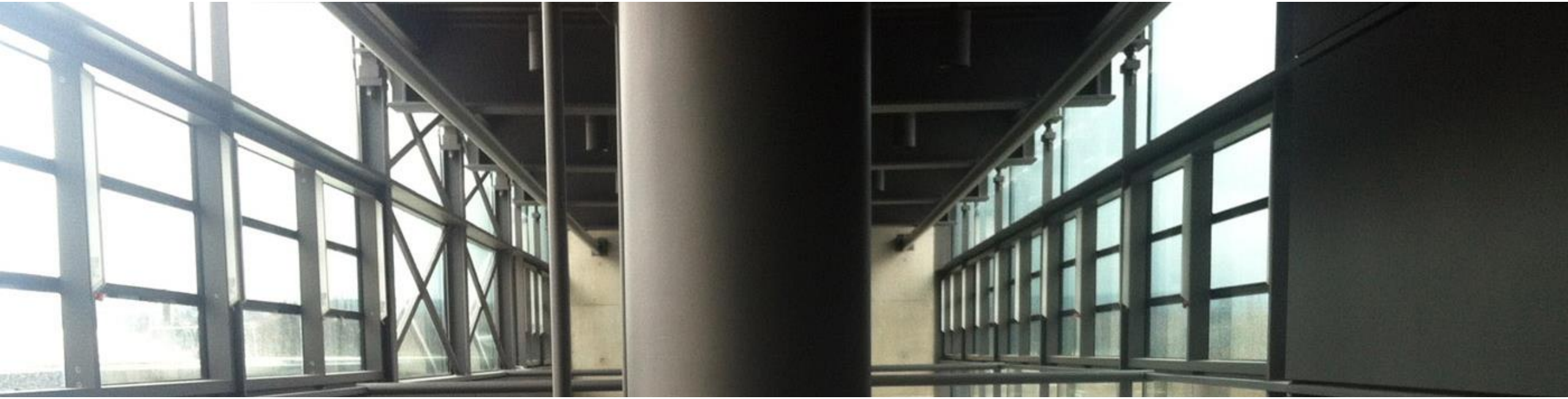
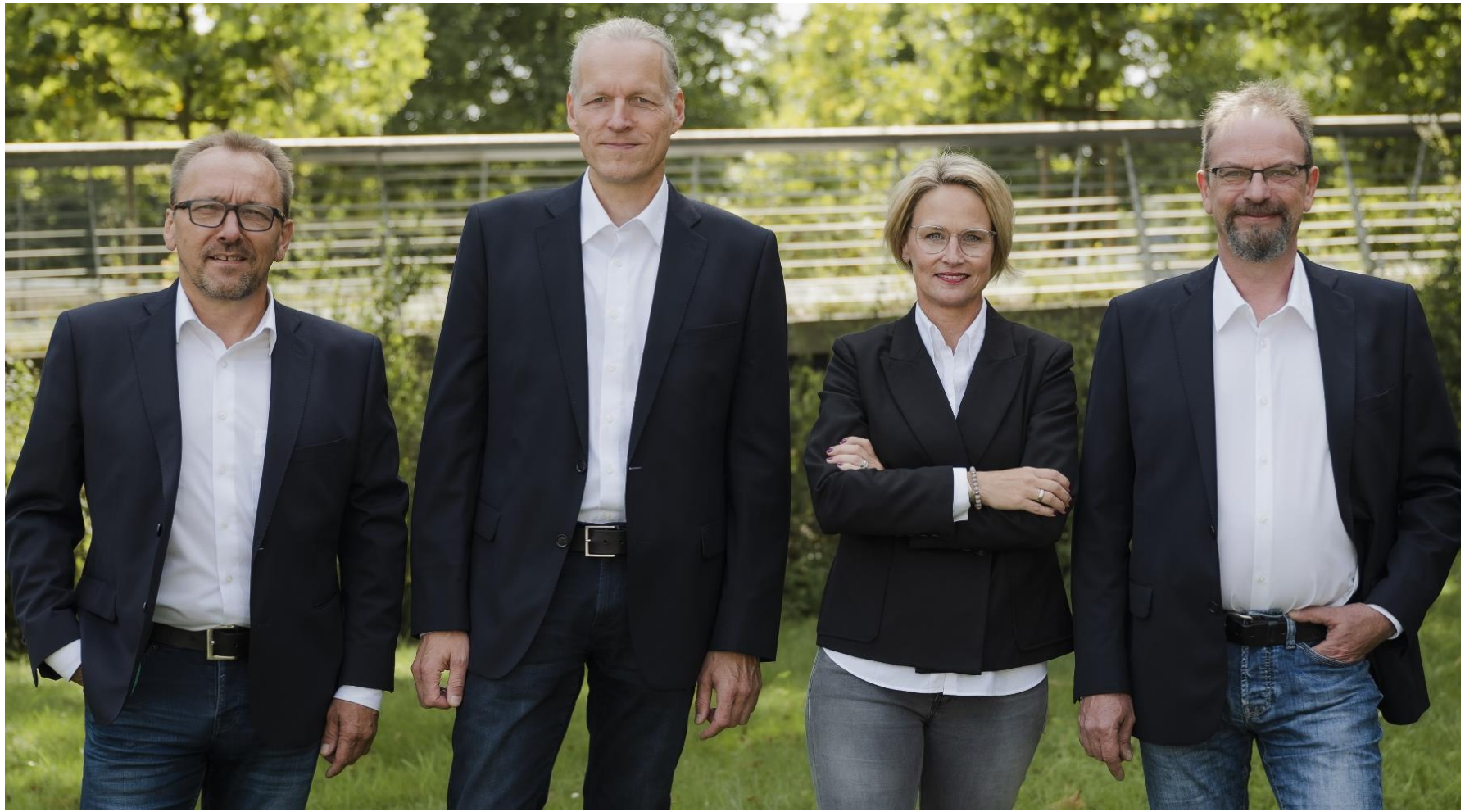


Grundlagen der Hydraulik und Pumpentechnik

Intensivtraining – April 2022 – Dauer 1½ Stunden

Thorsten Wallbrecht, Manager Project and Training, Strategic Business Development DACH

Vorstellung



Team Training

WILO SE

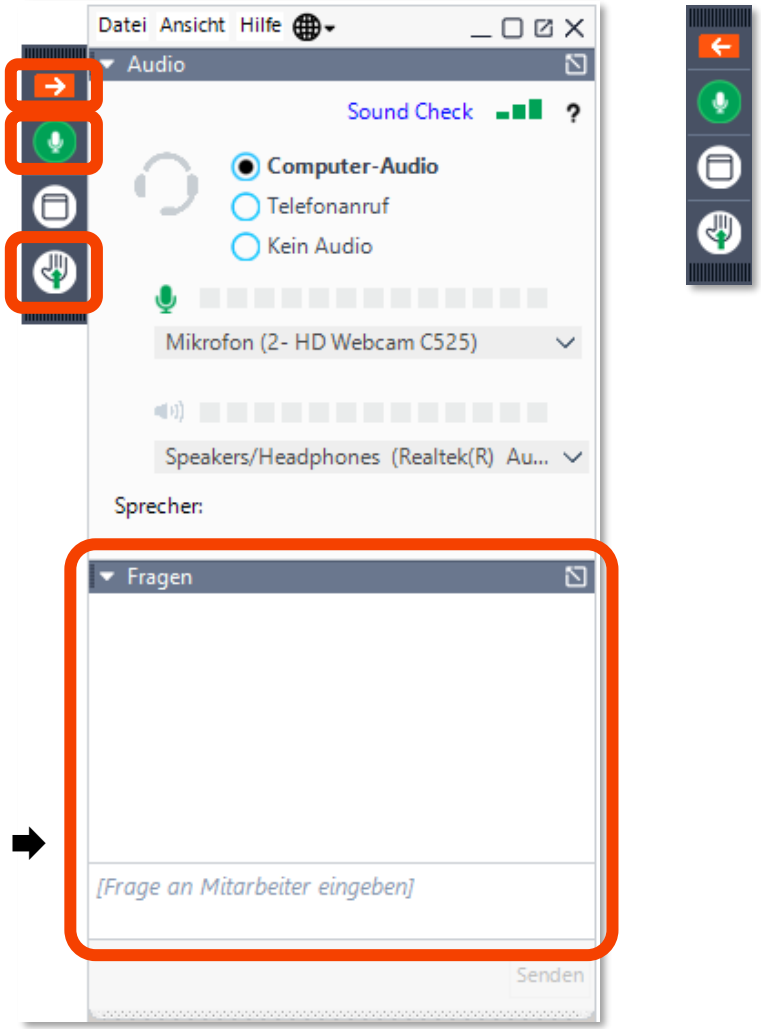
Sales Platform DACH

Project Manager Training:

- Kersten Siepmann
- Michael Ashauer
- Stefanie Schwarz
- Thorsten Wallbrecht

Die Web-Seminar-Umgebung (GoToWebinar)

Das Bedienpanel:



- Chat und Sitzung werden ggf. aufgezeichnet
- Schulungsunterlagen auf www.wilo.de/schulungen
- Feedback-Bogen nach dem Web-Seminar

Agenda Hydraulik

1. Physikalische Grundlagen
2. Hydraulische Anlagen
3. Volumenströme
4. Druckverlustberechnung

Physikalische Grundlagen

Druck

Druck ist der Quotient aus der Kraft F die auf eine A wirkt. Das übliche Formelzeichen p, mit der SI-Einheit Pascal, lehnt sich an das englische Wort für Druck (pressure) an.

$$p = \frac{F}{A}$$

1 Pa = 1 N/m²

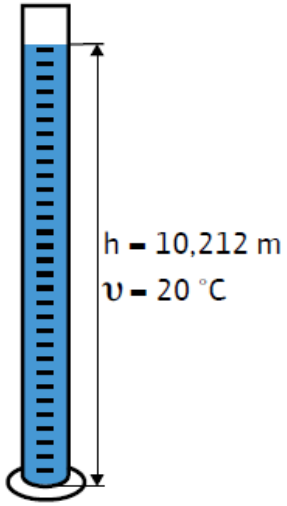
p – Druck Pa
F – Kraft N
A – Fläche m²

Statischer Druck

Der statische Druck übt auf jede Fläche, die mit dem Fluid in Verbindung steht, eine Kraft aus, die zur Größe der Fläche proportional wirkt – je größer die Fläche, desto größer wird also die darauf wirkende Kraft.

$$p_{stat} = \rho * g * H$$

1 bar = 100.000 Pa = 0,1 MPa

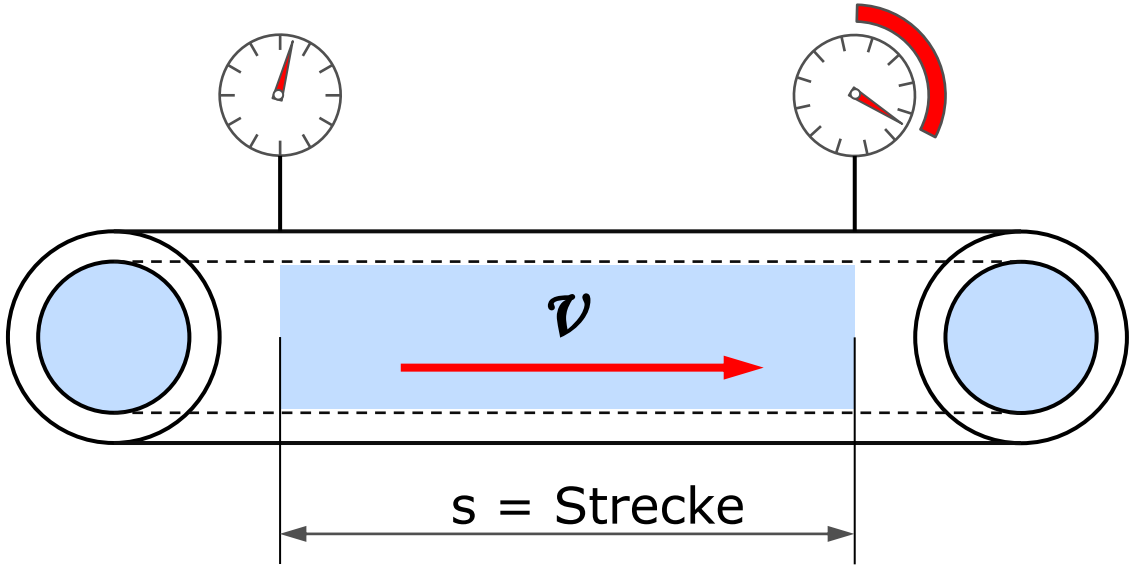


p_{stat} – Statischer Druck Pa
ρ – Dichte kg/m³
g – Fallbeschleunigung m/s²
H – Förderhöhe m

Strömungstechnik

Strömung ist Geschwindigkeit und Druck!

Die Strömungsgeschwindigkeit v in m/s:

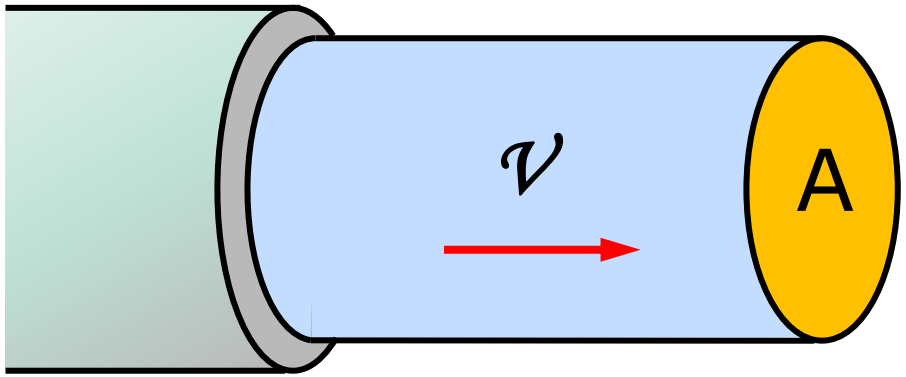


$$v = \frac{s}{t}$$

s = Strecke in m
t = Zeit in s

Strömungstechnik

Der Volumenstrom in m³/s:



$$\dot{V} = A \cdot \mathcal{V}$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

A = Rohrquerschnitt in m²
$\mathcal{V}$ = Strömungsgeschwindigkeit in m/s
V = Volumen in m³
t = Zeit in s

Umrechnungen:
1 m³/s = 3600 m³/h
1 l/s = 3,6 m³/h

Strömungstechnik - Beispiel

Berechnen Sie die Strömungsgeschwindigkeit v in der Druckleitung dieser Pumpe:

Volumenstrom ca. 36.000 m³/h

Druckleitung DN 2000

Gegeben: _____

Gesucht: _____

Lösung:

Capacity	Head	Motor	Qty	Customer	Application
35600 cum/hr	28 m	3400 kW	5 sets	Lanco Infrastructure	Circulating water (2X600 MW)

Strömungstechnik - Beispiel

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

Strömungstechnik

Die Dimensionierung von Rohrquerschnitten bestimmt die Strömungsgeschwindigkeit des Fördermediums im Rohrnetz. Nachfolgend angeführte Werte sollten nicht überschritten werden:

Anschlussnennweite DN *mm*	Strömungsgeschwindigkeit υ *m/s*
In Gebäudeinstallationen	
HK-Anbindung, FBH, TWZ	0,3 bis 0,5
Verteilleitung	0,5 bis 1,0
Bis Rp 1¼ bzw. DN 32	bis 1,2
DN 40 und DN 50	bis 1,5
DN 65 und DN 80	bis 1,8
DN 80 und größer	bis 2,0
In Fernheizanlagen	2,5 bis max. 3,5
Trinkwasser und Trinkwarmwasser	1,0 bis 2,0
Freispiegelentwässerung	
Waagerechte Rohrleitung	v_{min} = 0,7 bis 1,0
Senkrechte Rohrleitung	v_{min} = 1,0 bis 1,5
Dükerleitung	v_{min} = 2,0 bis 3,0

Strömungstechnik - Beispiel

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$v = \frac{36.000\ m^3 * 4}{2^2\ m^2 * 3{,}14 * h}$$

Strömungstechnik - Beispiel

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$v = \frac{36.000\ m^3 * 4}{2^2\ m^2 * 3{,}14 * h}$$

$$v = \frac{36.000\ m^3 * 4 * h}{4\ m^2 * 3{,}14 * h * 3.600\ s}$$

v =

Physikalische Grundlagen

Strömungstechnik - Beispiel

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$v = \frac{36.000\ m^3 * 4}{2^2\ m^2 * 3{,}14 * h}$$

$$v = \frac{36.000\ m^3 * 4 * h}{4\ m^2 * 3{,}14 * h * 3.600\ s}$$

V = 3,2 m/s

???

Kurzumfrage:
Sehen Sie Bedarf und würden Sie Zeit für eine vertiefende Fortbildungsreihe investieren?

- Mehrere Antworten sind möglich.
- Bitte geben Sie ergänzende Kommentare über das Chat-Fenster ein.

Strömungstechnik

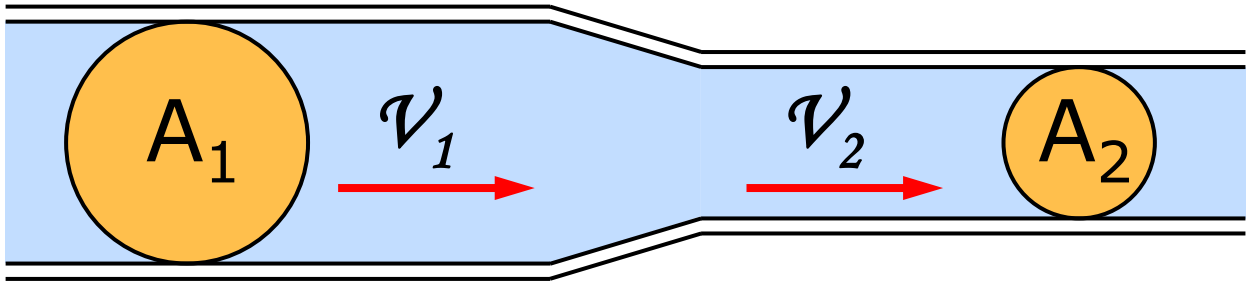
Durchflussgleichung oder

Kontinuitätsgesetz

$$\dot{V} = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

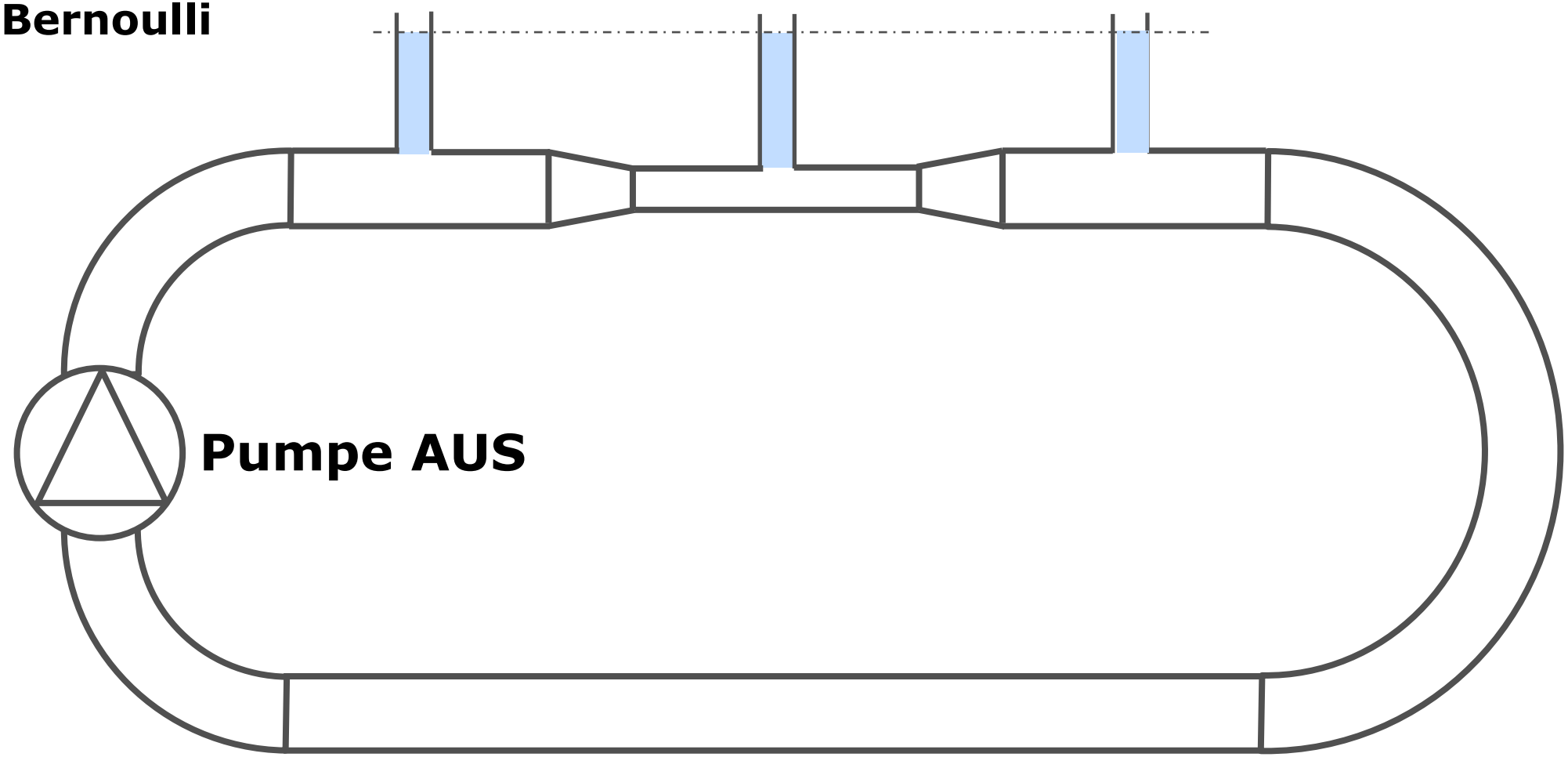
$$\dot{V} = \text{Konstant}$$

$\dot{V}$ = Rohrquerschnitt in m³/h
v = Strömungsgeschwindigkeit in m/s
A = lichter Querschnitt in m²



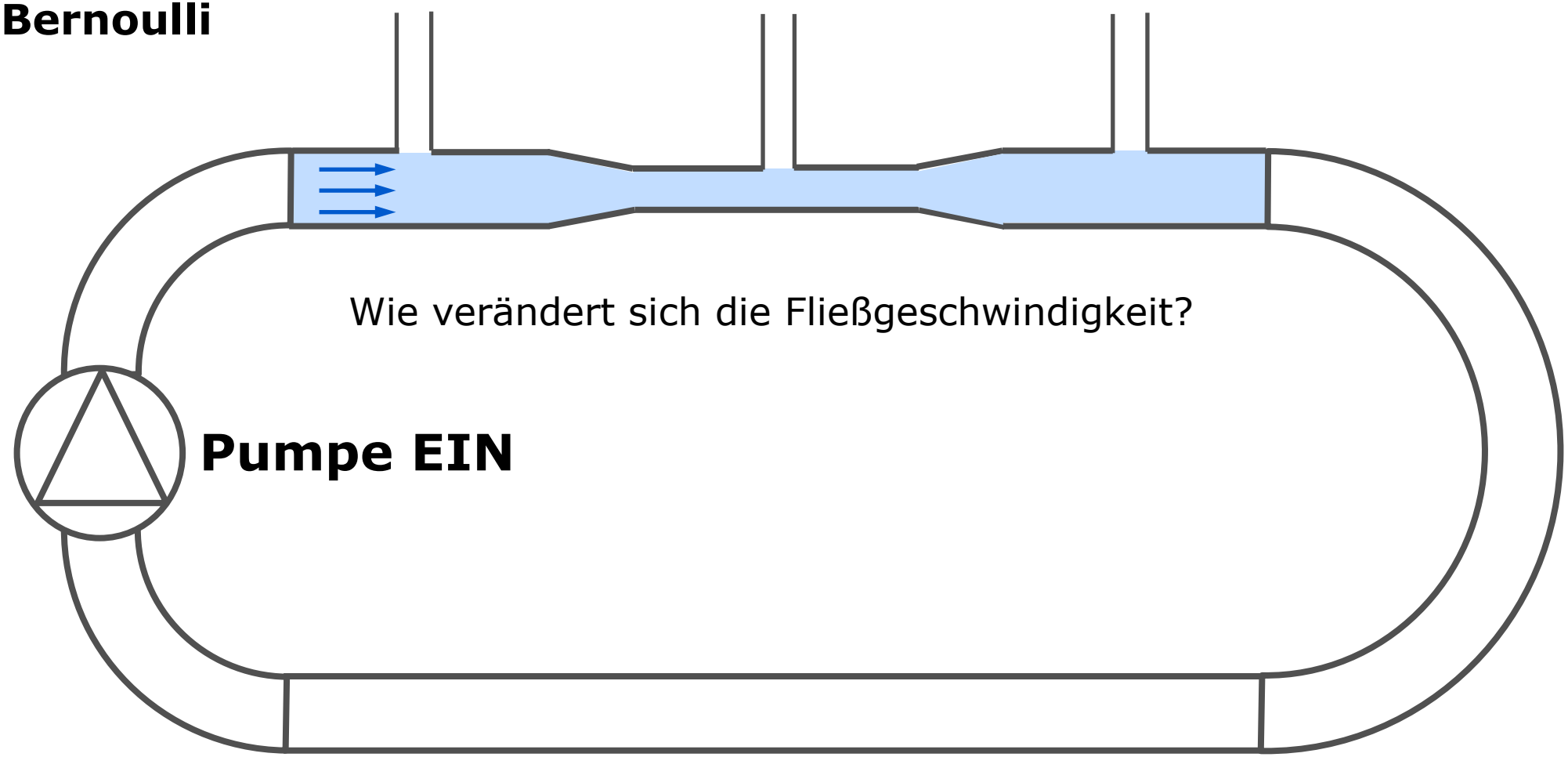
Physikalische Grundlagen

Bernoulli



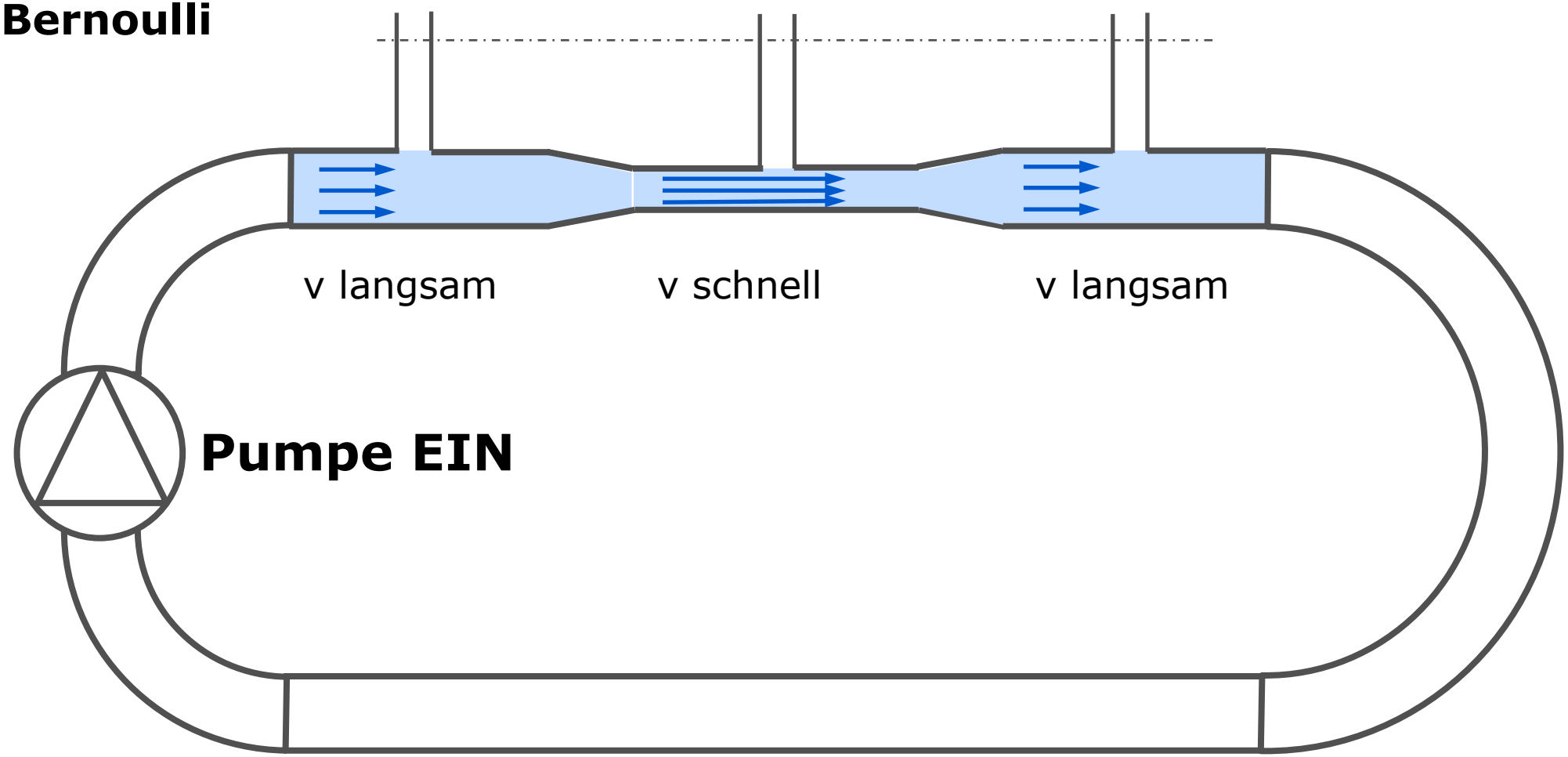
Physikalische Grundlagen

Bernoulli

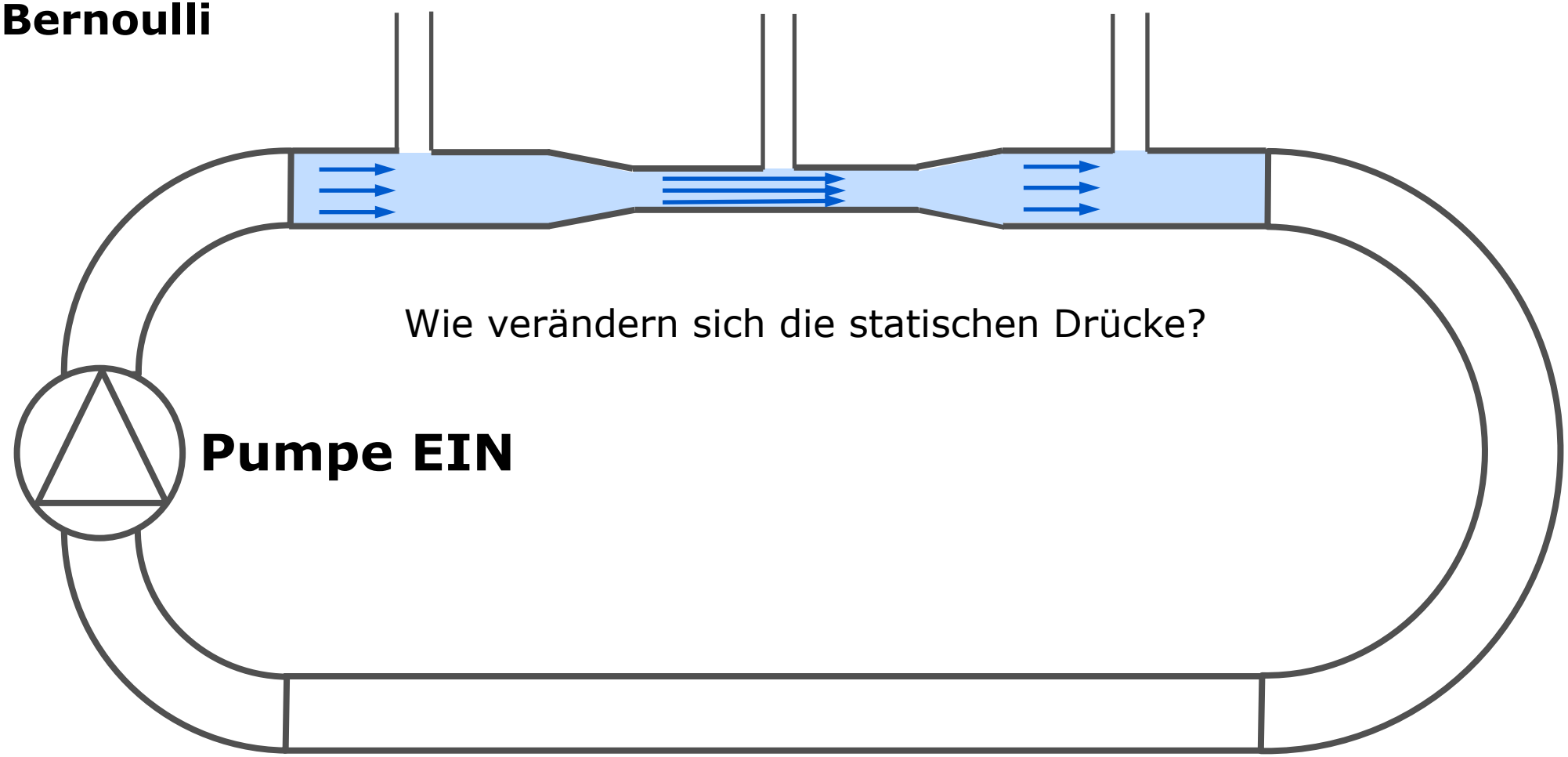


Physikalische Grundlagen

Bernoulli

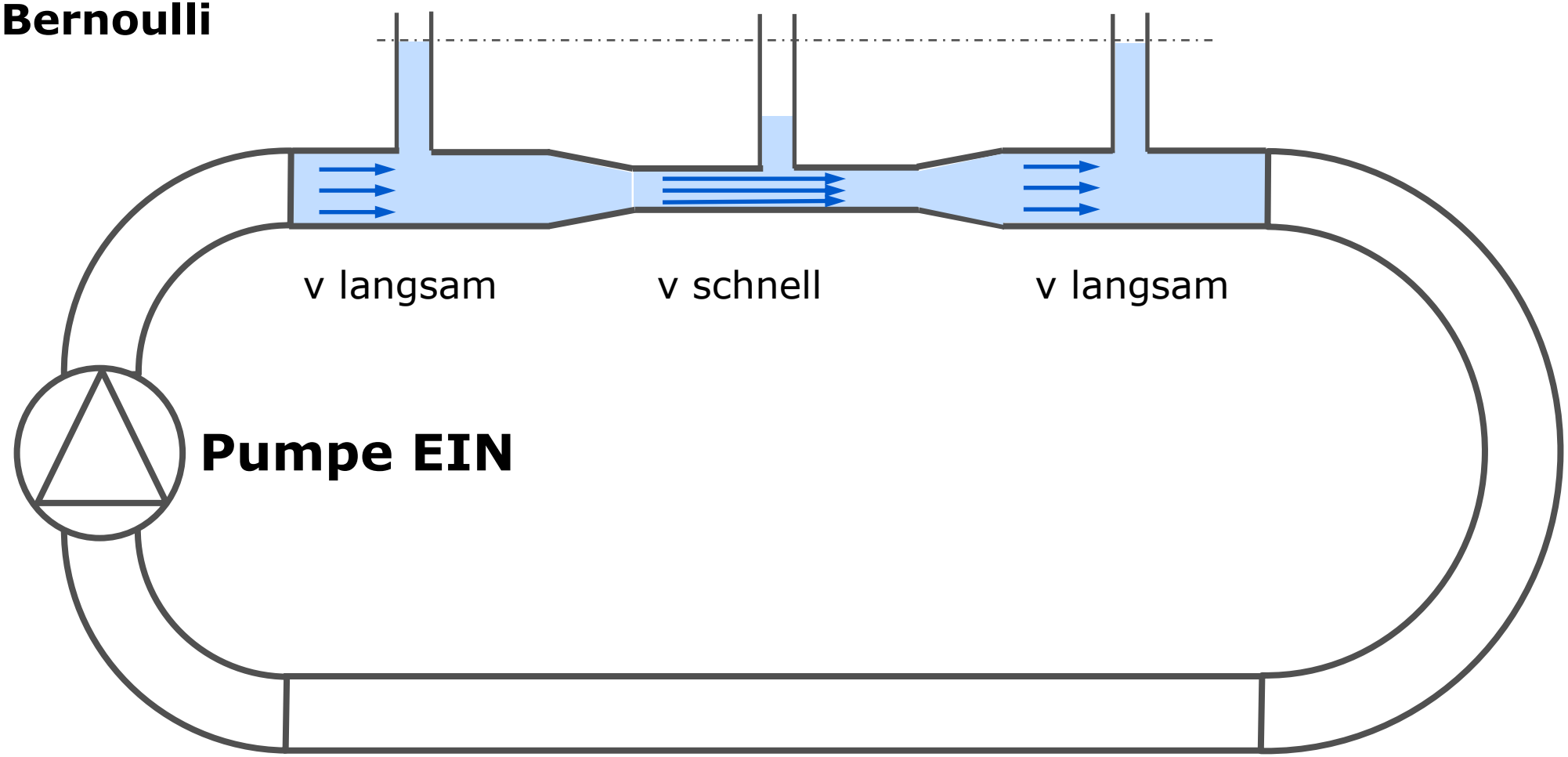


Bernoulli



Physikalische Grundlagen

Bernoulli

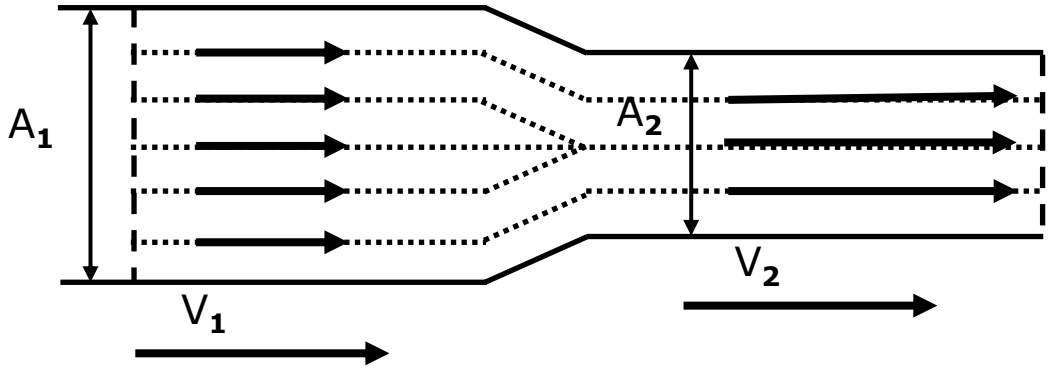


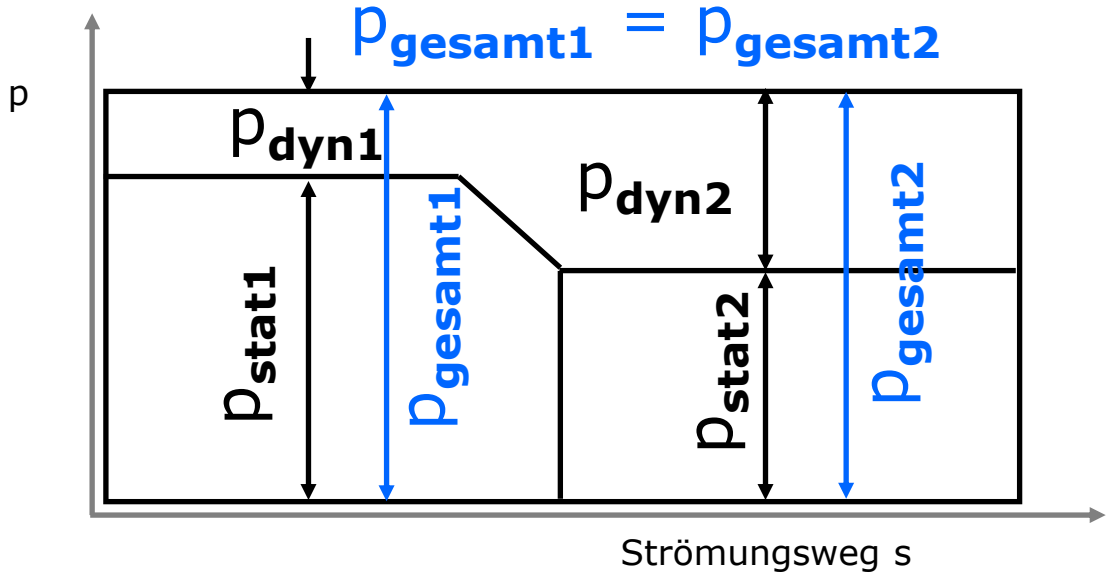
Druckverhältnisse und Strömungsgeschwindigkeit

Satz von Bernoulli*

An jedem Punkt einer bewegten Flüssigkeit ist die Summe der Druckenergie, der Höhenenergie und der Geschwindigkeitsenergie gleich.

$$p_{gesamt} = p_{stat} + p_{dyn}$$



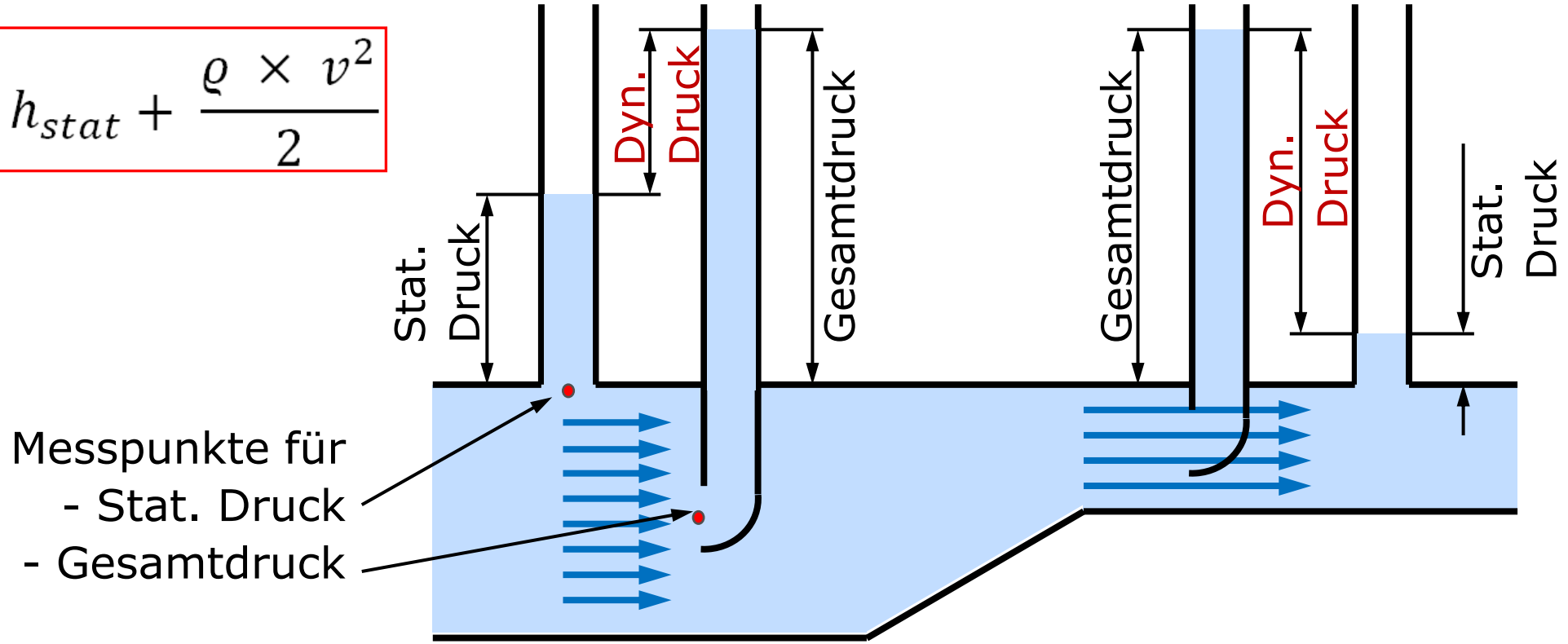


* = Schweizer Physiker 1700-1782

Druckverhältnisse und Strömungsgeschwindigkeit

Statischer und dynamischer Druckanteil in einer Strömung

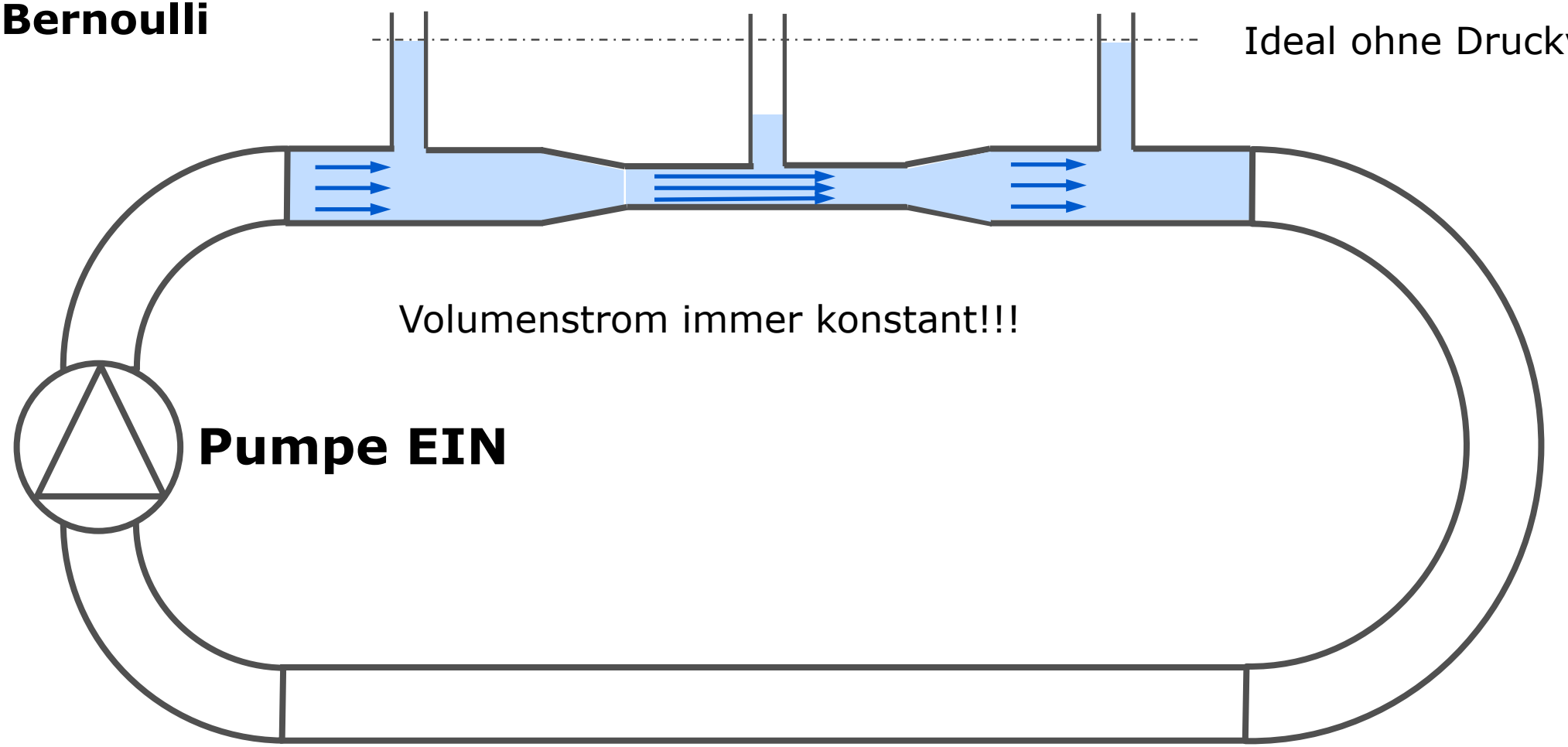
$$p_{ges} = \varrho \times g \times h_{stat} + \frac{\varrho \times v^2}{2}$$



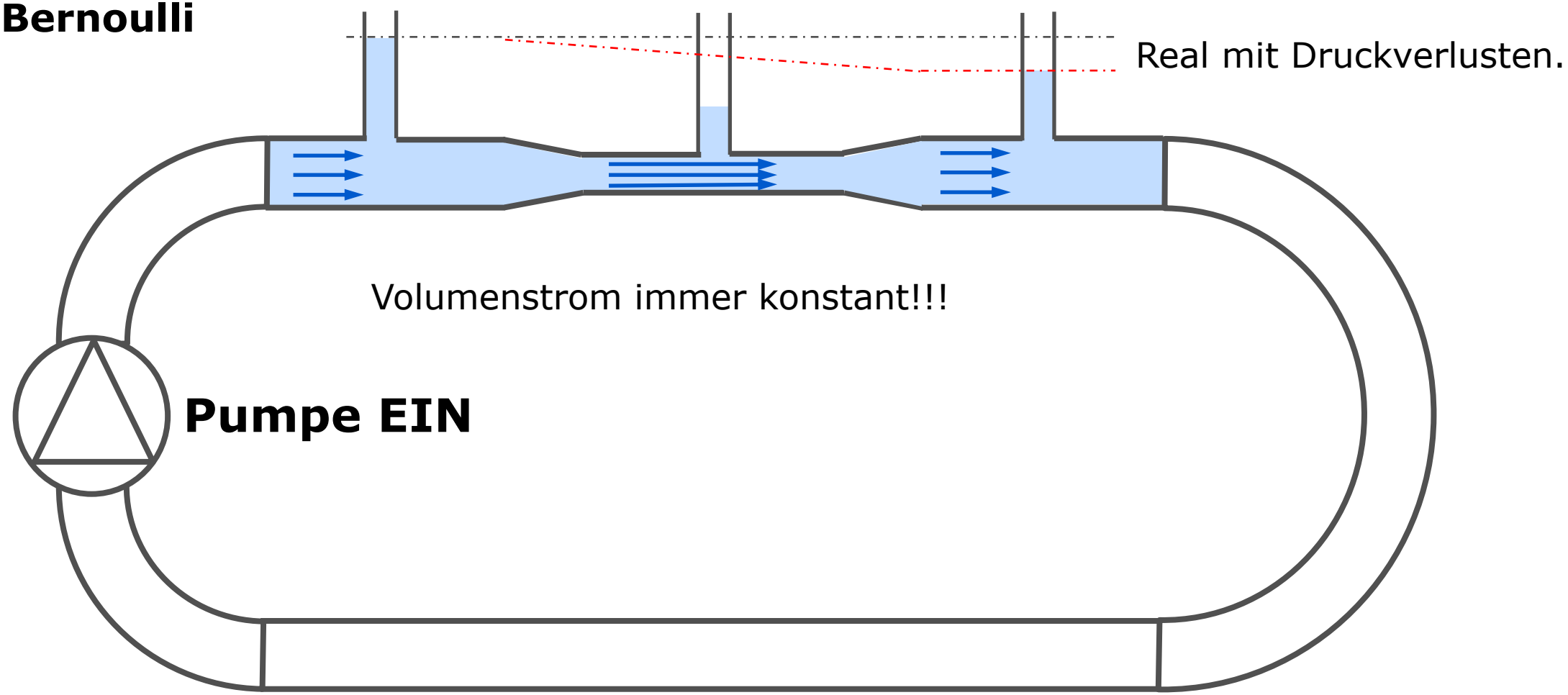
Physikalische Grundlagen

Bernoulli

Ideal ohne Druckverluste.



Bernoulli

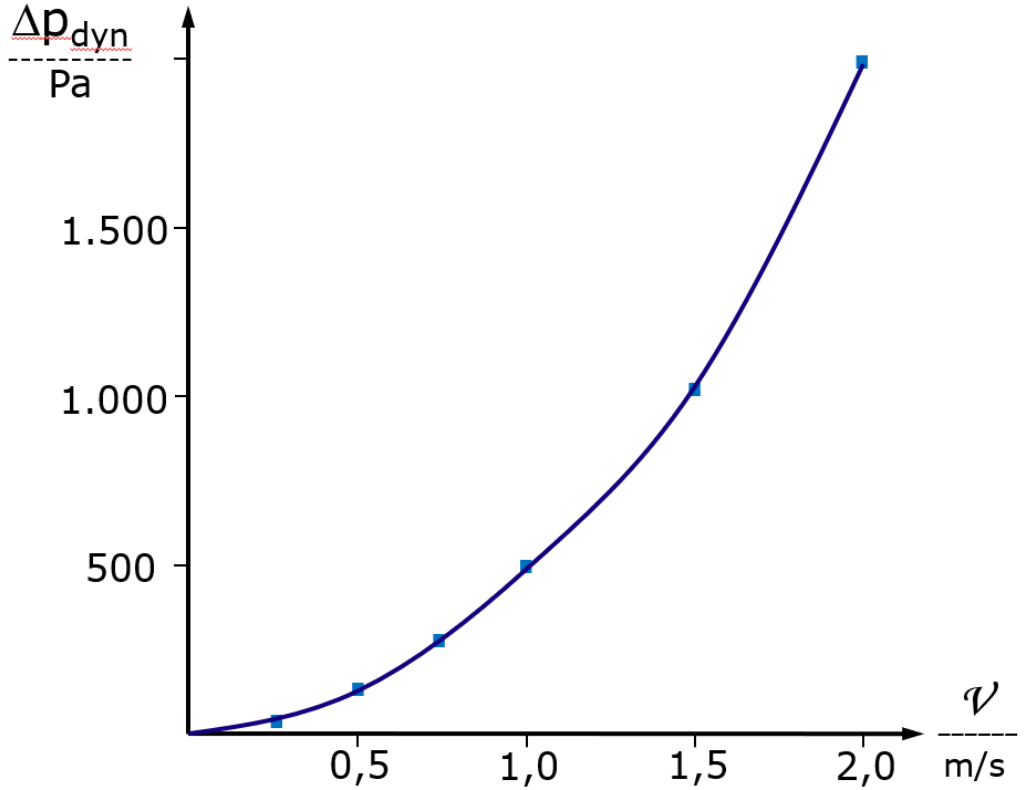

Real mit Druckverlusten.
Volumenstrom immer konstant!!!
Pumpe EIN

Druckverhältnisse und Strömungsgeschwindigkeit

Statischer und dynamischer Druckanteil in einer Strömung

$$p_{ges} = \varrho \times g \times h_{stat} + \frac{\varrho \times v^2}{2}$$

$\mathcal{V}$ m/s	ΔP_{dyn} Pa
2,0	2.000
1,5	1.100
1,0	500
0,75	275
0,5	125
0,25	31,25

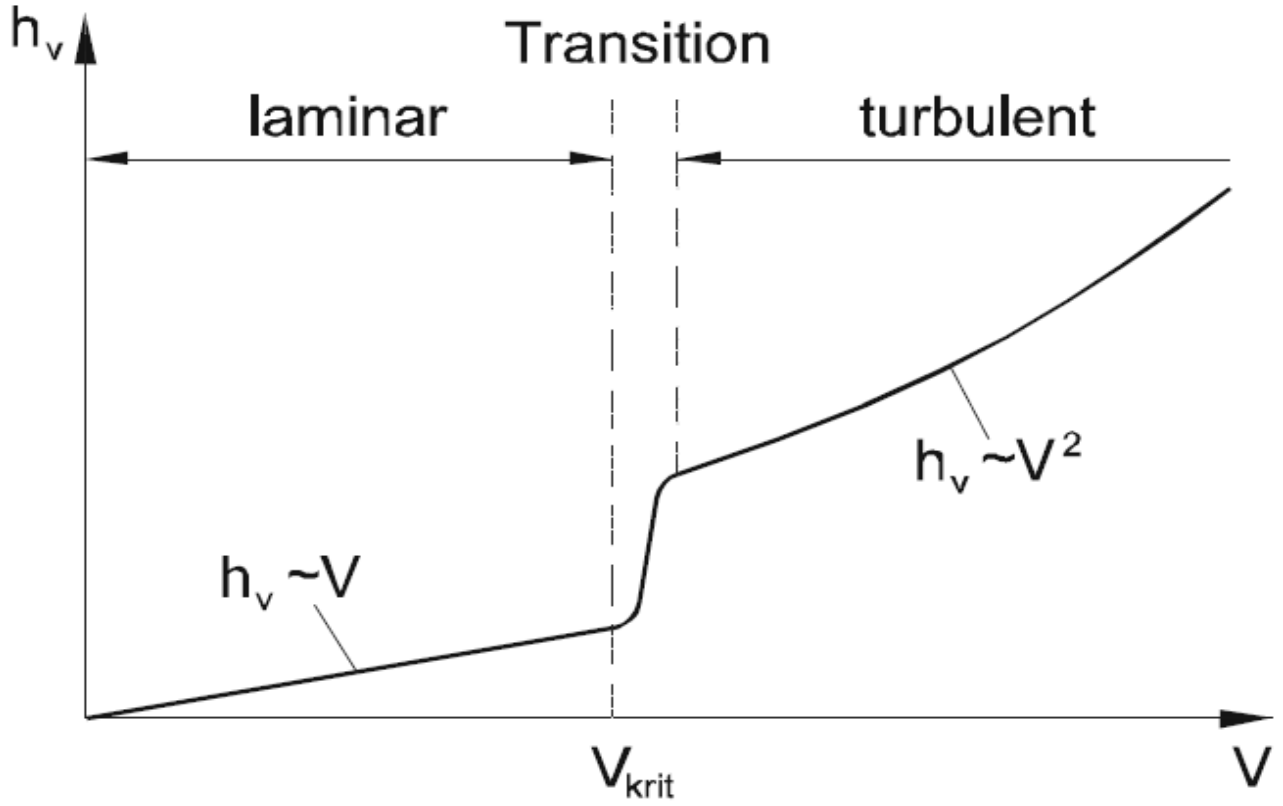


Strömungstechnik – Reibung

Laminare und turbulente Strömung

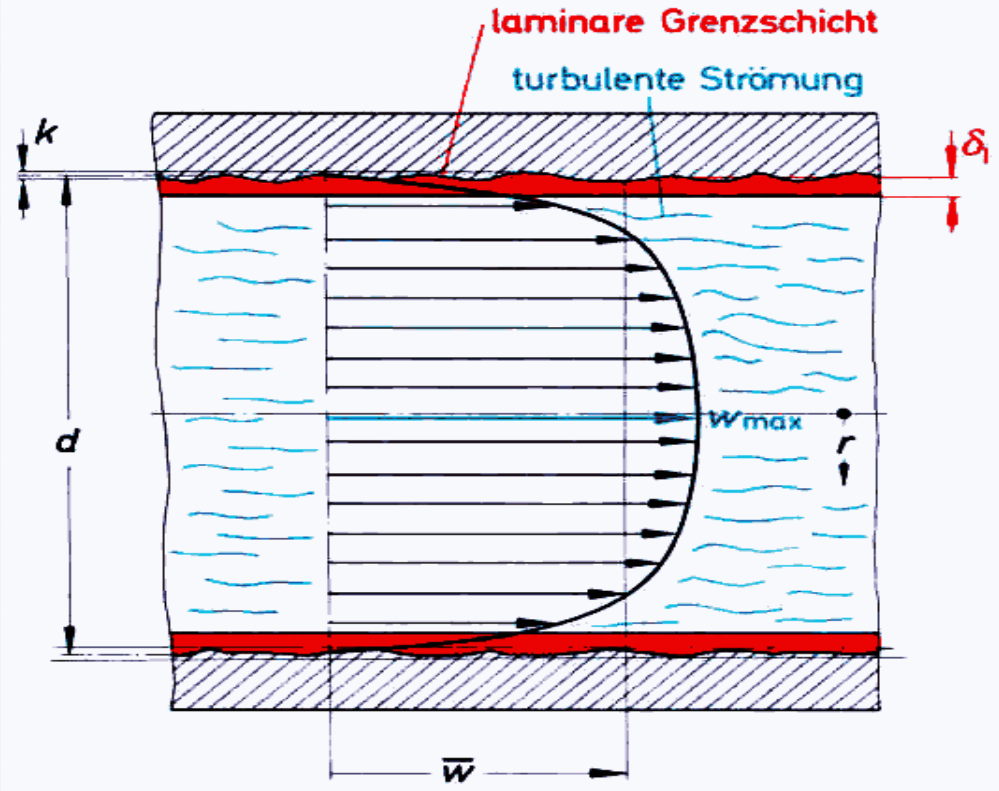
Druckverluste im laminaren Bereich verhalten sich linear.

Im turbulenten Bereich steigen die Druckverluste Quadratisch.



Strömungstechnik – Reibung

Turbulente Strömung in einem Rohr mit Wandrauhigkeit

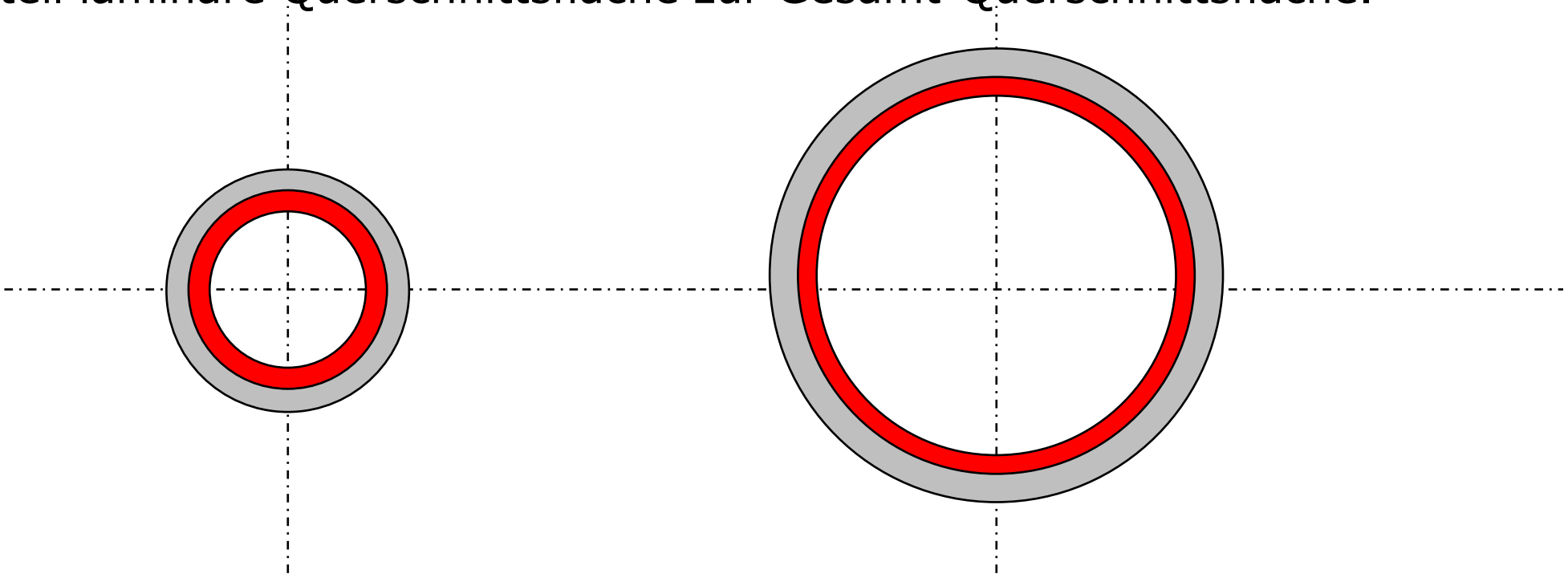


Wandrauhigkeit k: angegeben als durchschnittliche Höhe der Unebenheiten.

Material	Zustand	k [mm]
Gezogenes Metallrohr	Neu	0,0013
Gummischlauch	Neu	0,0016
Gusseisen	Neu	0,2 – 0,6
	Leicht angerostet	0,5 – 1,5
Betonrohr	Neu	0,3 – 0,8

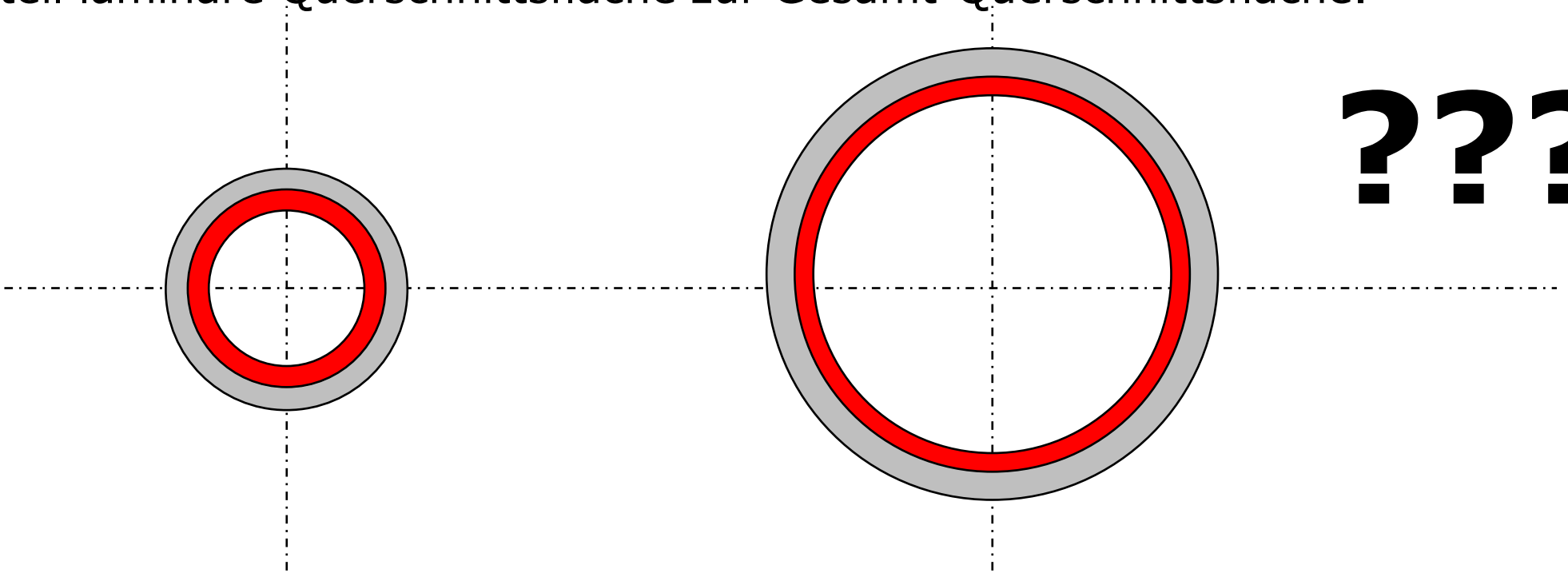
Strömungstechnik – Reibung

In kleinen Rohrdurchmessern ist die Querschnittsfläche der laminaren Strömung zur Gesamt-Querschnittsfläche des Rohres größer. In größeren Rohrdimensionen sinkt der Flächenanteil laminare Querschnittsfläche zur Gesamt-Querschnittsfläche.



Strömungstechnik – Reibung

In kleinen Rohrdurchmessern ist die Querschnittsfläche der laminaren Strömung zur Gesamt-Querschnittsfläche des Rohres größer. In größeren Rohrdimensionen sinkt der Flächenanteil laminare Querschnittsfläche zur Gesamt-Querschnittsfläche.



Kurzumfrage:
Welcher Zeitrahmen ist aus Ihrer Sicht am besten geeignet?

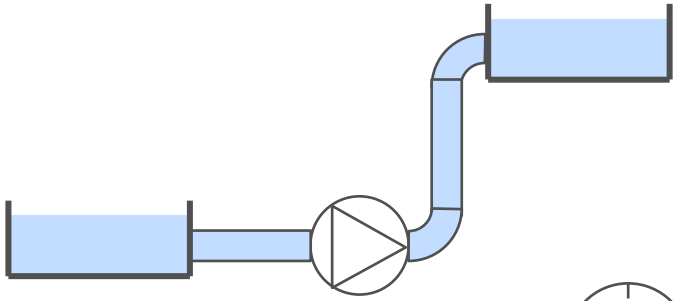
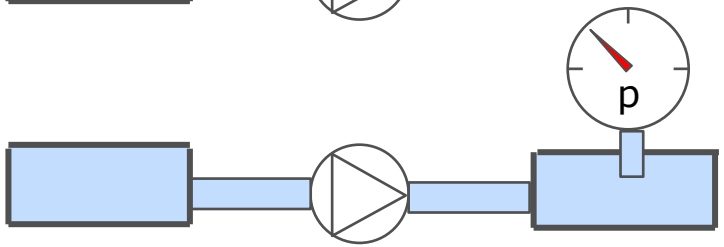
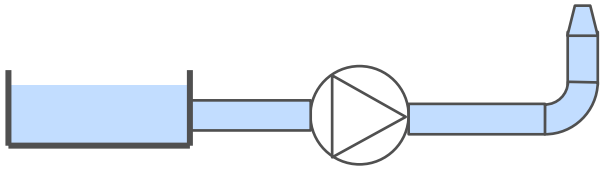
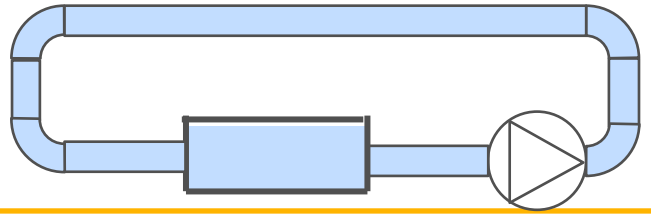
- Mehrere Antworten sind möglich.
- Bitte geben Sie ergänzende Kommentare über das Chat-Fenster ein.

Hydraulische Anlagen

Was ist Hydraulik?

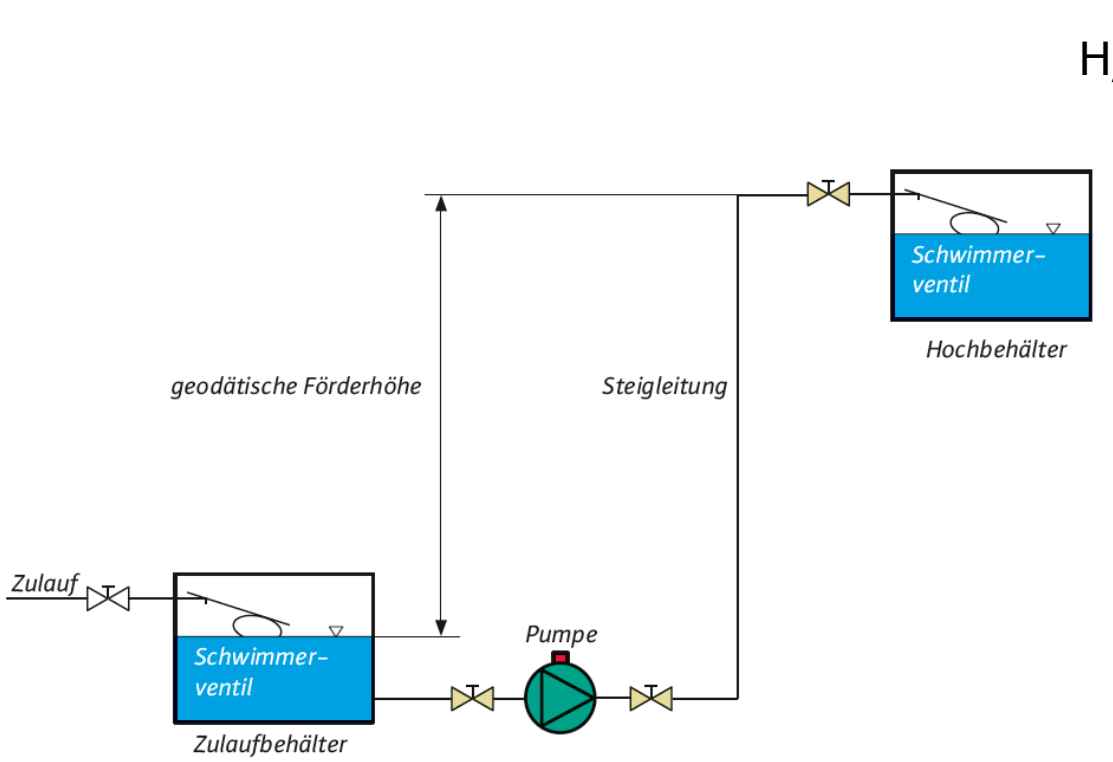
Hydros	=	Wasser
Hydraulik	=	Wasserkreislauf
System	=	Pumpe + Anlage
Strömung	=	Geschwindigkeit + Druck
Reibung	=	Druckverlust oder Widerstand verringert den Druck, die Geschwindigkeit bleibt gleich Massenstromerhaltung = Konstant Geschwindigkeit wird nicht langsamer!

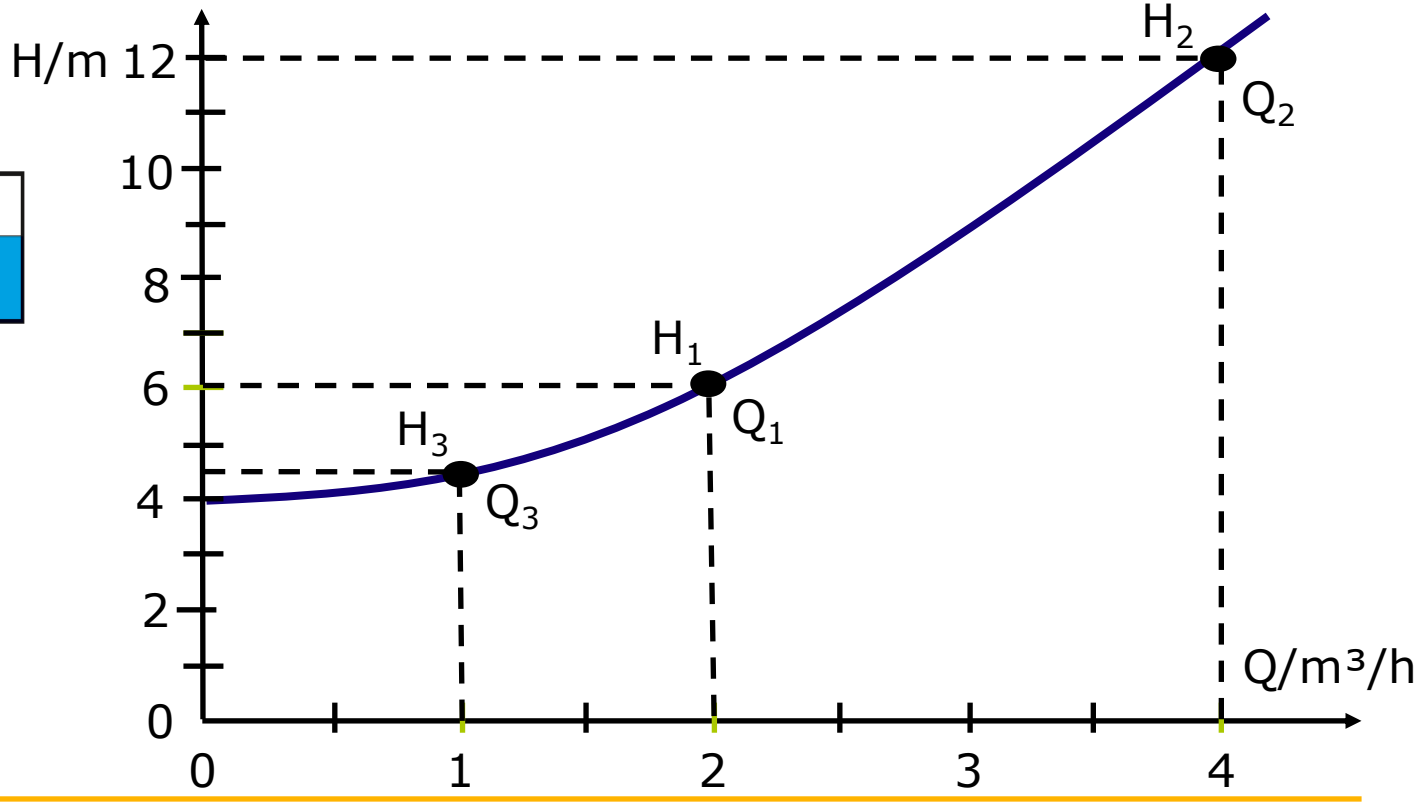
Hydraulische Anlagen

Anlagenarten		Besonderheit
Speicheranlagen Pumpspeicherwerke		Geodätische Höhe
Speiseanlagen Dampfanlagen Speisewasser		Enddruck p
Freistrahlanlagen Fontänen		Geschwindigkeit (Wurfhöhe)
Umwälzanlage Heizungsanlagen		Druckverluste aus Reibung Druckhaltung geschlossener Systeme

Speicheranlage – Druckerhöhungsanlage - Hebeanlagen

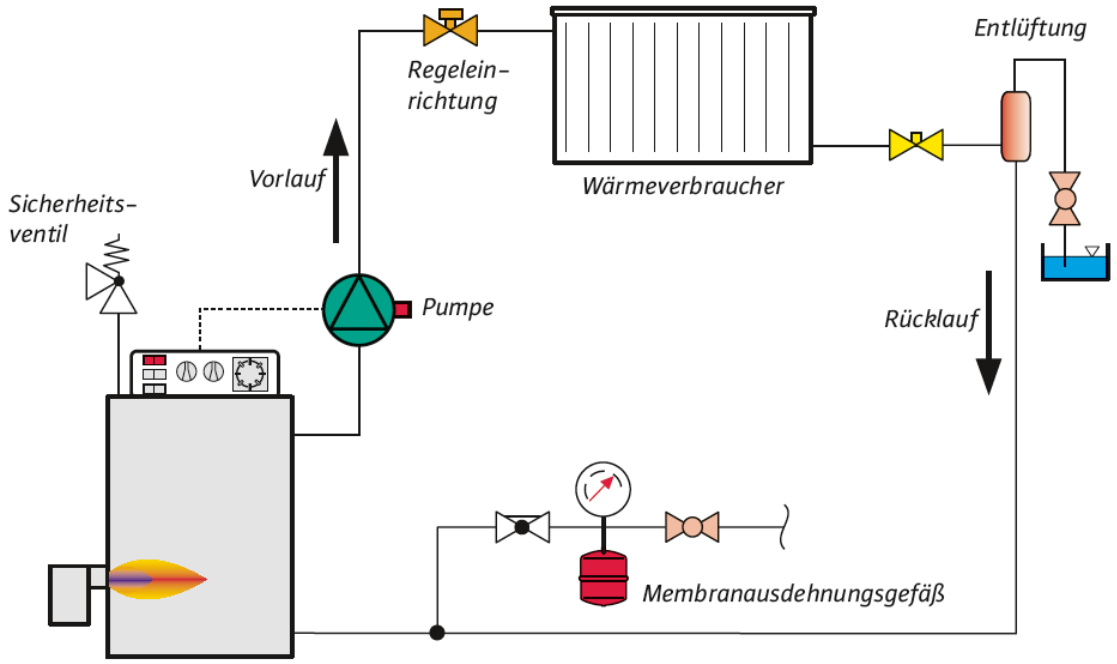
Pumpen zur Förderung von Wasser auf ein höheres Druckniveau.

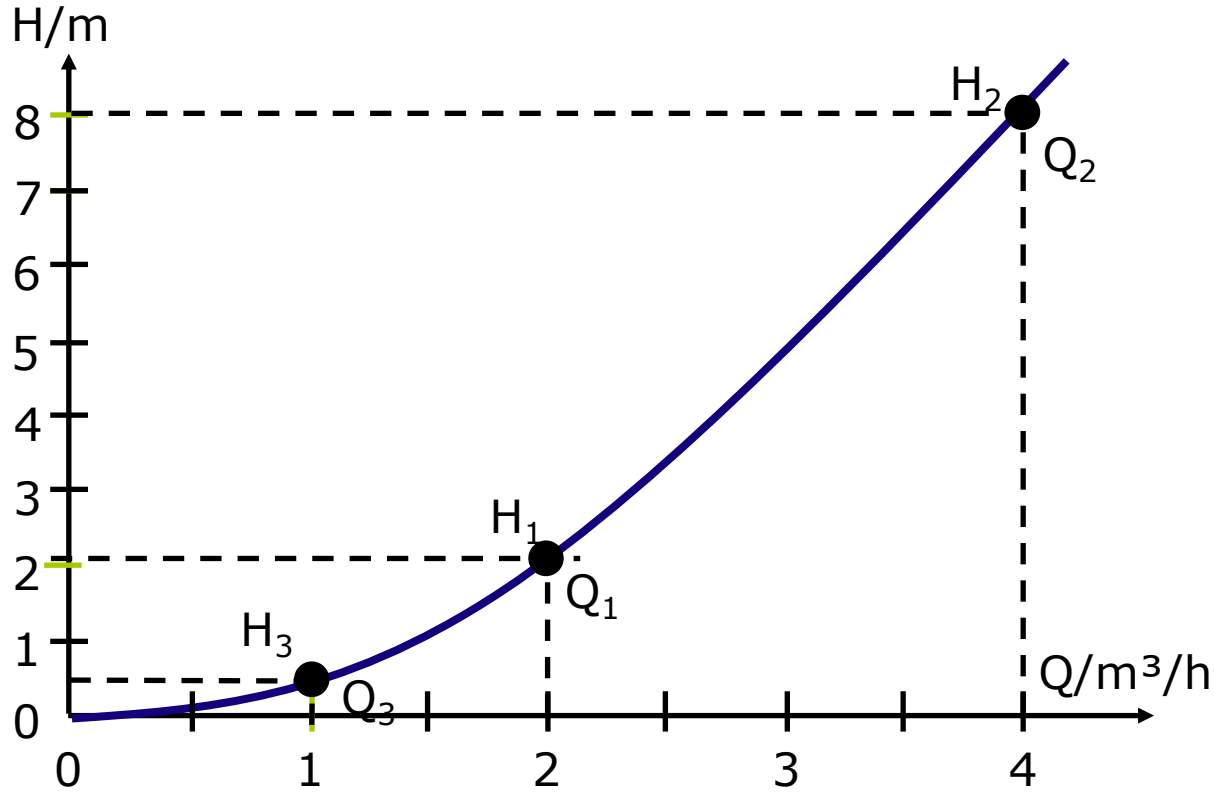




Umwälzanlage – Heiz-/Kühlsystem

Geschlossenes Heizungssystem





Volumenströme – Heiz- oder Kühlanlage

Die **thermische Leistung** ist eine physikalische Größe, die eine in einer Zeitspanne umgesetzte Wärmeenergie bezogen auf diese Zeitspanne angibt. Sie ist eine charakteristische Kenngröße einer Energieumwandlungsanlage. Sie wird üblicherweise in Kilowatt (kW) oder Megawatt (MW) angegeben und beschreibt den Wärmestrom

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$ für $\dot{m} = \varrho \cdot \dot{V}$ eingesetzt gilt

$$\dot{Q} = \varrho \cdot \dot{V} \cdot c \cdot \Delta T$$ umgestellt zum Volumenstrom

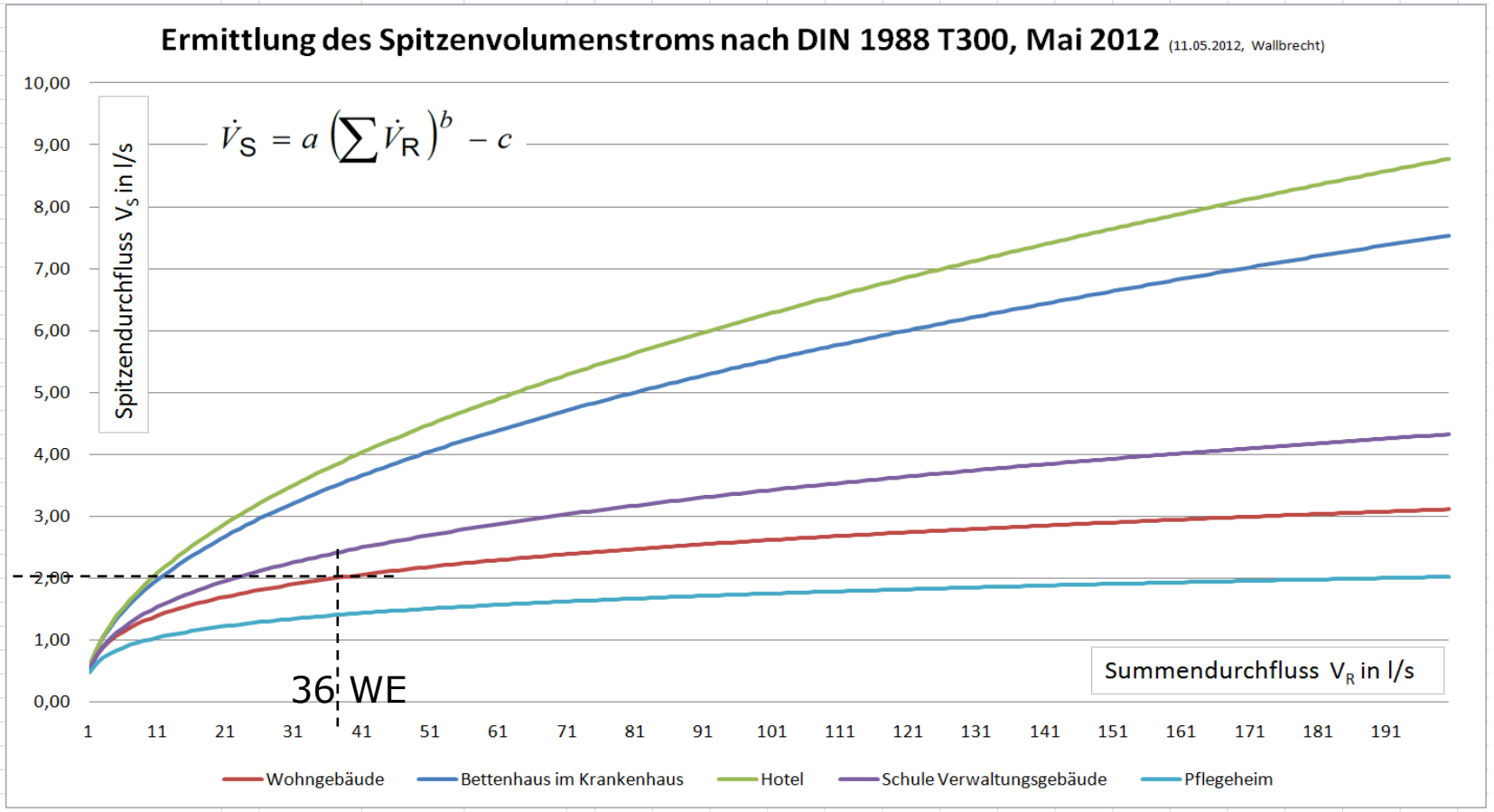
$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\varrho \cdot c \cdot \Delta T}$$ mit $\varrho \cong 1000\ {}^{kg}/_{m^3}$ gilt vereinfacht

$$\dot{\boldsymbol{V}} = \frac{\dot{\boldsymbol{Q}}}{\boldsymbol{1,16 \cdot \Delta T}}$$

$\dot{Q}$	**Leistung**	**kW**
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/h
c	spez. Wärmekapazität	Wh/(kg · K)
ΔT	Temperaturdifferenz	K
ϱ	Dichte	kg/m³
$\dot{V}$	**Volumenstrom**	**m³/h**

Volumenströme – Druckerhöhungsanlage

Die Ermittlung des Spitzenvolumenstroms für ein Gebäude mit 36 Wohneinheiten.



Volumenströme – Feuerlöschanlage nach DIN 14462

Auslegung nach Brandschutzkonzept

z.B. 3 x Typ F

Volumenstrom
= 3 x 100 l/min
= 18 m³/h

Tabelle 2 — Geforderte Durchflussmengen und Drücke an der Entnahmearmatur

Kategorie	Durchfluss-menge bei Mindestfließ-druck	Gleichzeitigkeit	Mindest-fließdruck	max. Fliessdruck	max. Ruhedruck
Wandhydrant Typ S (Selbsthilfe)	24 l/min	2	0,20 MPa	0,8 MPa	1,2 MPa
Wandhydrant Typ F (Feuerwehr)	100 l/min	3	0,30 MPa		
	200 l/min	3	0,45 MPa		
Überflurhydrant DN 80	800 l/min	nach Brandschutzkonzept	0,15 MPa		
Überflurhydrant DN 100	1 600 l/ min				
Unterflurhydrant DN 80	800 l/min				
Löschwasserentnahme „trocken“	Bei einem Wasserdurchfluss von mindestens 200 l/min an drei Entnahmestellen gleichzeitig darf die Druckdifferenz zwischen Löschwassereinspeisung und ungünstigster Entnahmestelle maximal 0,1 MPa + geodätischer Steighöhe betragen.				

Volumenströme – Hebeanlage

Schmutzwasserabfluss (Q_{ww})

ist der erwartete Schmutzwasserabfluss in einem Teil oder der gesamten Entwässerungsanlage, wo nur häusliche sanitäre Entwässerungsgegenstände (siehe Tabelle 2) mit der Anlage verbunden sind.

$$Q_{ww} = K\sqrt{\Sigma(DU)}$$

Dabei ist:

Q_{ww} = Schmutzwasserabfluss

K = Abflusskennzahl

Σ DU = Summe der Anschlusswerte

Entwässerungsgegenstand	System I, DU in l/s
Waschbecken, Bidet	0,5
Dusche ohne Stöpsel	0,6
Dusche mit Stöpsel	0,8
Einzelurinal mit Spülkasten	0,8
Urinal mit Druckspüler	0,5
Badewanne	0,8
Küchenspüle	0,8
Geschirrspüler (Haushalt)	0,8
Waschmaschine bis zu 6 kg	0,8
Waschmaschine bis zu 12 kg	1,5
WC mit 6,0 l Spülkasten	2,0
WC mit 7,5 l Spülkasten	2,0
WC mit 9,0 l Spülkasten	2,5
Bodenablauf DN 50	0,8
Bodenablauf DN 70	1,5
Bodenablauf DN 100	2,0

Volumenströme – Hebeanlage

Die Werte sind mit der Gleichung $Q_{WW} = K\sqrt{\Sigma(DU)}$ berechnet worden.

Graue Zahlenwerte.
Die Fließgeschwindigkeit in der Druckleitung darf 0,7 m/s nicht unterschreiten bzw. 2,3 m/s nicht überschreiten. (EN 12056-4, 6.1)

Summe der Anschlusswerte	K 0,5	K 0,7	K 1,0	K 1,2
ΣDU	Q_{ww} in l/s	Q_{ww} in l/s	Q_{ww} in l/s	Q_{ww} in l/s
10	1,6	2,2	3,2	3,8
12	1,7	2,4	3,5	4,2
14	1,9	2,6	3,7	4,5
16	2,0	2,8	4,0	4,8
18	2,1	3,0	4,2	5,1
20	2,2	3,1	4,5	5,4
25	2,5	3,5	5,0	6,0
30	2,7	3,8	5,5	6,6
35	3,0	4,1	5,9	7,1
40	3,2	4,4	6,3	7,6
45	3,4	4,7	6,7	8,0
50	3,5	4,9	7,1	8,5

Umrechnung l/s in m³/h Multiplikator 3,6

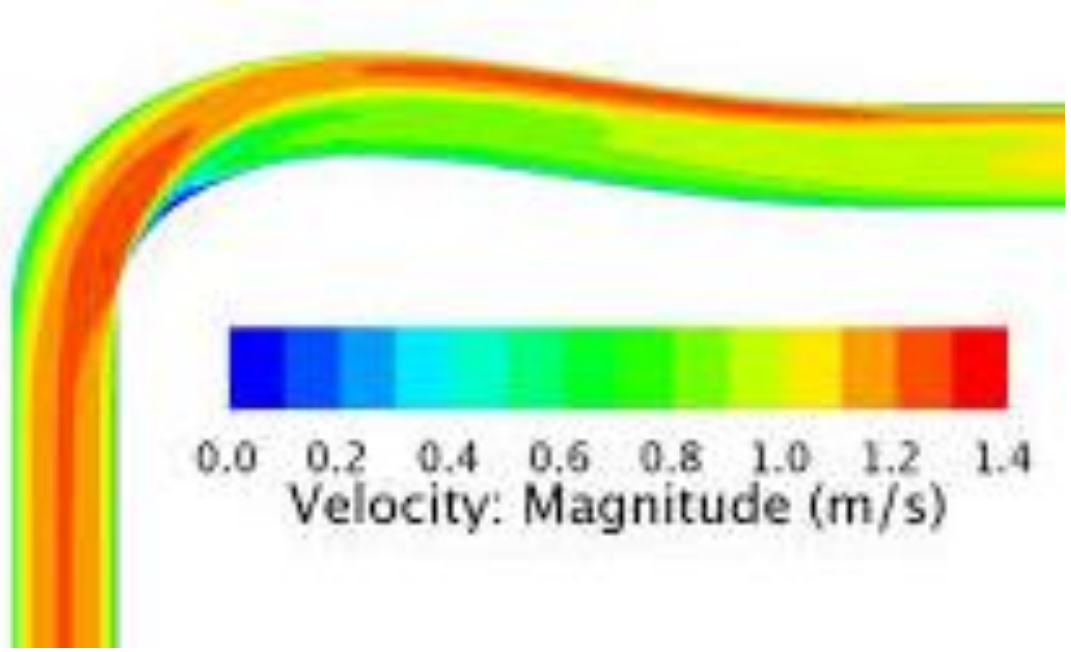
Druckverluste

Definition

Der **Druckverlust**, auch **Druckabfall**, ist die Druckdifferenz, die durch Wandreibung und bei Strömungen in Rohrleitungen sowie den zugehörigen Formstücken und Armaturen entsteht.

Für Elemente, die in eine Rohrleitung eingebaut sind, wird in der Technik ein **Druckverlustbeiwert** Zeta angesetzt, der für Standartbauteile Tabellenwerken entnommen werden kann.

Der Druckverlustbeiwert Zeta hängt in erster Linie von der Geometrie des Bauteils ab.



Druckverluste

Zeta-Wert - Definition

Der **Widerstandsbeiwert** oder auch Strömungswiderstandskoeffizient ist in der Strömungslehre ein von der Form eines Körpers abhängiges **dimensionsloses Maß**.

Dabei werden folgende zwei Varianten unterschieden:

- Strömungswiderstandskoeffizient (oder Strömungswiderstandsbeiwert, c_w-Wert genannt) für umströmte Körper *in* Strömungsrichtung.
- Druckverlustbeiwert **ζ (Zeta-Wert)** für durchströmte Körper in einer **Rohrleitung** (z. B. bei einer Armatur)

Druckverluste

Zeta-Wert – Definition

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho/2 * v^2}$$

$$\Delta p = \zeta * \rho/2 * v^2$$

Schon einmal irgendwo gesehen?

Der Zeta-Wert gibt einfach nur an, wie oft der dynamische Druck in dem Bauteil abgebaut wird.

Widerstandsbeiwerte hintereinandergeschalteter Komponenten können addiert werden, sofern sie sich auf den gleichen Querschnitt beziehen.

Druckverluste

K_V- und K_{VS}-Wert

Definition

Der **k_{vs}-Wert** bezeichnet den Volumenstrom in m³/h bei Δp = 1 bar und einem Nennhub von 100 %, das heißt **bei einem voll geöffnetem Ventil**.

Kenner der jeweiligen Szene können mit Kennwerten in der Regel etwas anfangen. Der cw-Wert eines Fahrzeuges beispielsweise hat irgendwas mit seiner windschnittigen Form zu tun. Der körpereigene Body-Mass-Index kann einem bei der Entscheidung helfen, ob die nächste Currywurst doch besser wegfallen sollte. Aber was versteckt sich hinter dem K_v-Wert eines Ventils?

Druckverluste

K_V- und K_{VS}-Wert

Der **k_v-Wert** bezeichnet den Volumenstrom durch ein Ventil. Er bezieht sich auf den Durchfluss von **Wasser** in der Einheit [**m³/h**] bei einem Druckverlust von **1 bar** über das Ventil **und dem jeweiligen Hub**.

Wenn die Dichte ρ in etwa gleich bleibt gilt vereinfacht:

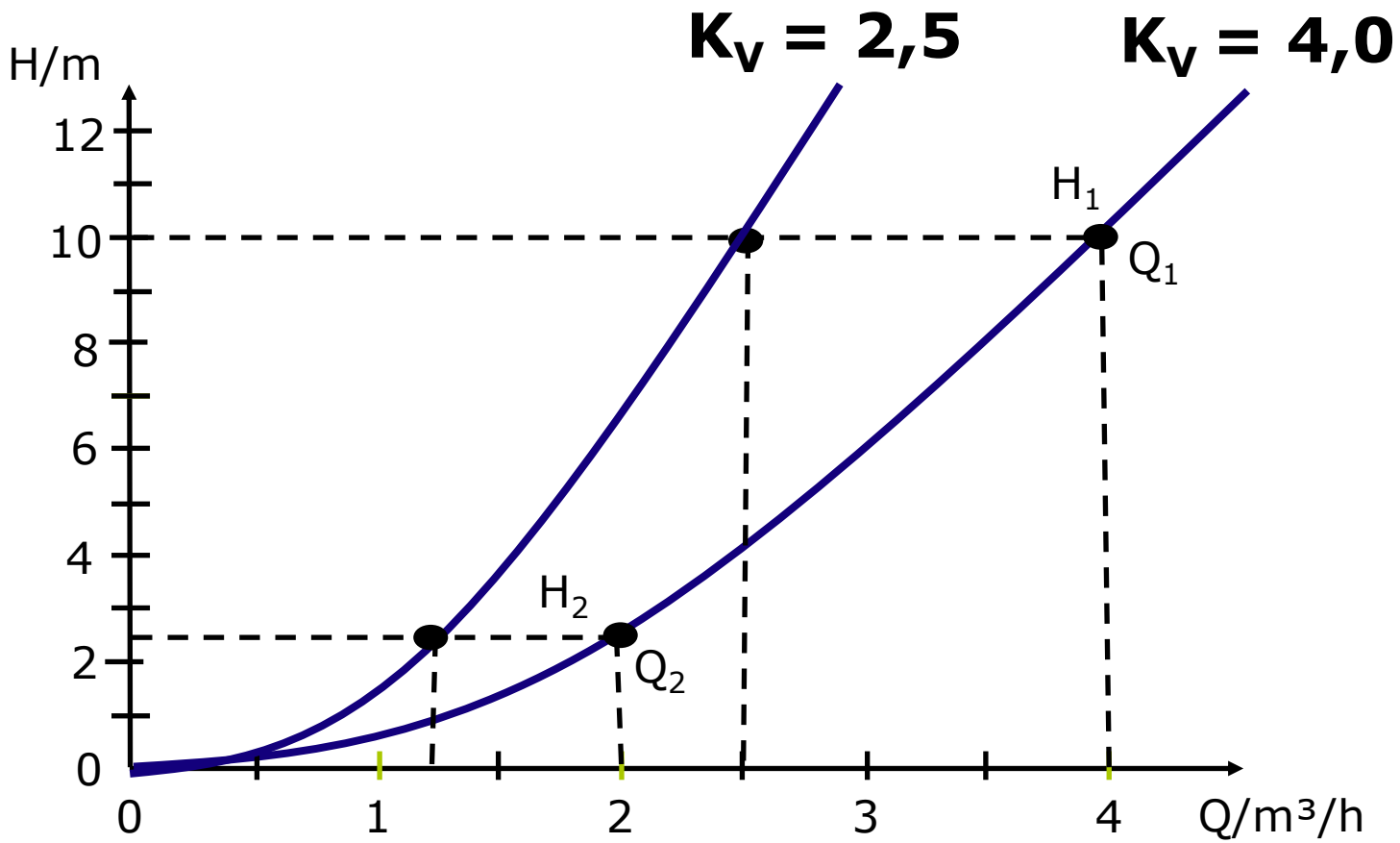
$$K_V = \frac{\dot{V}}{\sqrt{\Delta p_V}}$$

$\dot{V}$ = Volumenstrom in m³/h

Δp_{V0} = Differenzdruck über dem Ventil in bar

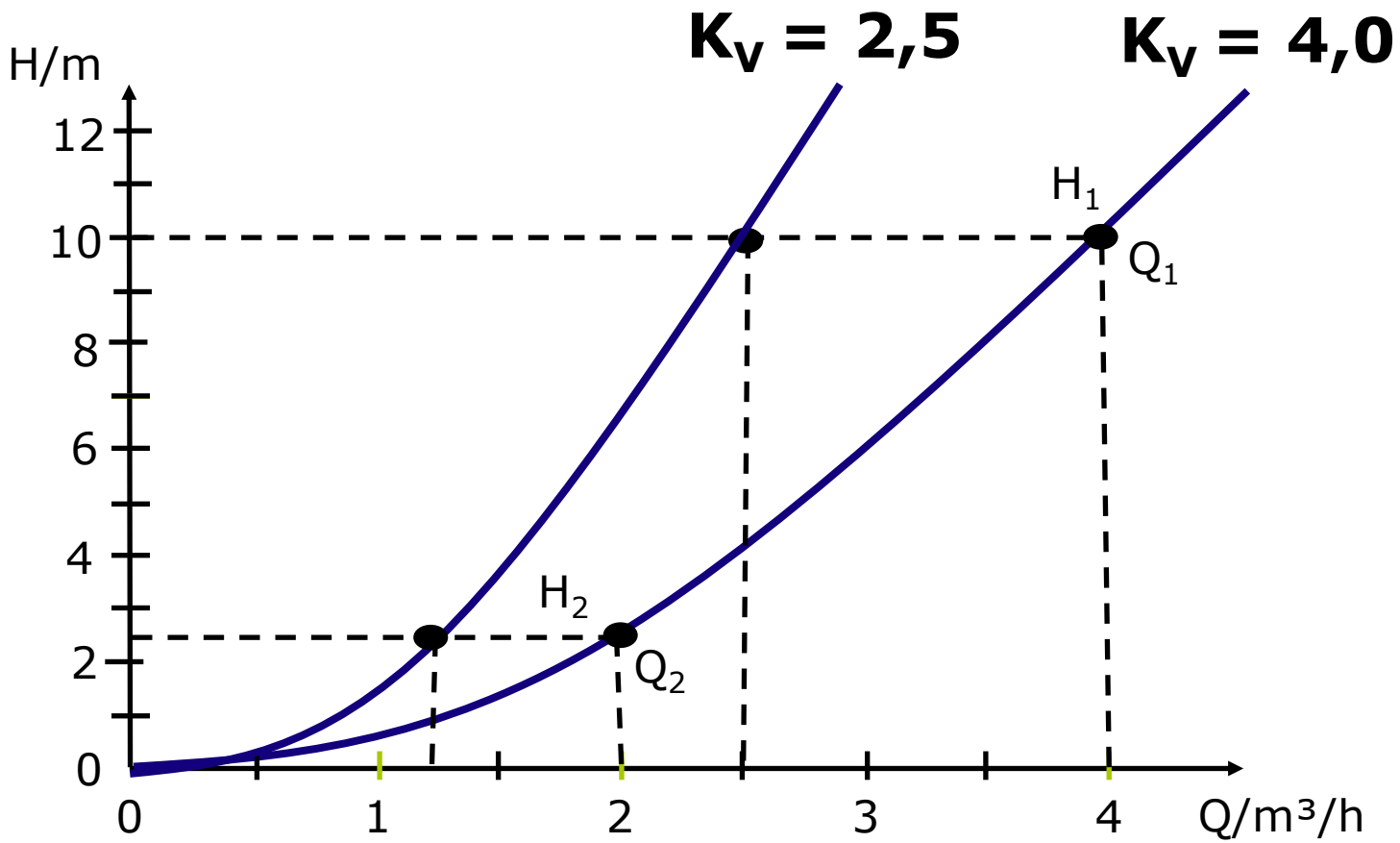
Druckverluste

K_V- und K_{VS}-Wert



Druckverluste

K_V- und K_{VS}-Wert



???

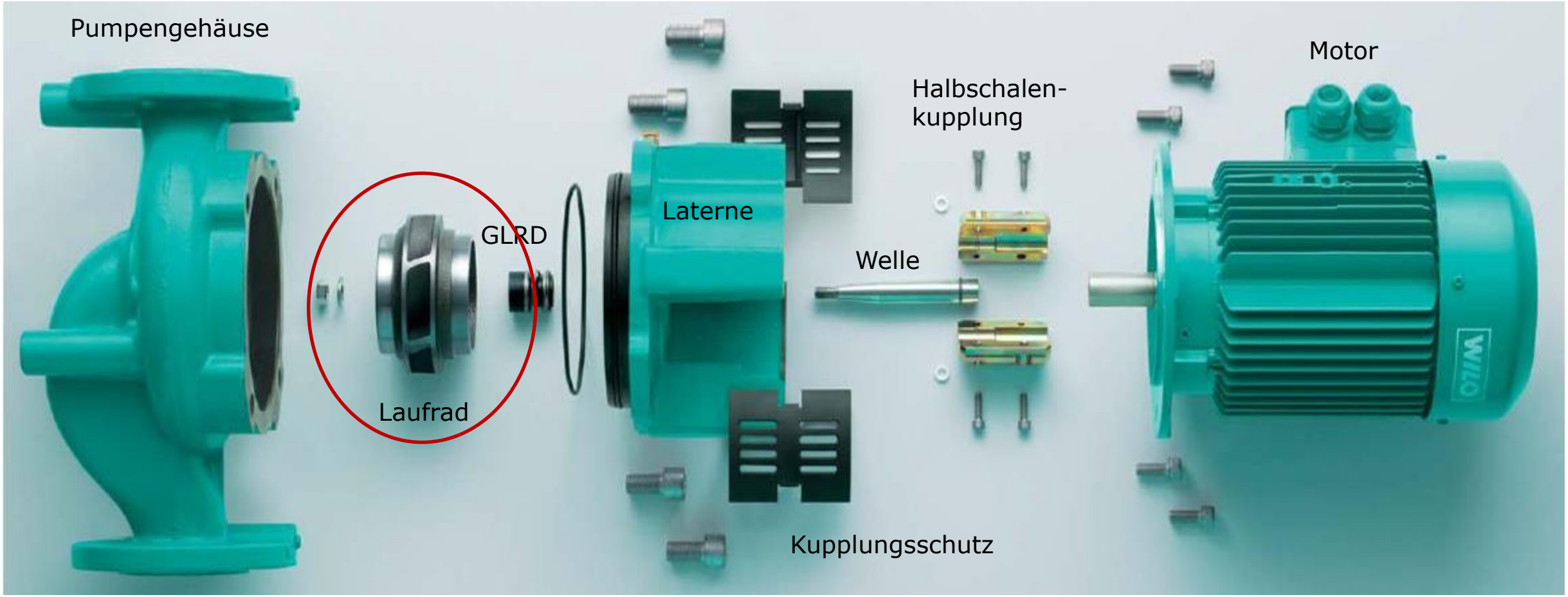
Kurzumfrage:
Welche Grundlagen-Themen sind für Sie besonders interessant und wichtig?

- Mehrere Antworten sind möglich.
- Bitte geben Sie ergänzende Kommentare über das Chat-Fenster ein.

Agenda Pumpentechnik

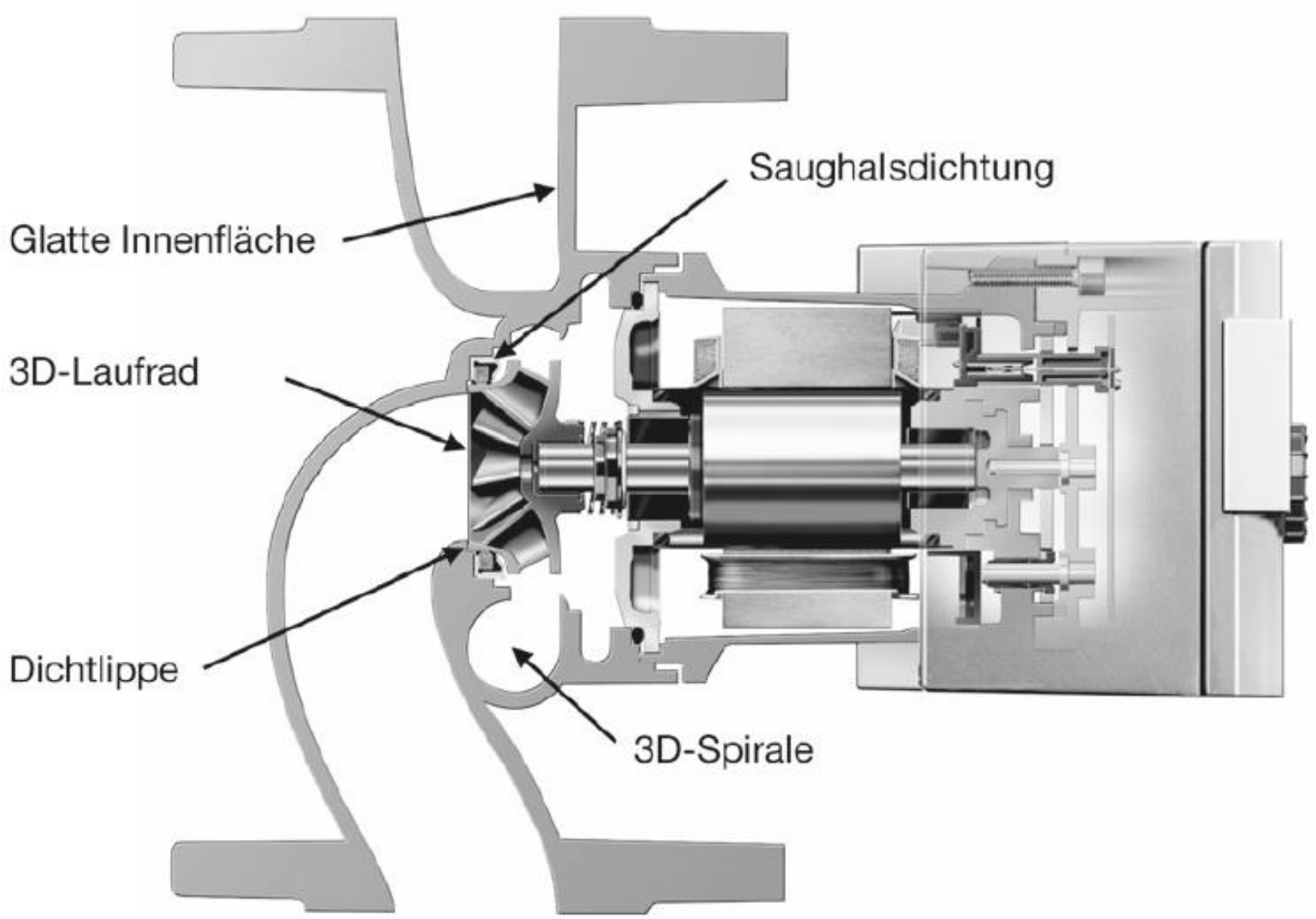
1. Kreiselpumpen
2. Kavitation
3. Elektromotore
4. Anschlußarten

Trockenläufer

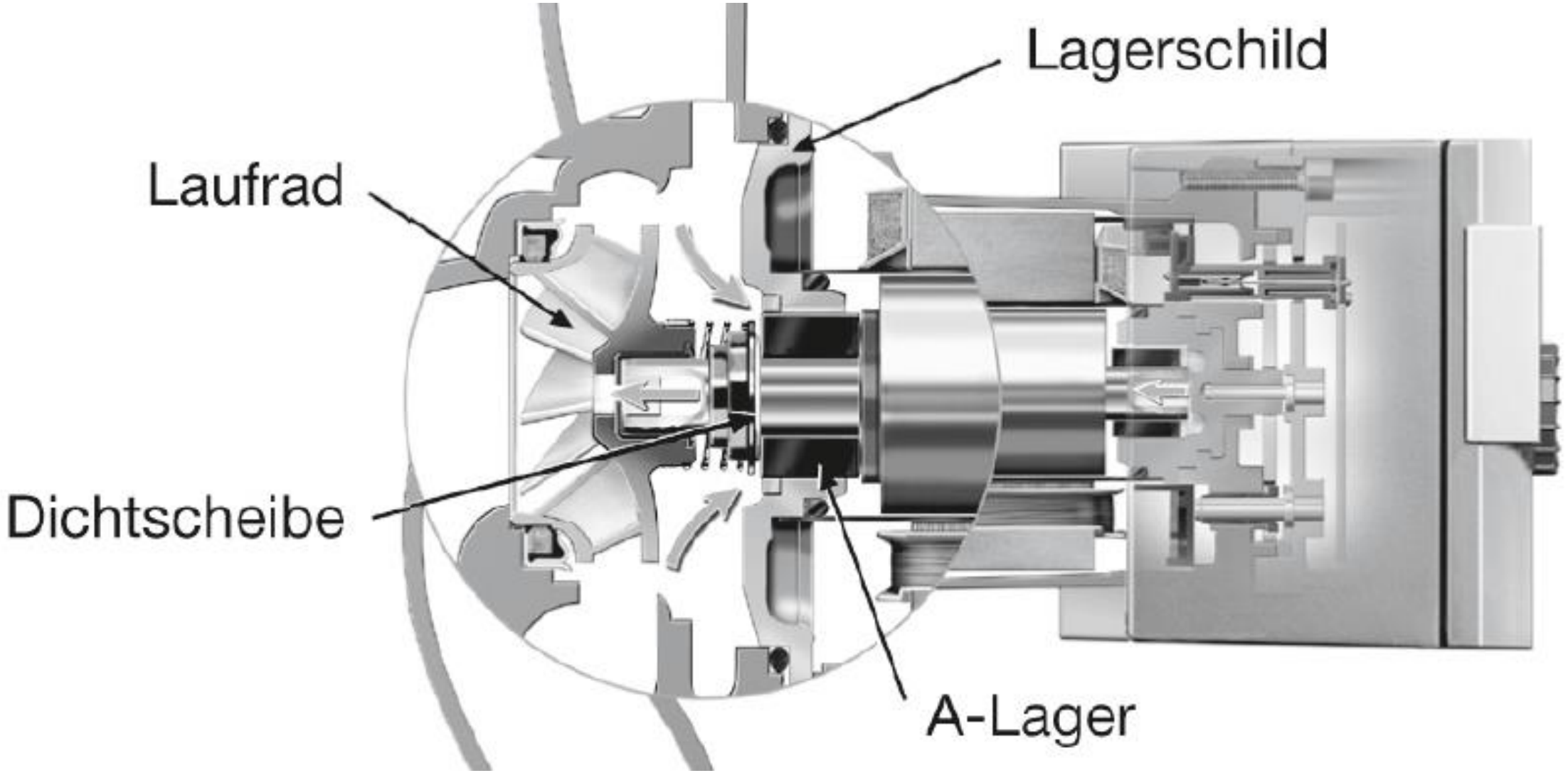


Kreiselpumpen

Nassläufer

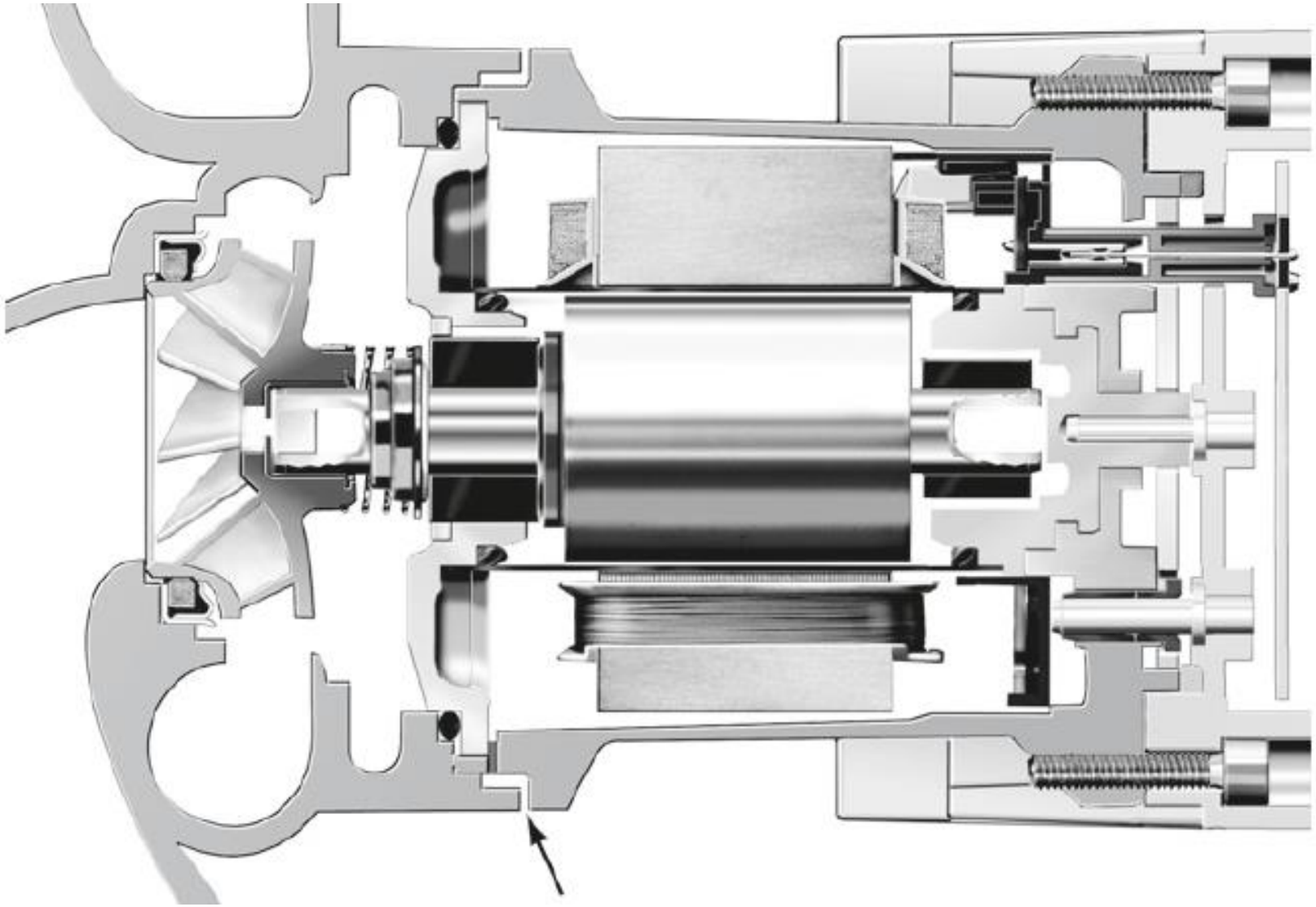


Kreiselpumpen



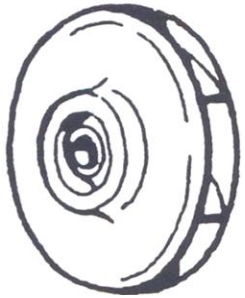
Kreiselpumpen

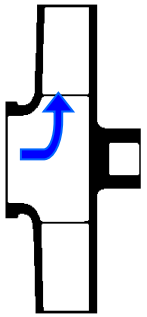
Nassläufer



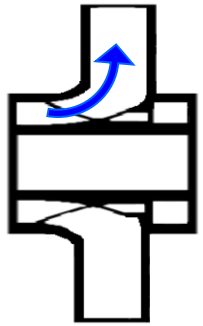
Laufräder

Geschlossen





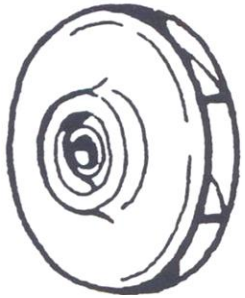
Radial

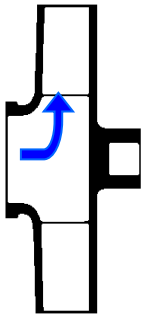


Radial 3D

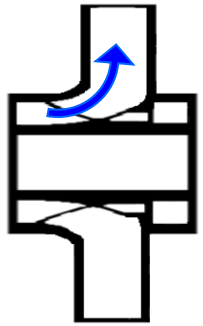
Laufräder

Geschlossen





Radial



Radial 3D

Halboffen

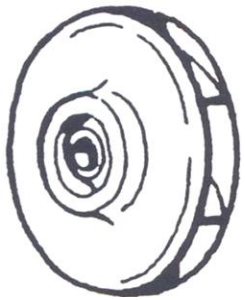
Einkanal

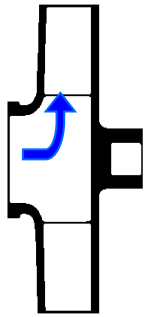
Doppelkanal

Wirbelrad

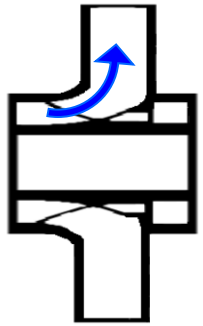
Laufräder

Geschlossen





Radial



Radial 3D

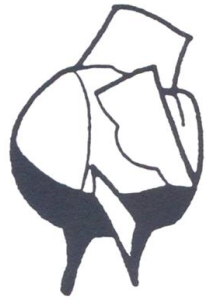
Halboffen

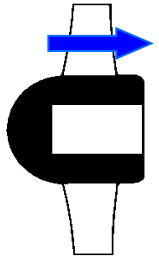
Einkanal

Doppelkanal

Wirbelrad

Offen





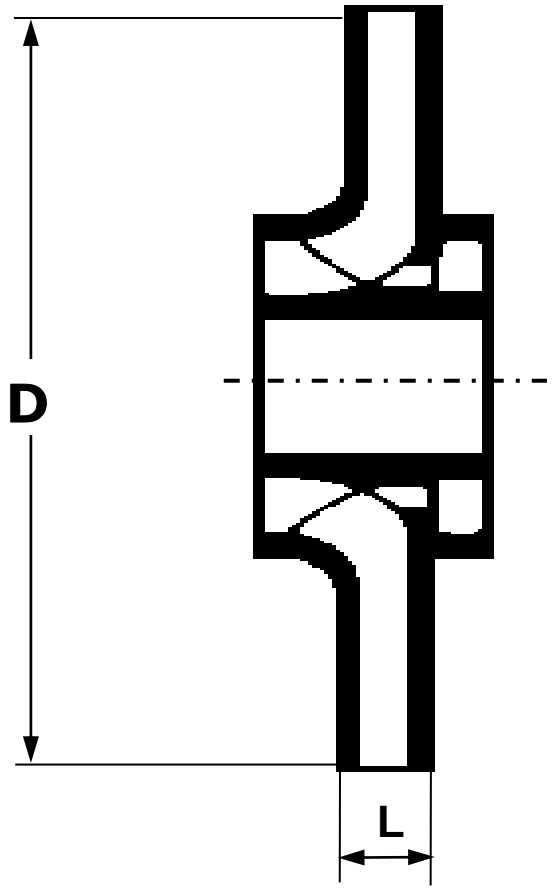
Axial

Laufräder

So erreicht man eine Volumenstromänderung z.B. durch das Vergrößern oder Verkleinern des Auslasskanals

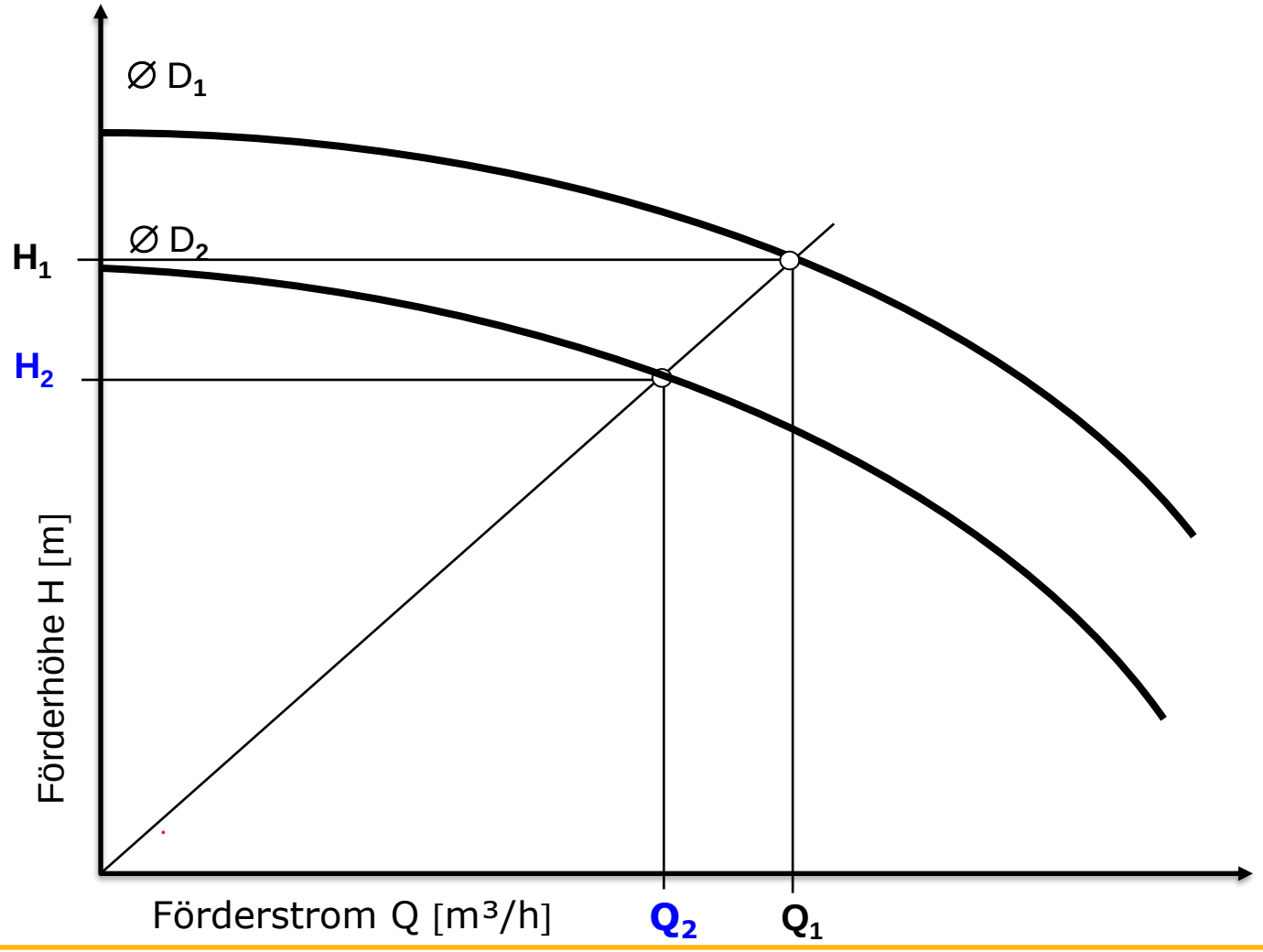
Der Laufraddurchmesser hat einen wesentlichen Anteil an der Förderhöhe einer Pumpe

Verändert man den Laufraddurchmesser, hat das Auswirkungen auf die Kennlinie



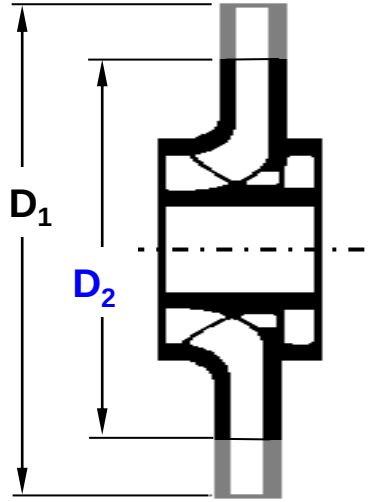
Kreiselpumpen

Laufräder



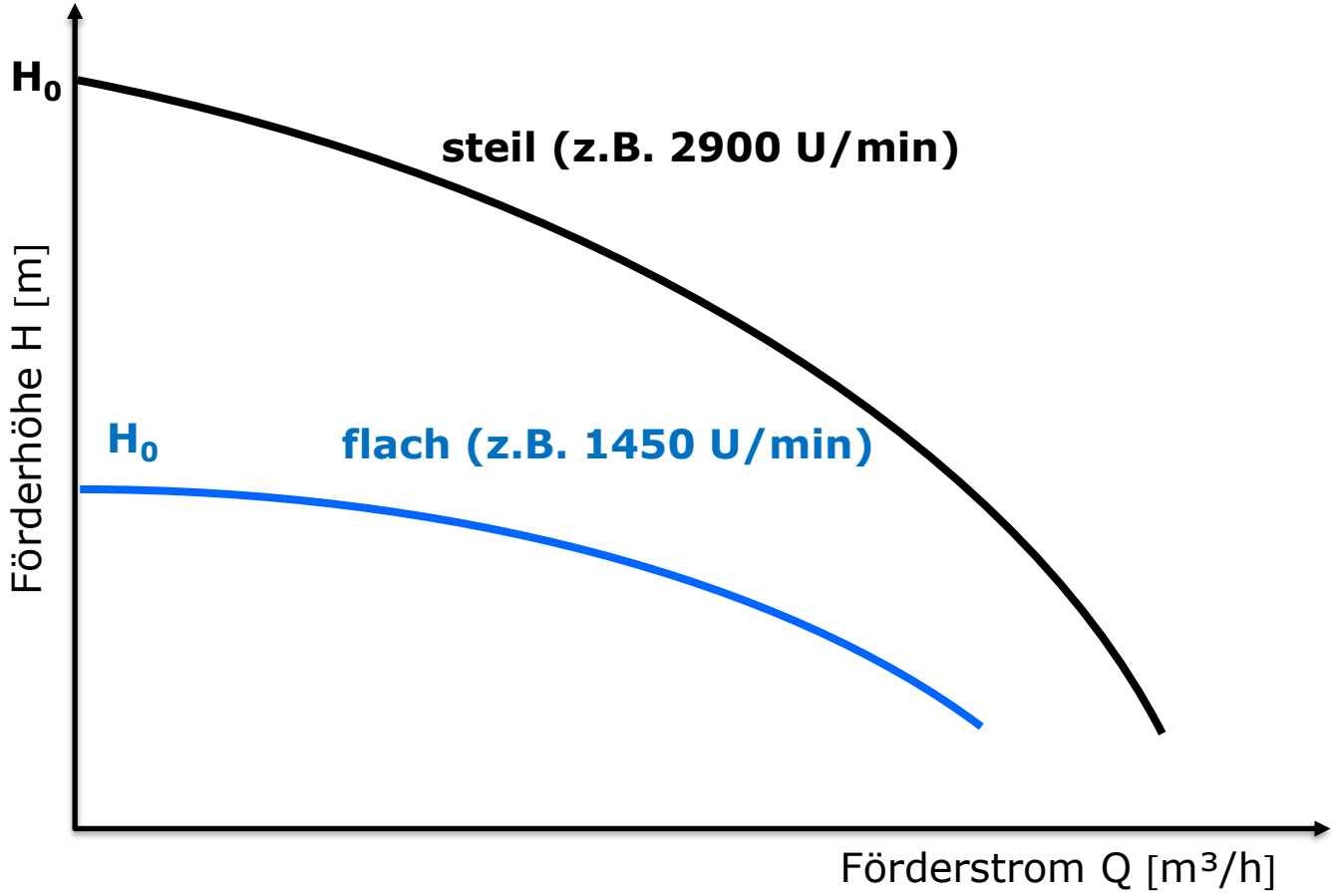
$$D_1 \approx D_2 \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}}$$

$$D_1 \approx D_2 \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}$$



Laufräder

Unterschiedliche Steilheit in Abhängigkeit zur Drehzahl.



Wirkungsgrad

Die hydraulische Leistung $P_{hydr.}$ des Mediums beträgt:

$$P_{hydr.} = \frac{Q * H * \rho}{367}$$

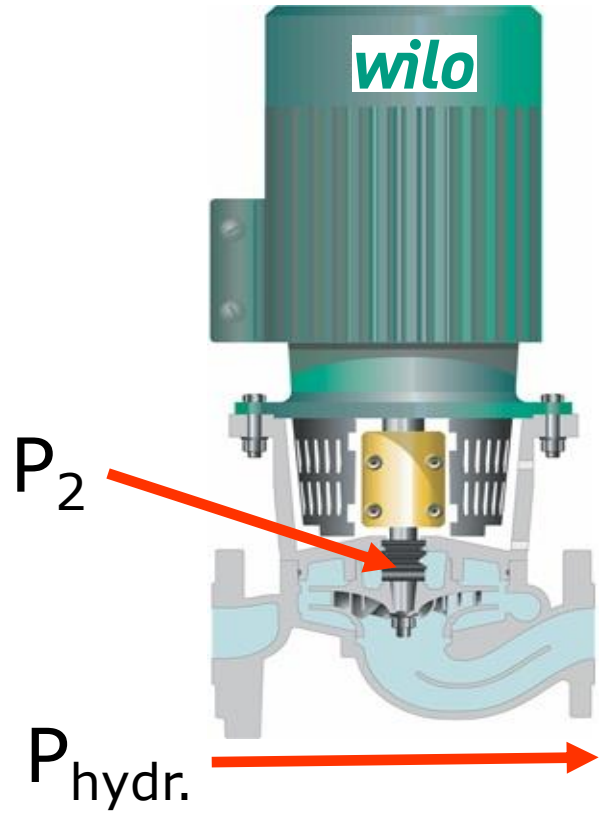
Q = Volumenstrom in m³/h

H = Förderhöhe in m

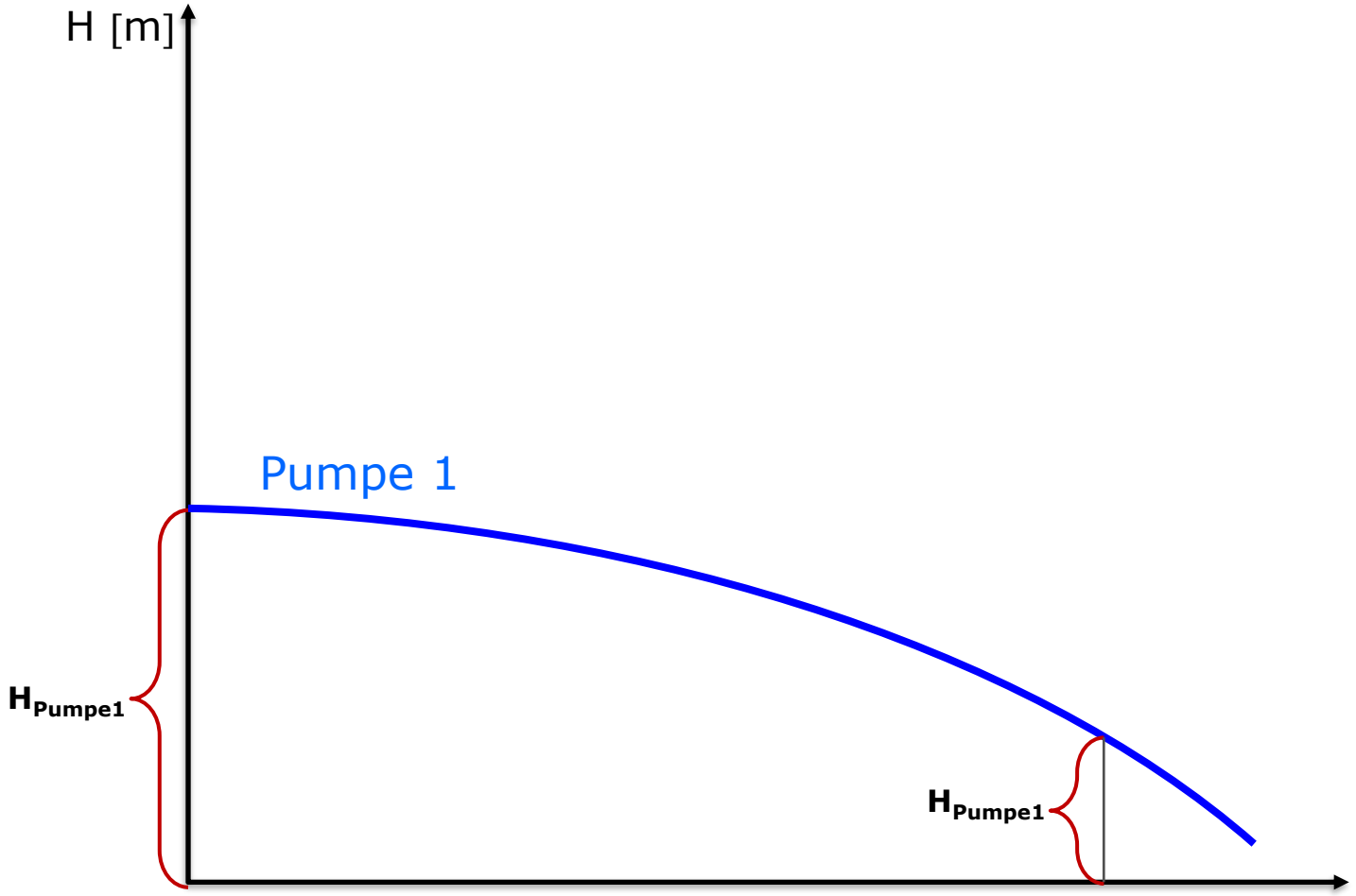
ρ = Dichte in kg/m³

$P_{hydr.}$ = Leistung in Watt

$$\eta_{hydr.} = \frac{P_{hydr.}}{P_2}$$



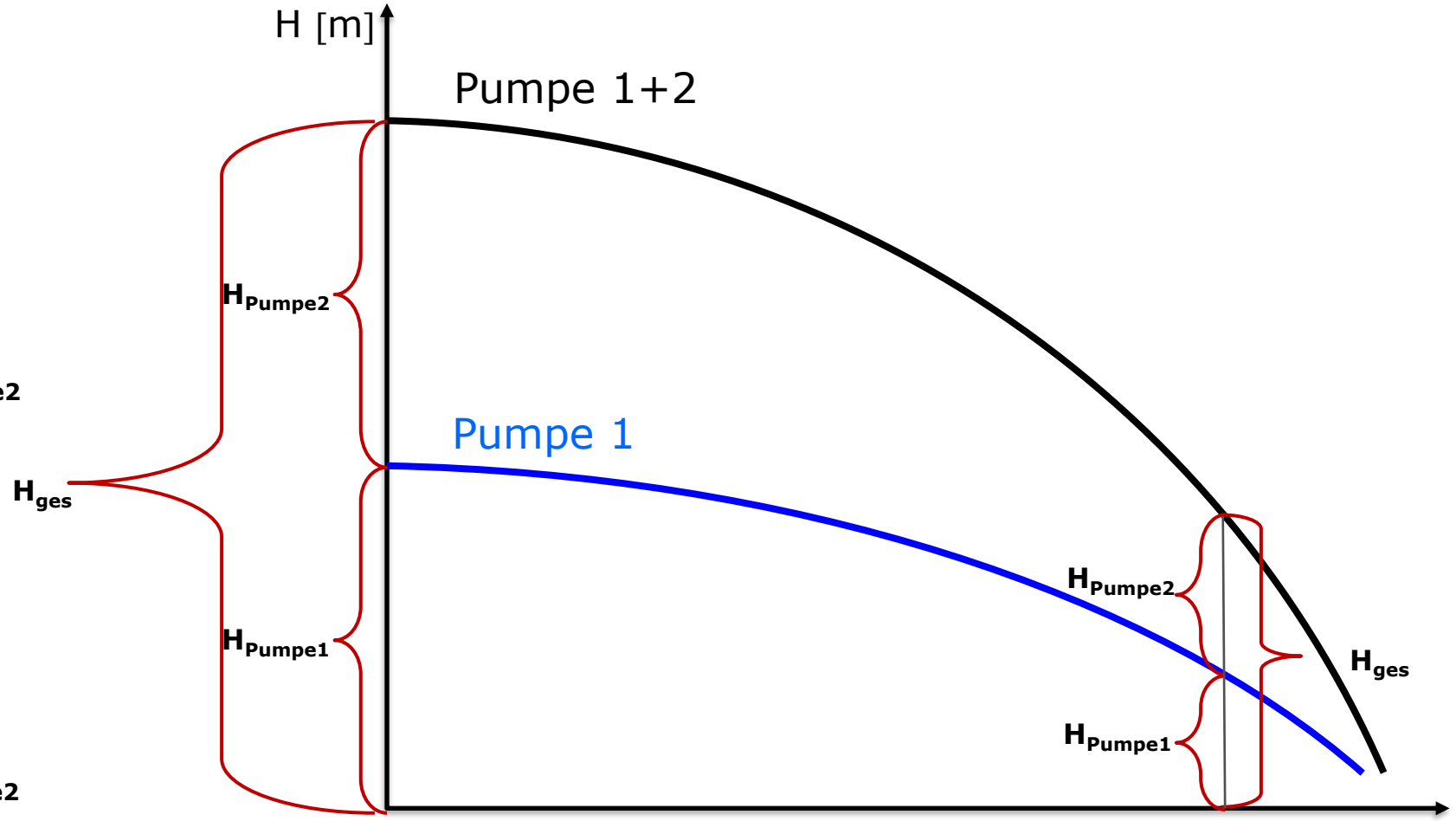
Reihenschaltung



Reihenschaltung

$$H_{ges} = H_{Pumpe1} + H_{Pumpe2}$$

$$Q_{ges} = Q_{Pumpe1} = Q_{Pumpe2}$$



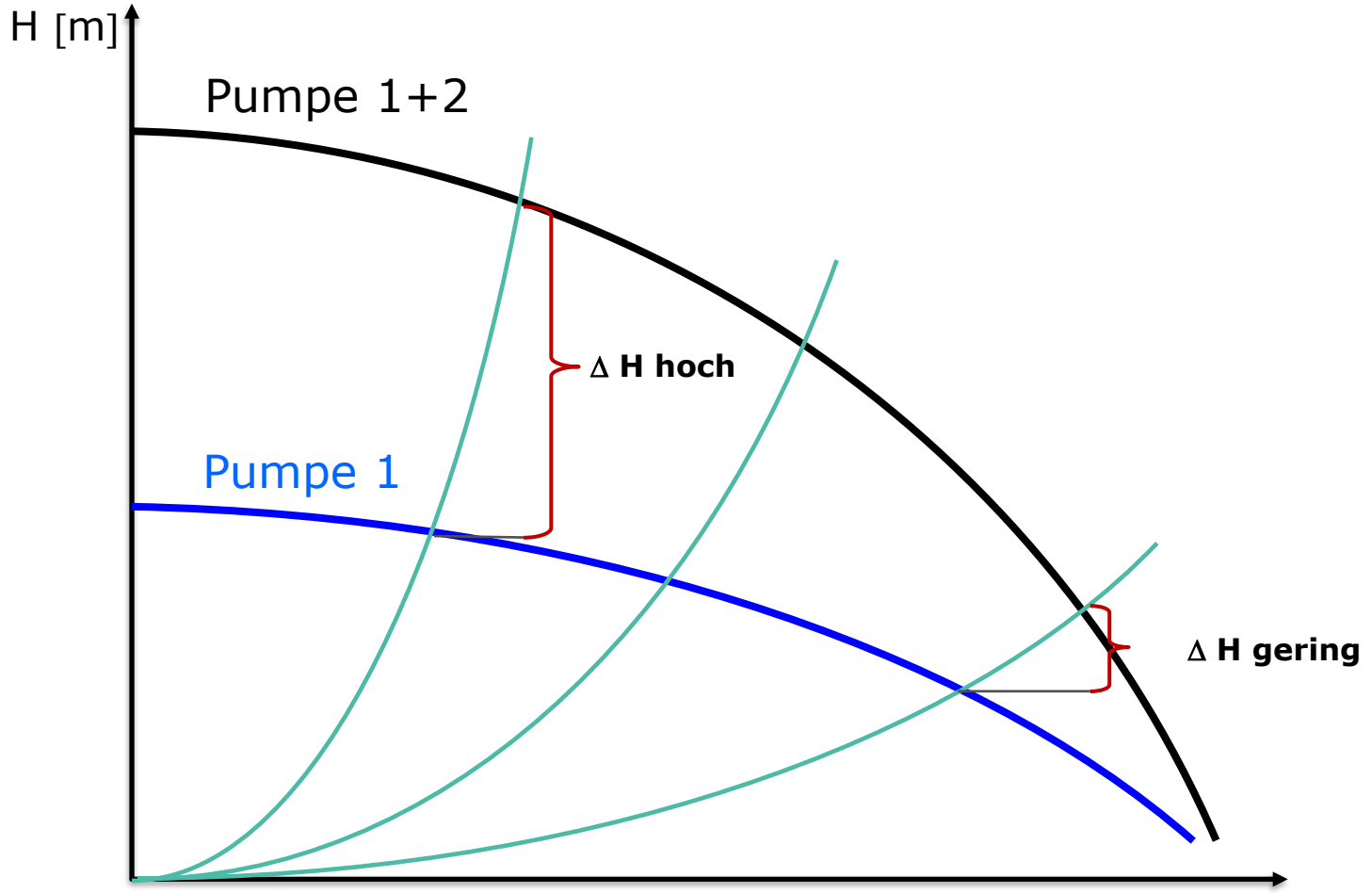
Kreiselpumpen

Reihenschaltung

Anlagenkennline

Steil **Δ H hoch**

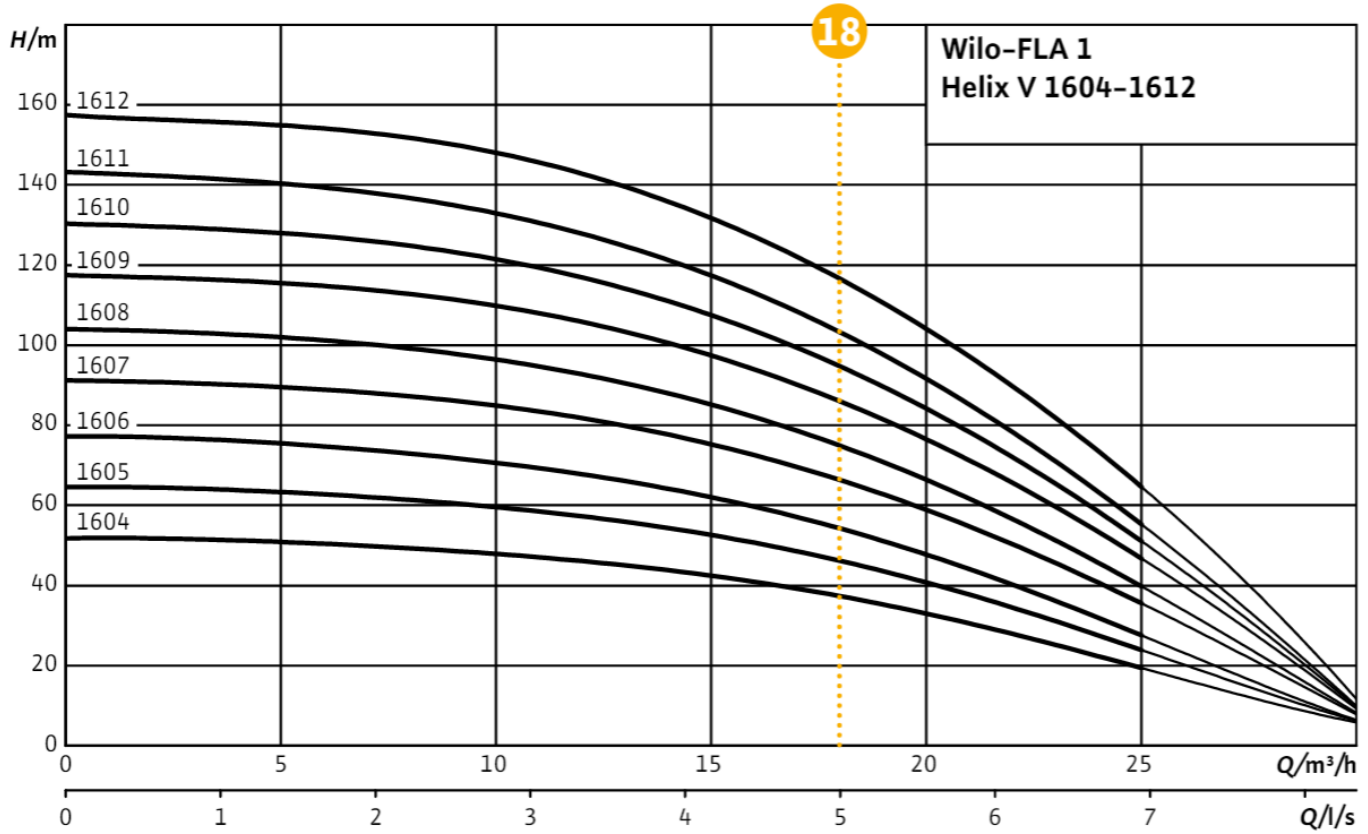
Flach **Δ H gering**



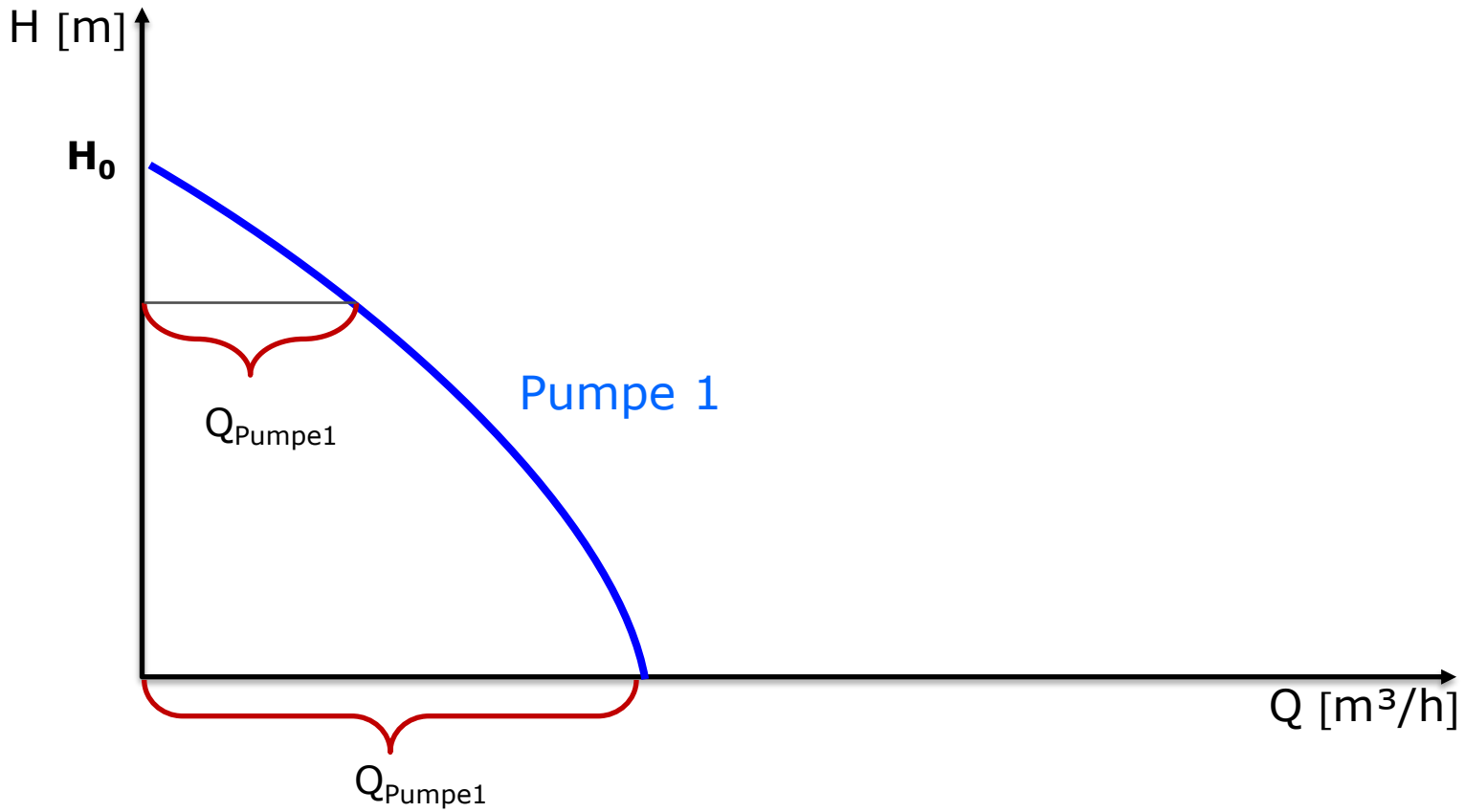
Reihenschaltung

Beispiel Wilo-FLA-1

Pro Laufrad ca. 1 bar Druckerhöhung



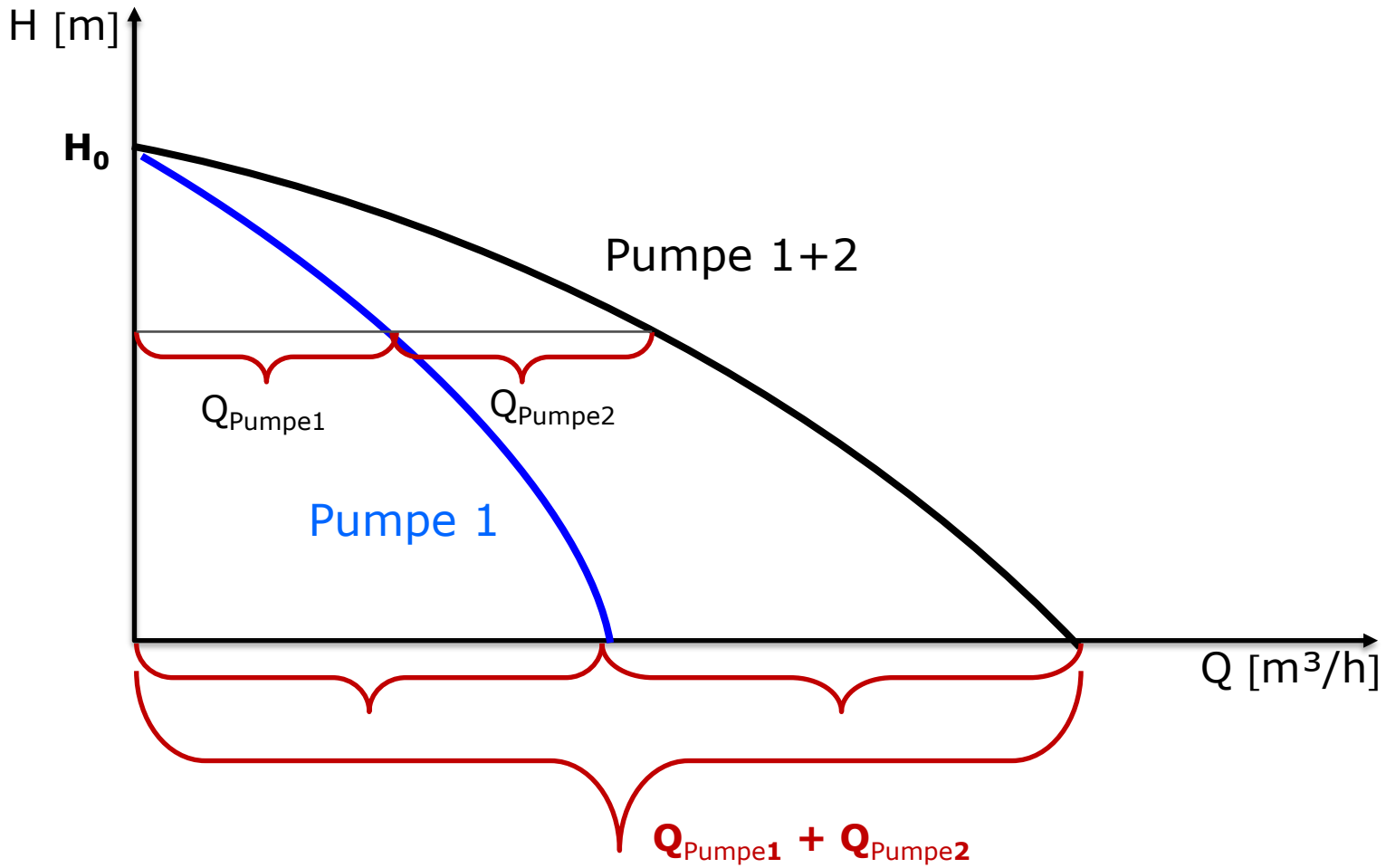
Parallelschaltung



Parallelschaltung

$$H_{ges} = H_{Pumpe1} = H_{Pumpe2}$$

$$Q_{ges} = Q_{Pumpe1} + Q_{Pumpe2}$$

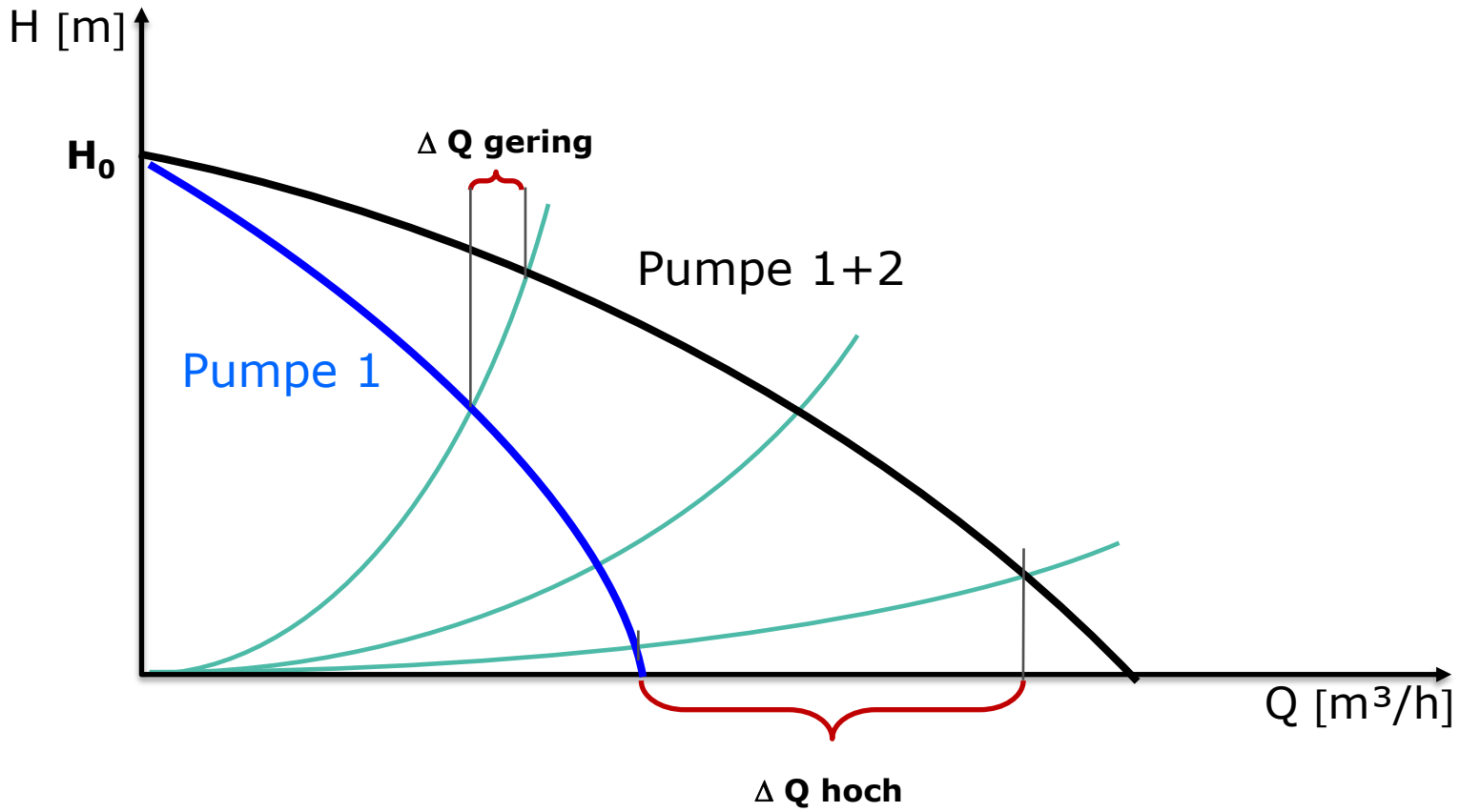


Parallelschaltung

Anlagenkennline

Steil **Δ Q gering**

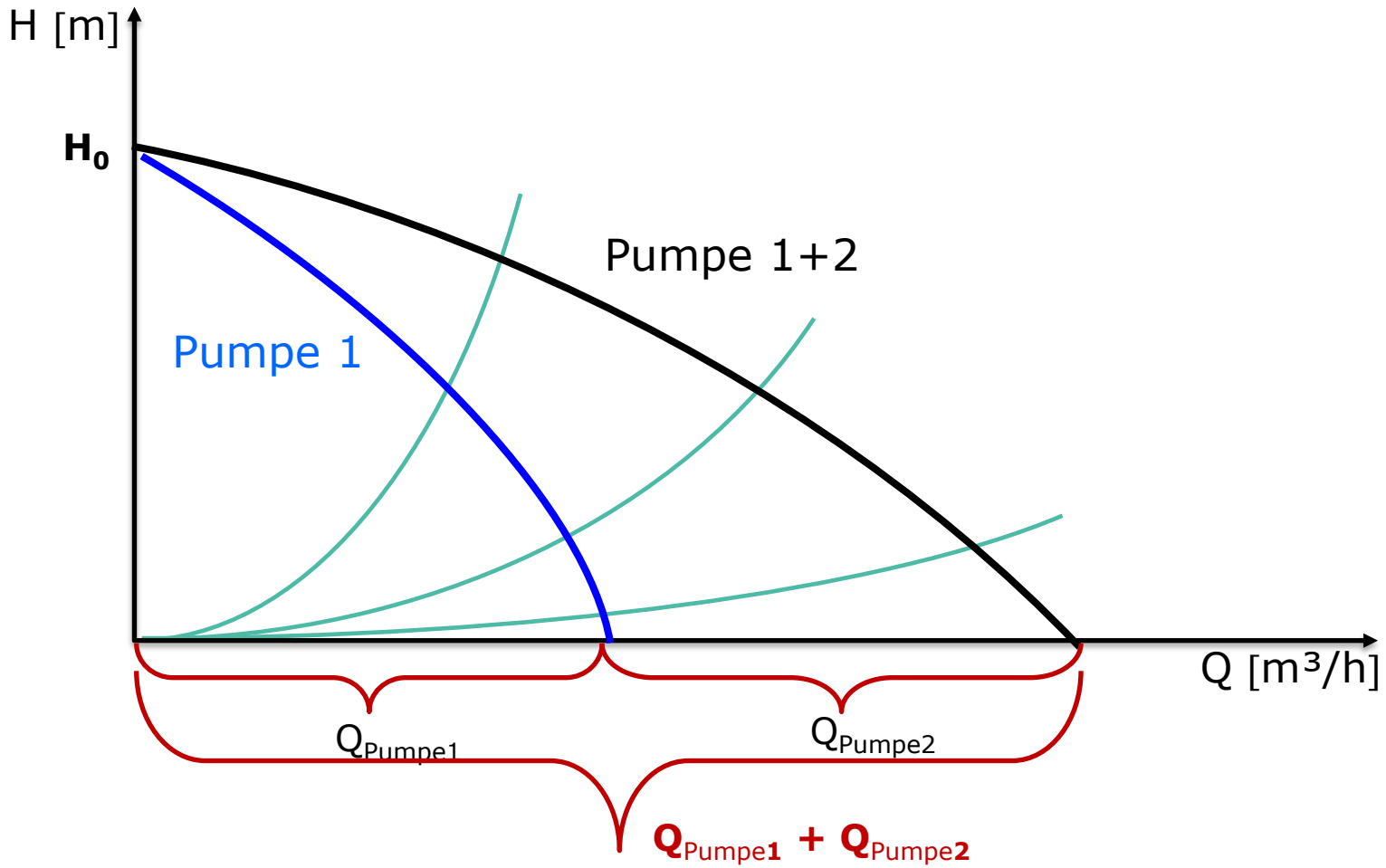
Flach **Δ Q hoch**



Parallelschaltung

$$H_{ges} = H_{Pumpe1} = H_{Pumpe2}$$

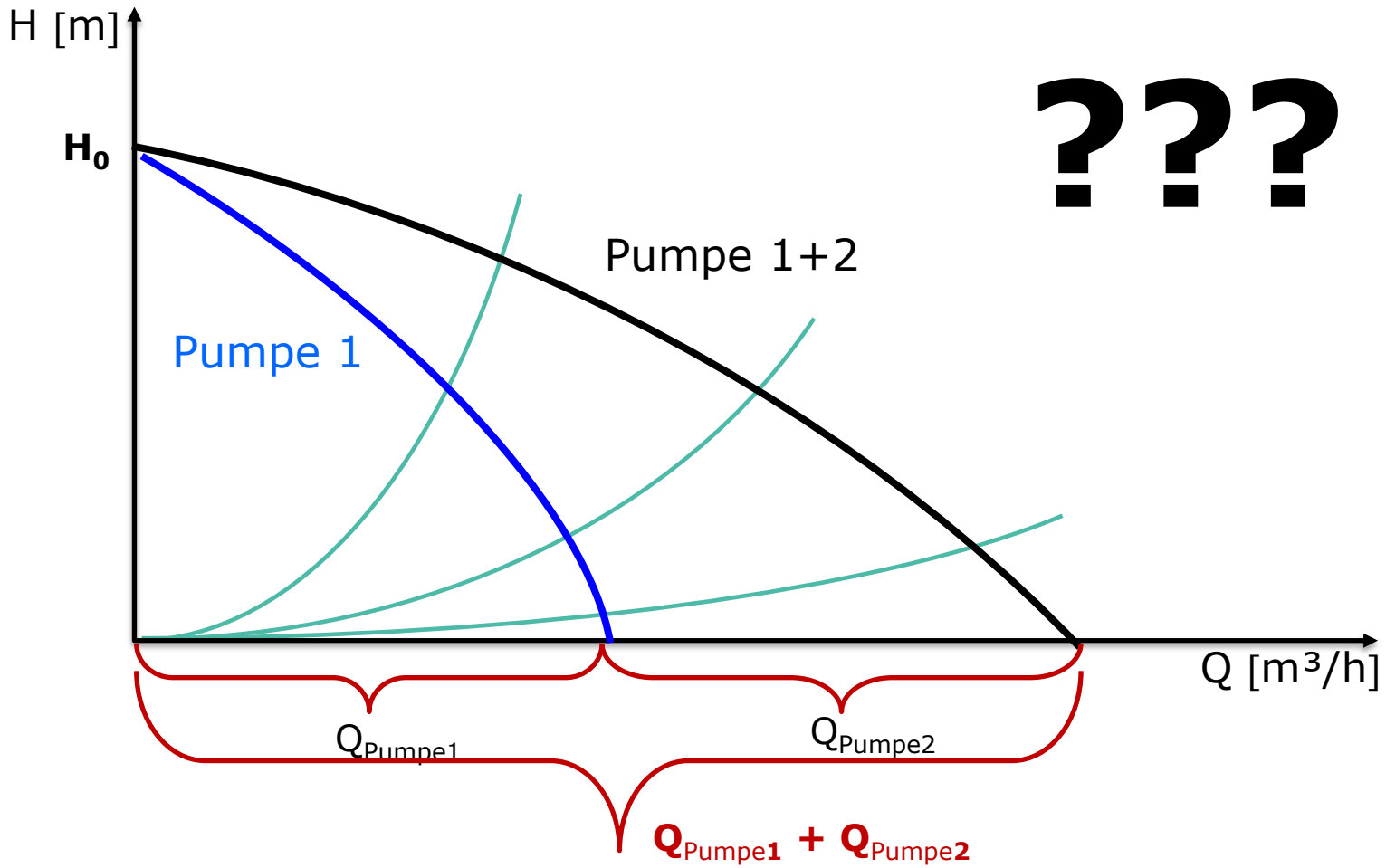
$$Q_{ges} = Q_{Pumpe1} + Q_{Pumpe2}$$



Parallelschaltung

$$H_{ges} = H_{Pumpe1} = H_{Pumpe2}$$

$$Q_{ges} = Q_{Pumpe1} + Q_{Pumpe2}$$



Kurzumfrage:
Welche Organisation und welche Rahmenbedingungen wäre für Sie angenehm?

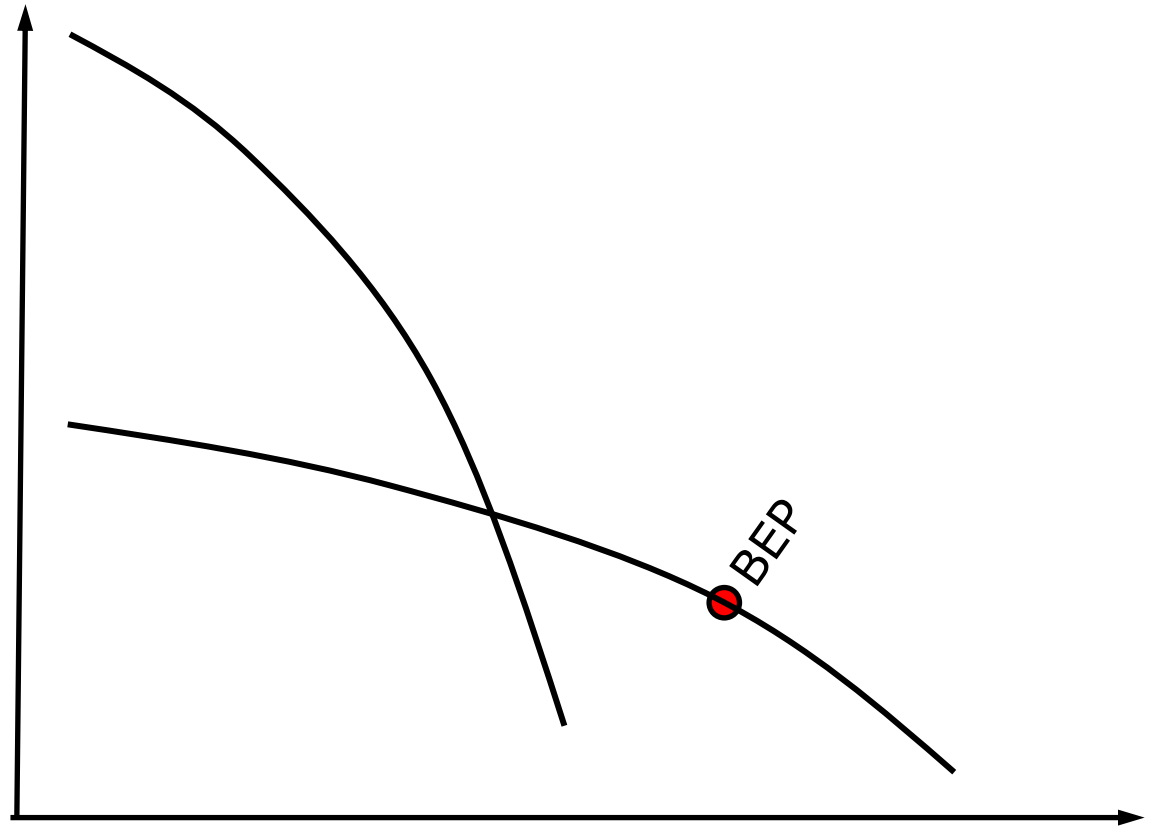
- Mehrere Antworten sind möglich.
- Bitte geben Sie ergänzende Kommentare über das Chat-Fenster ein.

Falsche Drehrichtung

Praxisbeispiele: falsche Pumpenkurve

Bei einer falschen Drehrichtung wird die Pumpenkurve fast auf die doppelte Förderhöhe der Normalpumpe verändert. Die Stromaufnahme bleibt aber annähernd gleich.

Hier gibt nur eine Differenzdruckmessung oder ein Drehrichtungskontrollgerät genaue Aussage über den Kurvenverlauf der Pumpe.

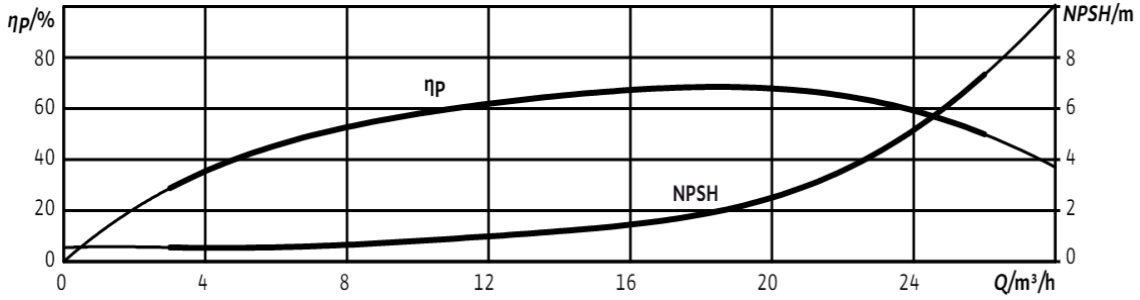


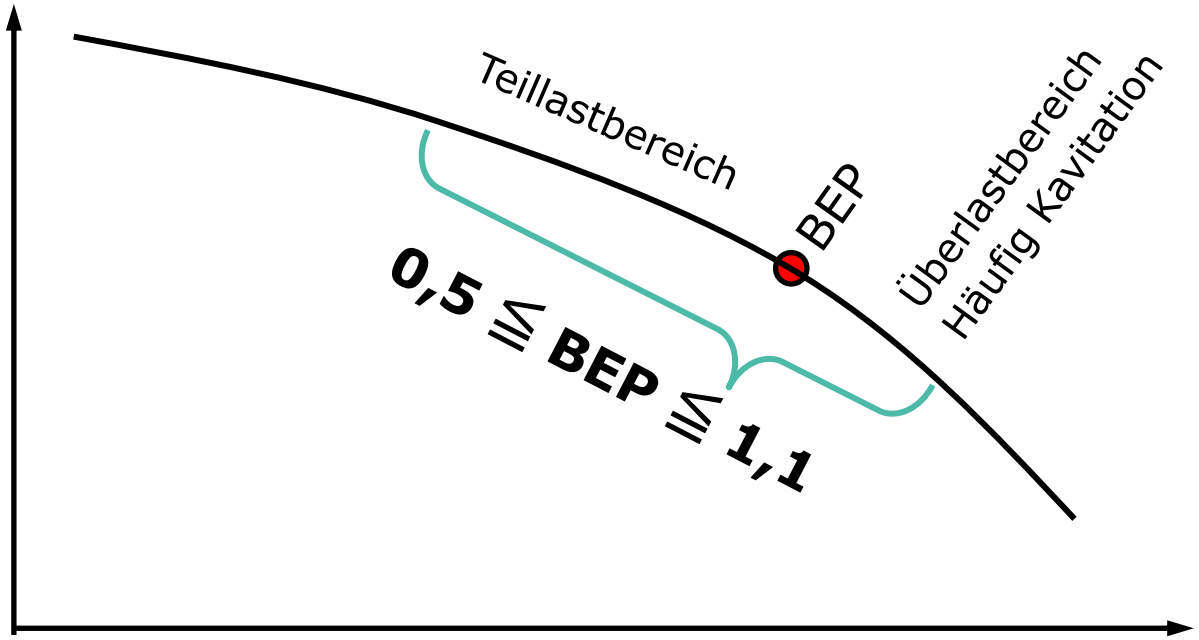
Bester Wirkungsgrad – Laufruhe

Praxisbeispiele: Finden des BEP – Best efficiency point

Schieber abwechselnd Öffnen und Schließen bis die Pumpe ruhig und leise läuft.
98% Trefferquote den BEP zu finden.

Beispiel: Wilo-Helix V 1601 – 1621/50 Hz





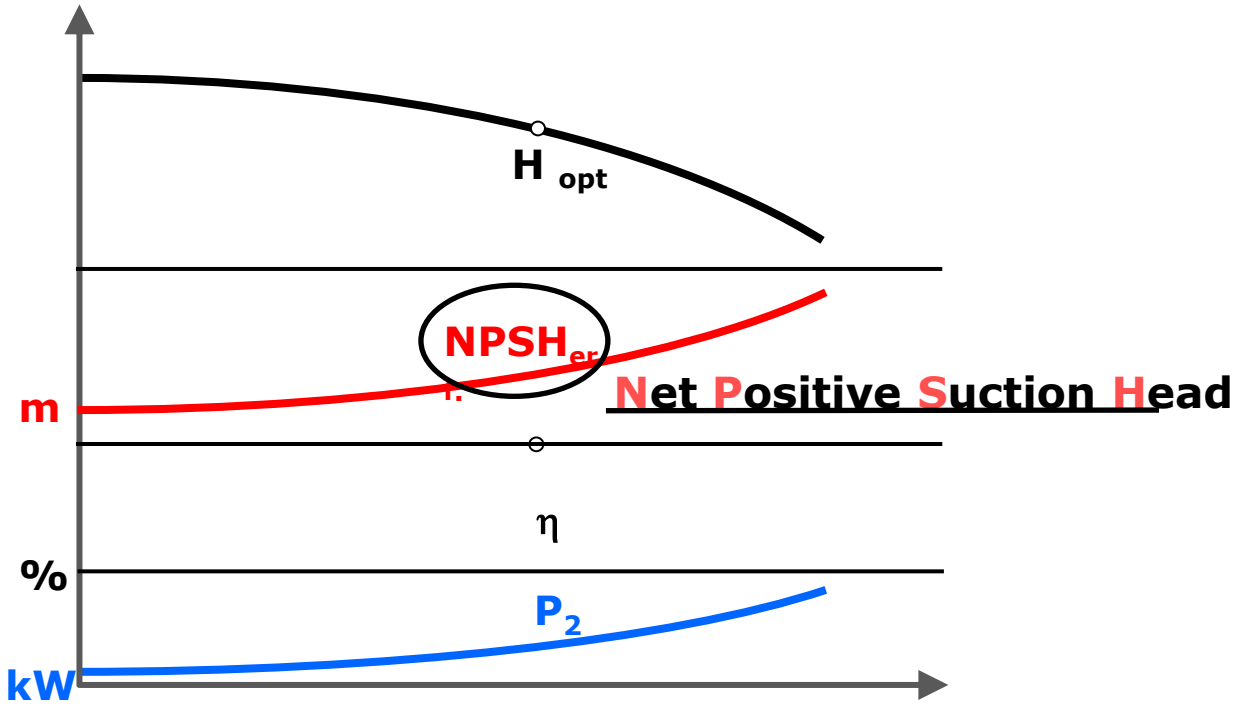
Kavitation – NPSH-Wert

NPSH-A_{Anlage} ≧ $NPSH_{Pumpe}$ oder NPSH-R, (R für required)

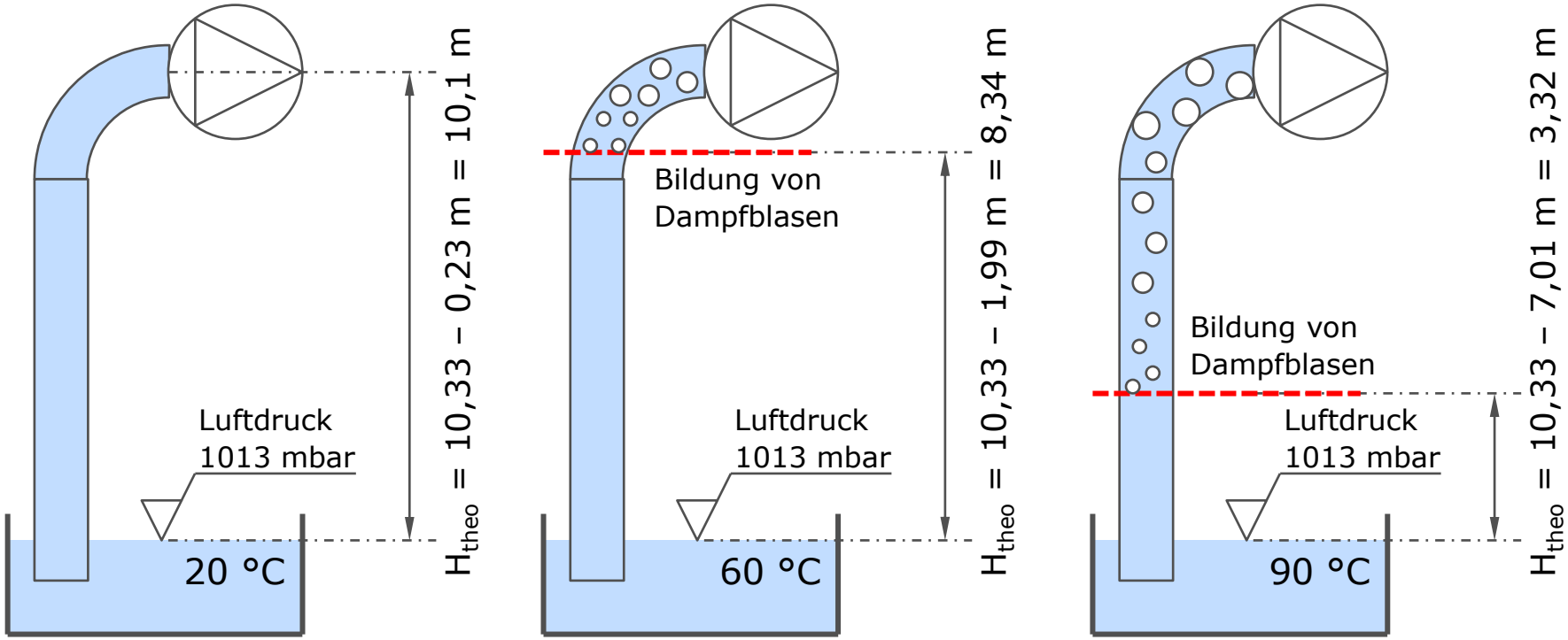
Je kleiner der $NPSH_{Pumpe}$ ist desto mehr Sicherheit für das System.

Er ist abhängig vom:

- Volumenstrom
- Temperatur
- Luftdruck
- Dichte
- Ansaughöhe
- Dampfdruck



Kavitation – Saugseite der Pumpe



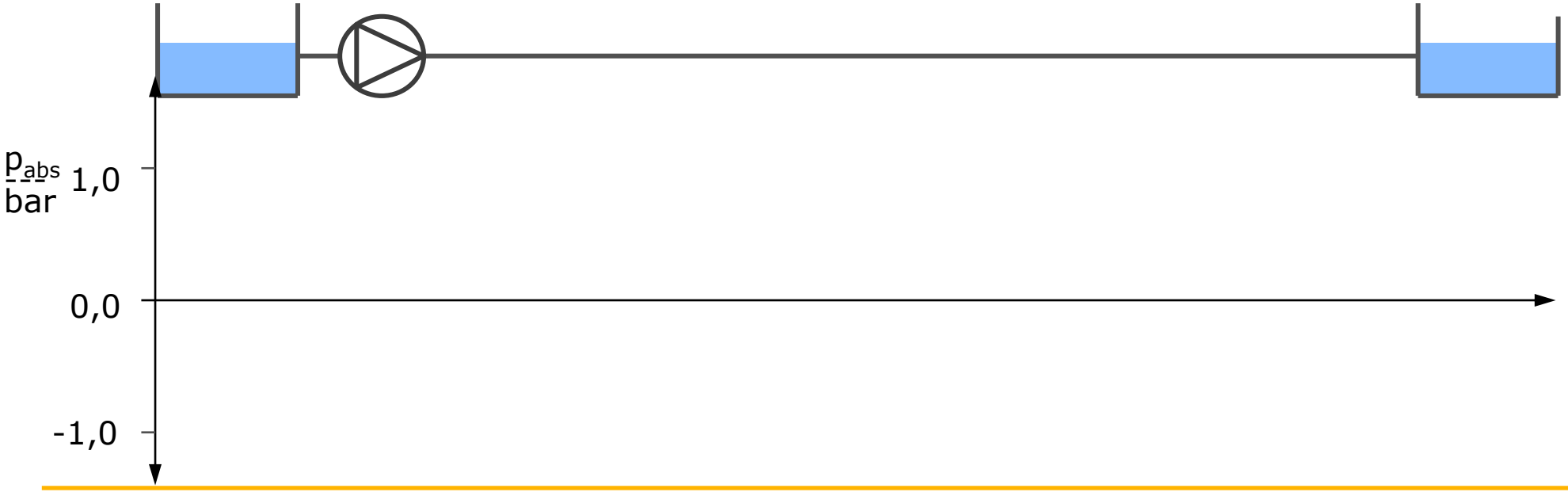
ϑ °C	p_{abs} bar
5	0,0087
20	0,023
60	0,199
90	0,701
100	1,013

Kavitation – Saugseite der Pumpe

Druckliniendiagramm

Differenzdruck Rohr $\Delta p = 1$ bar

Förderhöhe Pumpe $H_{Pu} = 10$ m (Rohrleitung 500 m, 200 Pa/m, DN100, 1,5 m/s)

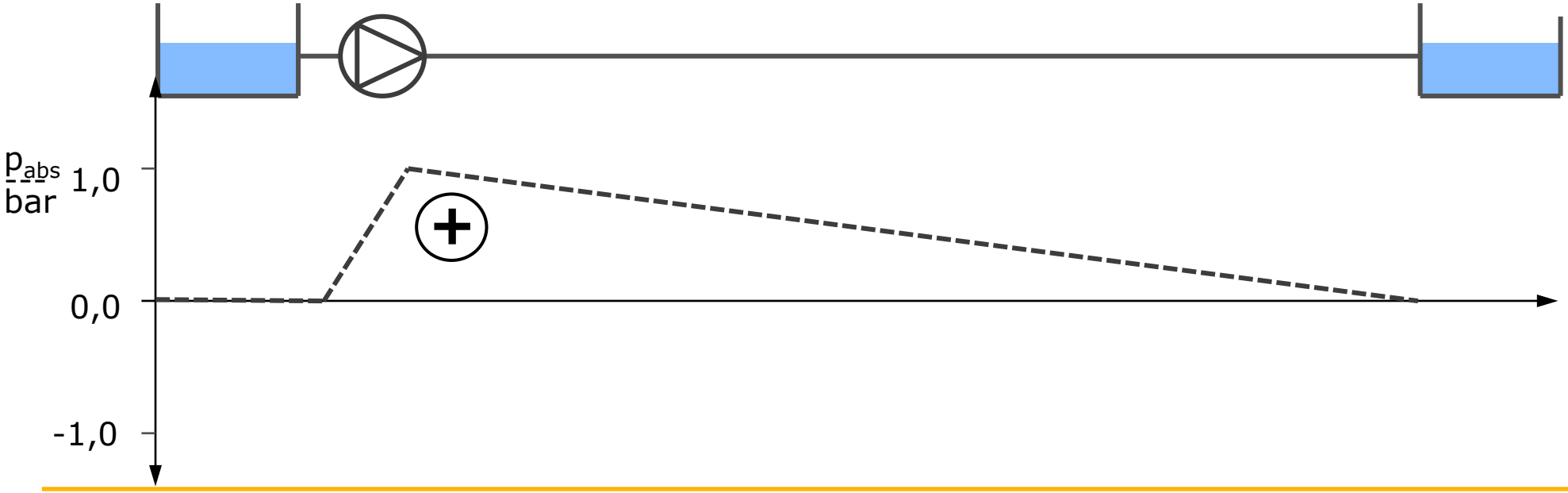


Kavitation – Saugseite der Pumpe

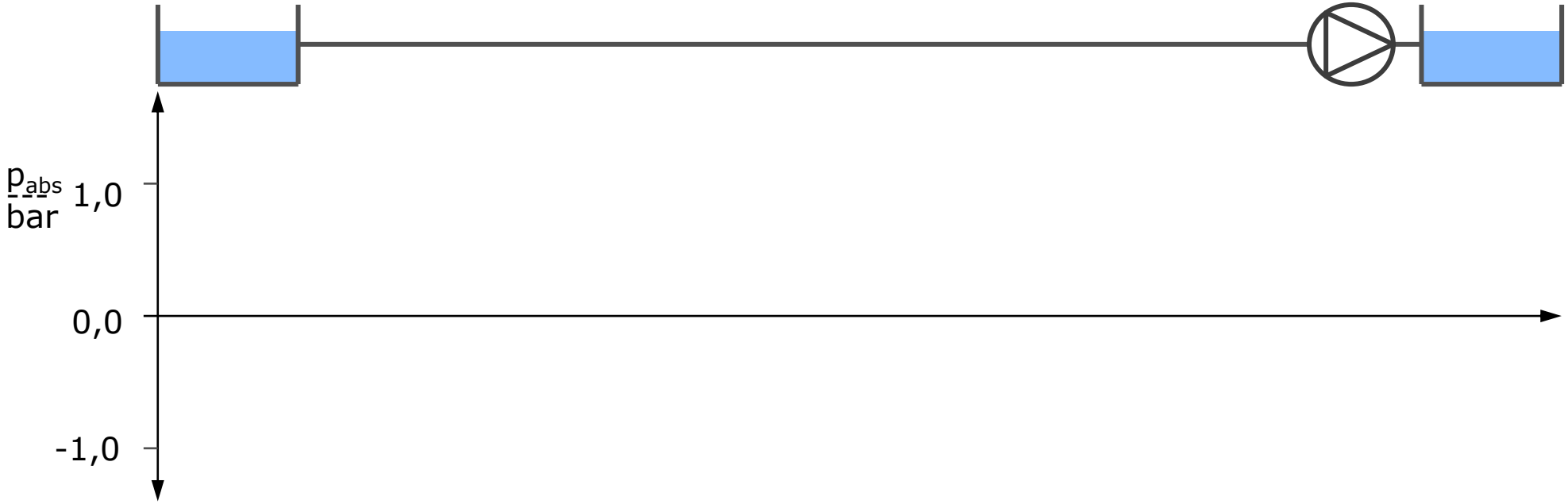
Druckliniendiagramm

Differenzdruck Rohr Δp = 1 bar

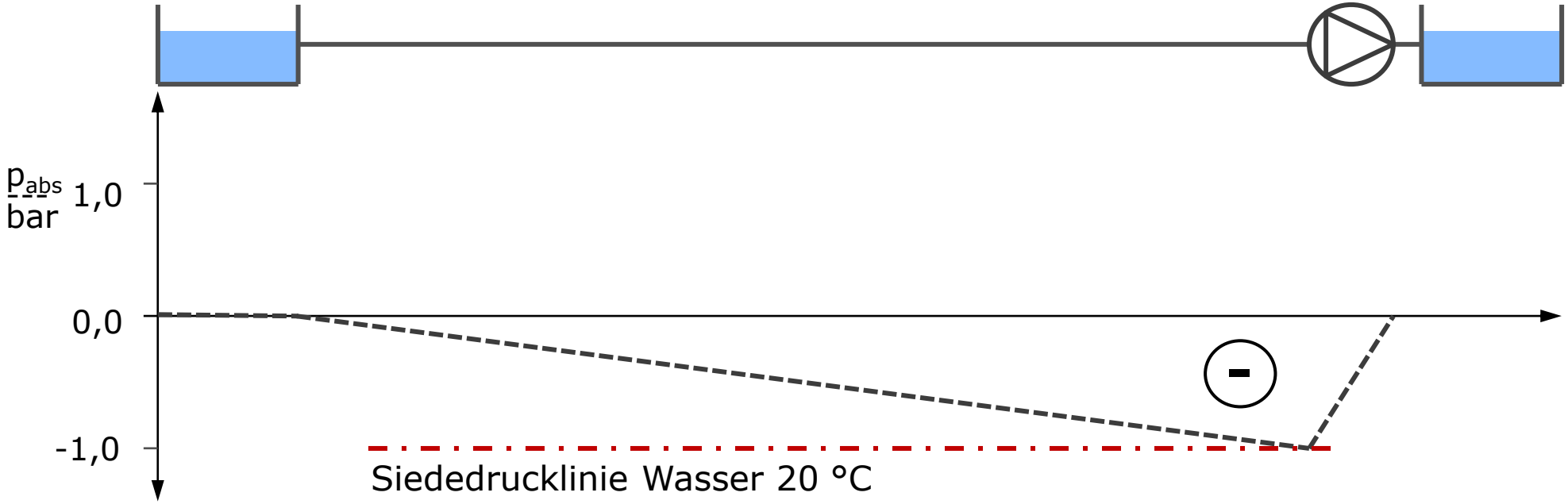
Förderhöhe Pumpe H_{Pu} = 10 m (Rohrleitung 500 m, 200 Pa/m, DN100, 1,5 m/s)



Kavitation – Saugseite der Pumpe



Kavitation – Saugseite der Pumpe



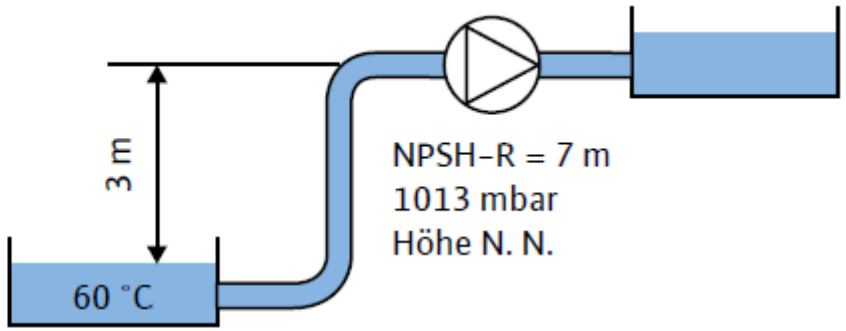
Kavitation Berechnungsbeispiel

Der Anlagen NPSH-A muss immer größer als der erforderliche NPSH-R sein

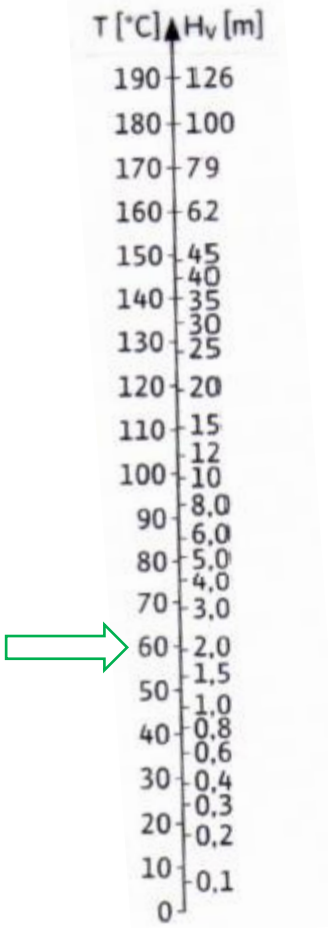
$NPSH\text{-}A_{Anlage}$

Luftdruck	+10 m
Höhenlage (–1 m/1000 m)	
Wassertemperatur 60 °C (Dampfdruck)	
p_{abs}=0,199 bar	–1,99 m (–2 m)
Saugbetrieb minus	–3 m
Zulaufbetrieb plus	
Dynamische Druckverlustegabe	
$H_{dyn} = H_{Rohr} + HS\zeta$	–2 m
Summe:	**+3 m**

$\geq NPSH\text{-}R_{Pumpe}$



	+7 m	Herstellerangabe
	+1 m	Sicherheitszuschlag (0,5–1,0 m)
≥	**+8 m**	Summe



Dampfdruck

Dampfdruck und Dichte von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur

ϑ	T	P_D[1]	ρ	ϑ	T	P_D[1]	ρ	ϑ	T	P_D[1]	ρ
[°C]	[K]	[bar]	[kg/m³]	[°C]	[K]	[bar]	[kg/m³]	[°C]	[K]	[bar]	[kg/m³]
0	273,15	0,0061	999,8	72	345,15	0,340	976,6	108	381,15	1,339	952,2
5	278,15	0,0087	1000,0	74	347,15	0,397	975,4	110	383,15	1,433	951,0
10	283,15	0,0123	999,6	76	349,15	0,402	974,3	112	385,15	1,532	949,6
15	288,15	0,017	999,0	78	351,15	0,437	973,0	114	387,15	1,636	948,0
20	**293,15**	**0,023**	**998,2**	80	353,15	0,474	971,8	116	389,15	1,746	946,4
25	299,15	0,032	997,0	82	355,15	0,513	970,6	118	391,15	1,863	944,8
30	303,15	0,042	995,6	84	357,15	0,556	969,4	120	393,15	1,985	943,1
35	308,15	0,056	993,9	86	359,15	0,601	968,1	122	395,15	2,114	941,5
40	313,15	0,074	992,2	88	361,15	0,650	966,7	124	397,15	2,250	939,6
45	318,15	0,096	990,2	90	363,15	0,701	965,3	126	399,15	2,393	938,2
50	323,15	0,123	988,0	92	365,15	0,756	964,0	128	401,15	2,543	936,5
55	328,15	0,157	985,7	94	367,15	0,815	962,6	130	403,15	2,701	934,8
60	333,15	0,199	983,2	96	369,15	0,877	961,2	132	405,15	2,867	933,2
62	335,15	0,218	982,1	98	371,15	0,943	959,8	134	407,15	3,041	931,4
64	337,15	0,239	981,1	**100**	**373,15**	**1,013**	**958,3**	136	409,15	3,223	929,6
66	339,15	0,262	980,0	102	375,15	1,088	956,8	138	411,15	3,414	927,9
68	341,15	0,286	978,8	104	377,15	1,167	955,4	140	413,15	3,614	926,1
70	343,15	0,312	977,7	106	379,15	1,250	954,0				

1) Absoluter Druck

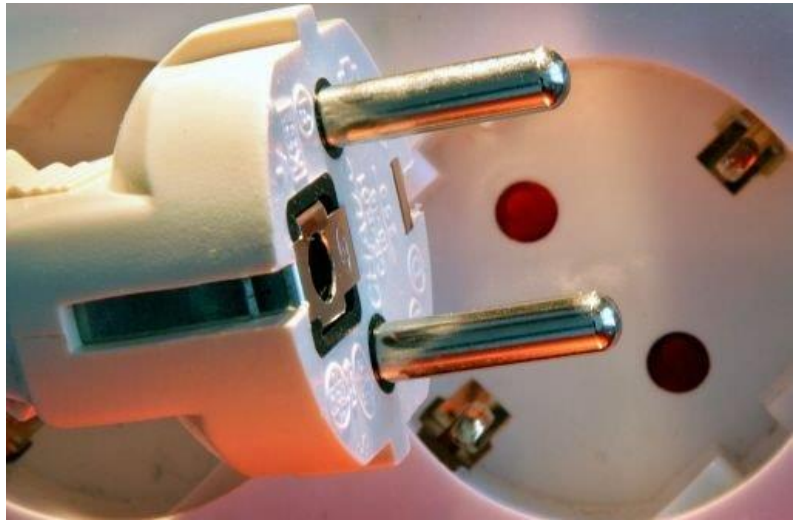
Kurzumfrage:
Wie interessant sind für Sie Produktempfehlungen in Grundlagen-Schulungen?

- Mehrere Antworten sind möglich.
- Bitte geben Sie ergänzende Kommentare über das Chat-Fenster ein.

Wechselstrom

Von Wechselstrom spricht man dann, wenn in einem vorgegebenen Takt die Elektronen für eine bestimmte Zeit in die eine, dann in die andere Richtung fließen.

Bekanntestes Beispiel für eine Wechselstromquelle ist die Steckdose, die Teil einer 230-Volt-Installation (früher 220 Volt) ist.

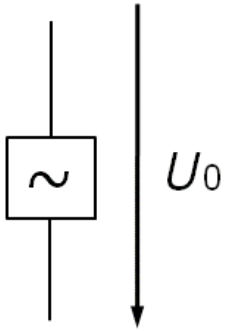


Wechselstrom / Alternating Current AC

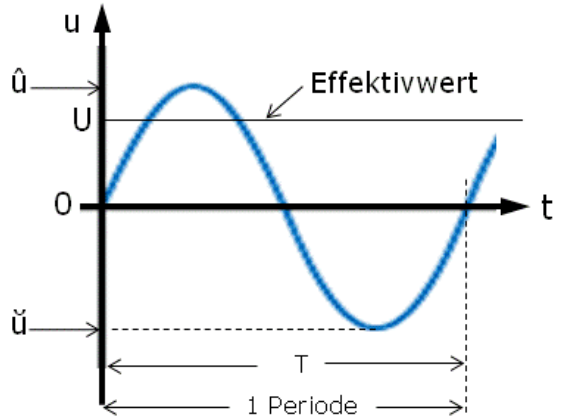
Bei Wechselstrom kommt es zu einer laufenden, wiederkehrenden Änderung der Stromrichtung.

Dabei gibt die Frequenz die Zahl der vollständigen Perioden pro Sekunde an. Jede Periode besteht aus einer positiven und einer negativen Phase. Der technische Vorteil von Wechselstrom ist seine leichte Umwandelbarkeit zwischen verschiedenen Spannungen mit Hilfe eines Transformators.

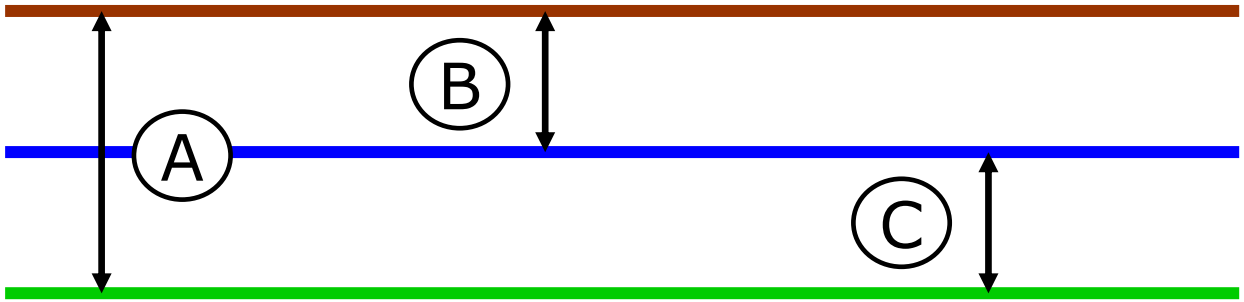
Spannungsquelle



Spannungsverlauf während einer Periode



Wechselstrom / Spannungsmessung



L 1 oder L2 oder L3

N

PE

Verboten!!!

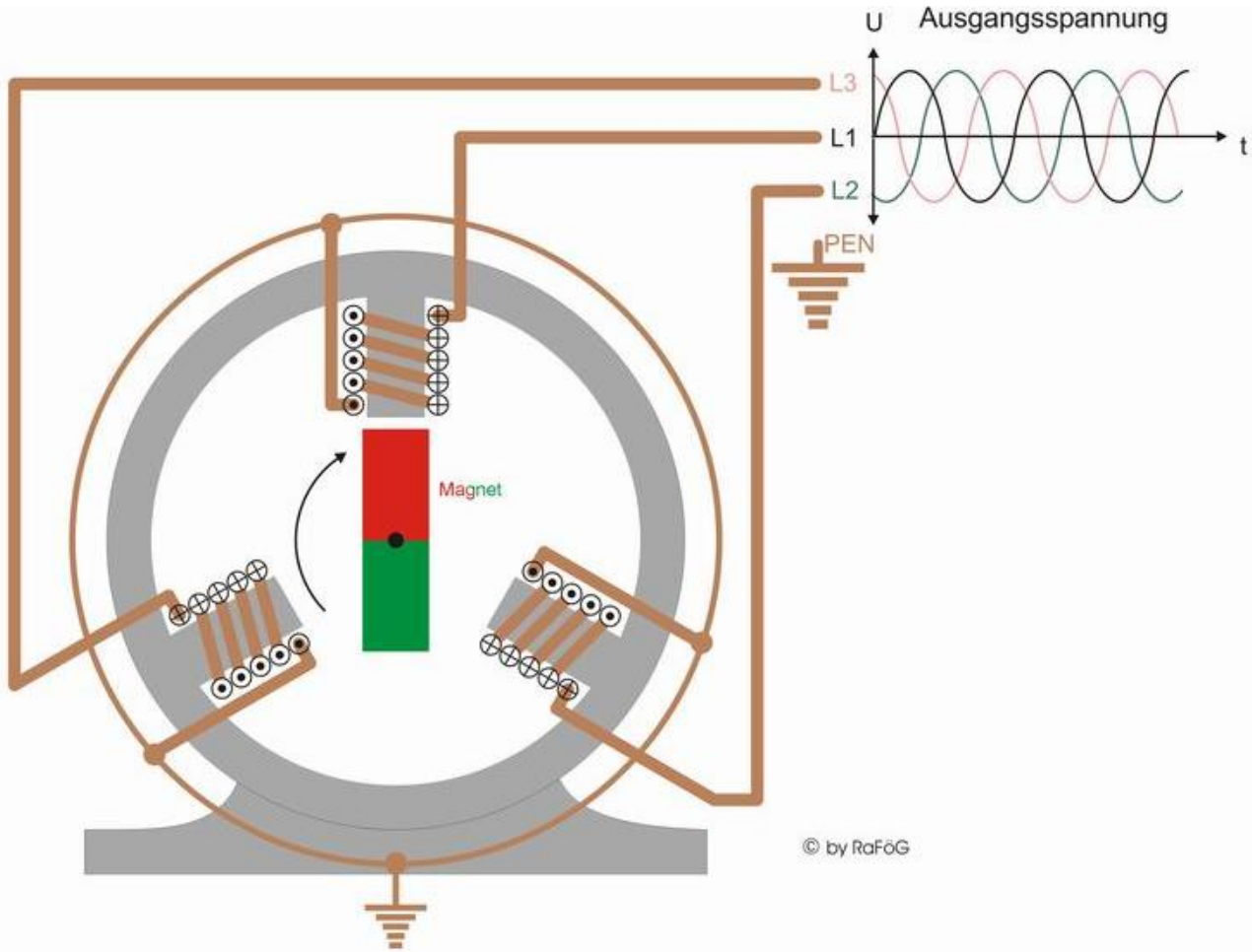
A = 23 V

B = 230 V

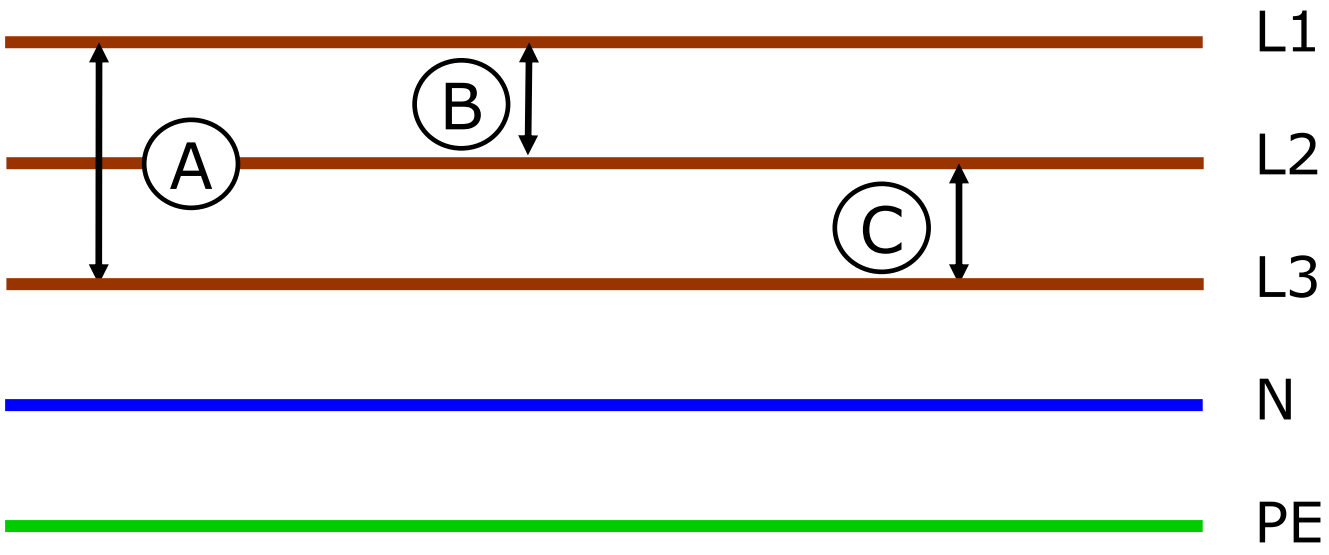
C = 0 V

Dreiphasenwechselstrom

Der Drehstrom ist ein Wechselstrom mit drei Phasen (stromführende Leitungen). Der Begriff Drehstrom ist aus der Erzeugung abgeleitet. Dabei werden drei Spulen im Abstand von 120° rund um ein sich drehendes Magnetfeld angeordnet. Dadurch entstehen drei um 120° phasenverschobene sinusförmige Wechselspannungen.



Drehstrom / Spannungsmessung



A = 400 V B = 400 V C = 400 V

Asynchronmotor

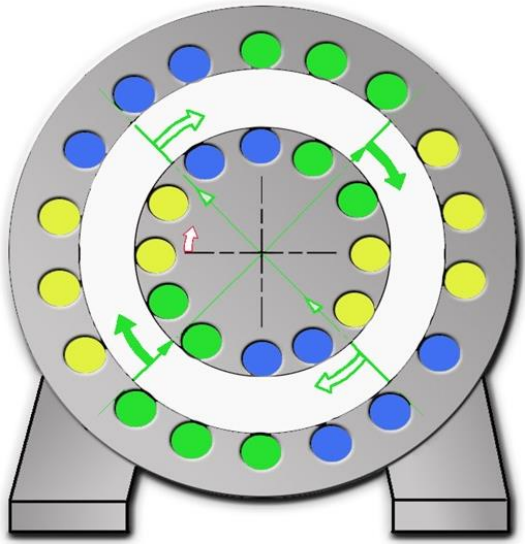
Wie entsteht im Rotor ein Magnetfeld?

> Der Strom in der Stator Wicklung erzeugt ein magnetische Drehfeld.

> Dieses induziert in den Strängen des Rotors Wechselspannungen.

> Bei Asynchron Wechselläufern sind die Rotorstränge an den Kopfseiten kurzgeschlossen.

> Die entstehenden Wechselströme erzeugen das Rotordrehfeld.



Stator

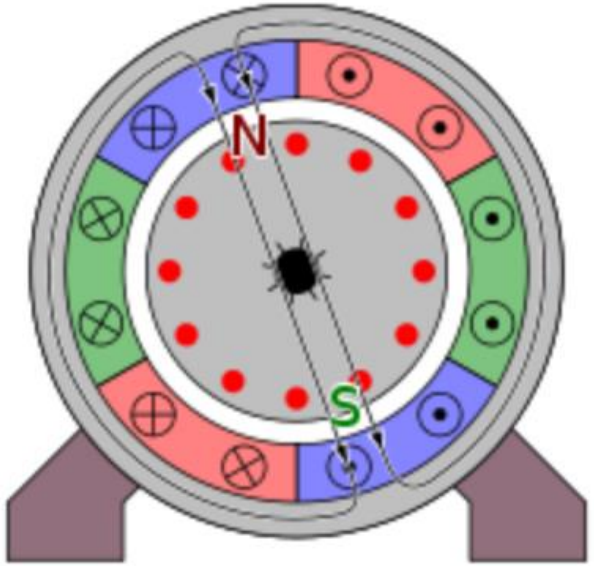
Rotor

Elektromotore

Asynchronmotor

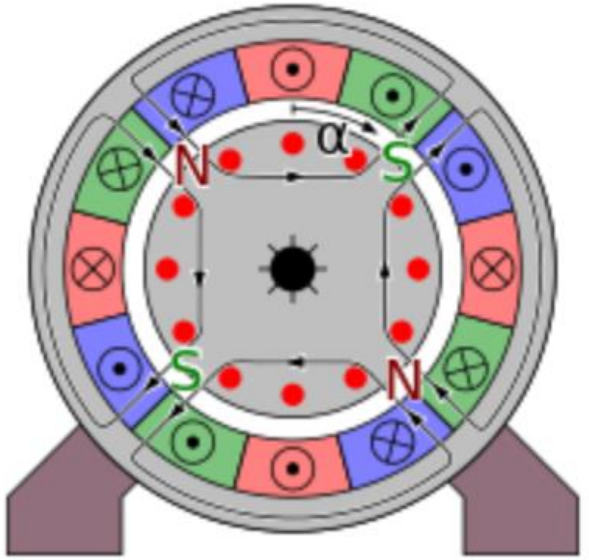
Polpaarzahl p = 1, 2-poliger Motor

ca. 2.900 1/min



Polpaarzahl p = 2, 4-poliger Motor

ca. 1.450 1/min



Elektromotore

Typische Drehzahlen für die Netzfrequenz von 50 Hz

Polzahl/ Polpaarzahl	Synchrone Drehzahl Nennlast [1/min]	Asynchrone Drehzahl Nennlast [1/min]
2/1	3000	Ca. 2900
4/2	1500	Ca. 1450
6/3	1000	Ca. 950
8/4	750	Ca. 725
10/5	600	Ca. 575

$$n = \frac{f}{p}(1-s)$$

Abkürzung	Beschreibung
n	Drehzahl
f	Netzfrequenz
p	Polpaarzahl (halbe Polzahl)
s	Schlupf

Abstufung der Motorgrößen (Auszug!)

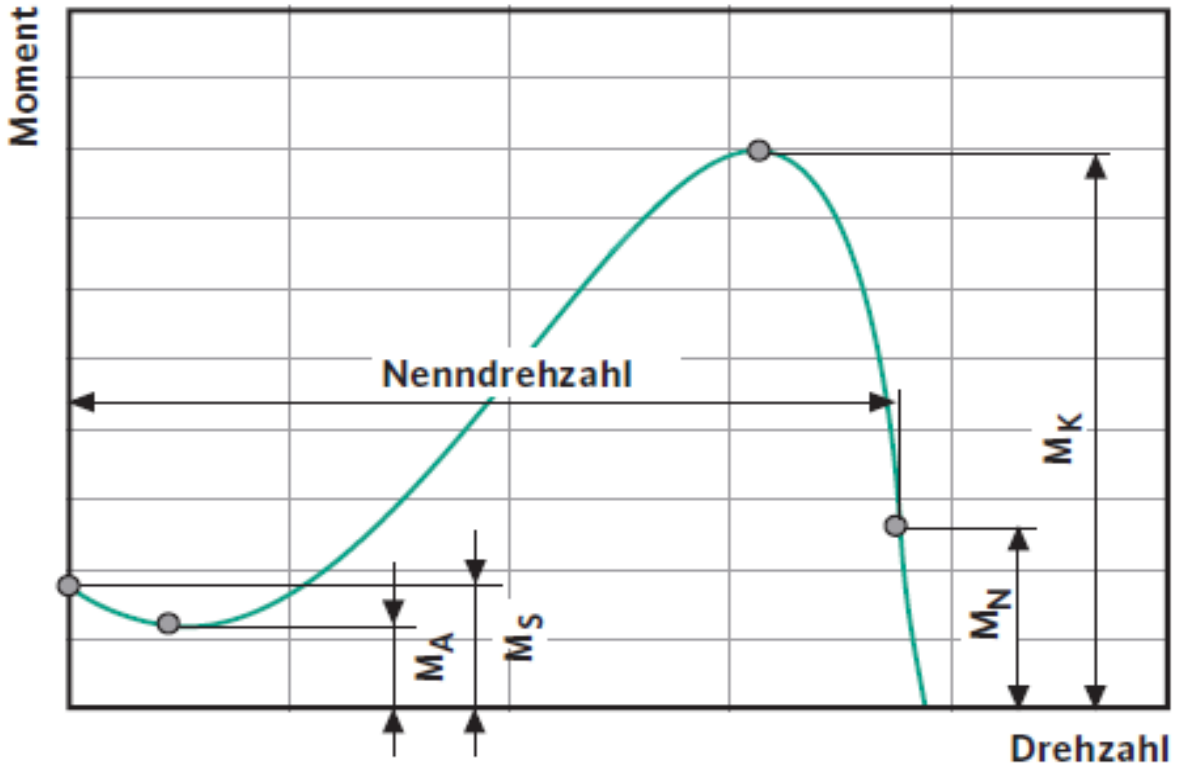
Nennleistung in KW (Normmotoren)																	
1,1	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90	110

KW	Reserve (%)
bis 10 kW	15
über 10 kW	10

Elektromotore

Drehmomentverlauf eines Käfigläufermotors

Im Bild ist der typische Drehmomentverlauf eines Käfigläufermotors mit ausgeprägtem Sattelmoment zu sehen. Dieser Drehmomentverlauf kann durch die Stabform des Läuferkäfigs beeinflusst werden. Da im Nennmoment die Kennlinie sehr steil ist, schwankt die Drehzahl des Motors bei Laständerung nur sehr gering.



M_A Anzugmoment
M_S Sattelmoment
M_K Kippmoment
M_N Nennmoment

Stromverlauf

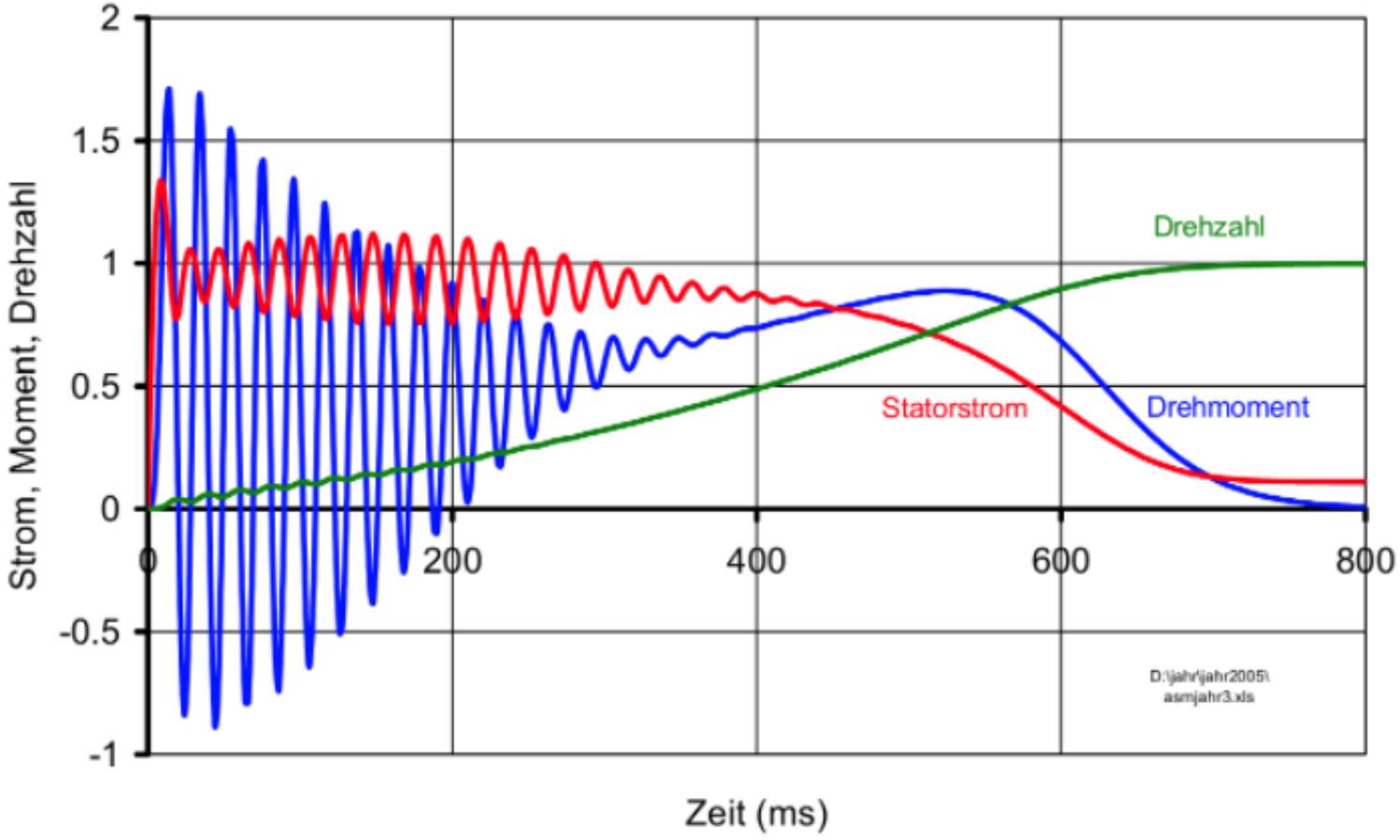
Anlaufstrom

ca. 5-8fach I_N

ca. 0,5 sec

Nennstrom I_N

Motor-Typenschild



Wirkungsgrad/Wirkleistung

Die Leistungsaufnahme P_1 des Motors beträgt:

Einphasenmotor: $P_1 = U * I * \cos \varphi$

Drehstrommotor: $\mathbf{P_1 = U * I * \sqrt{3} * \cos \varphi}$

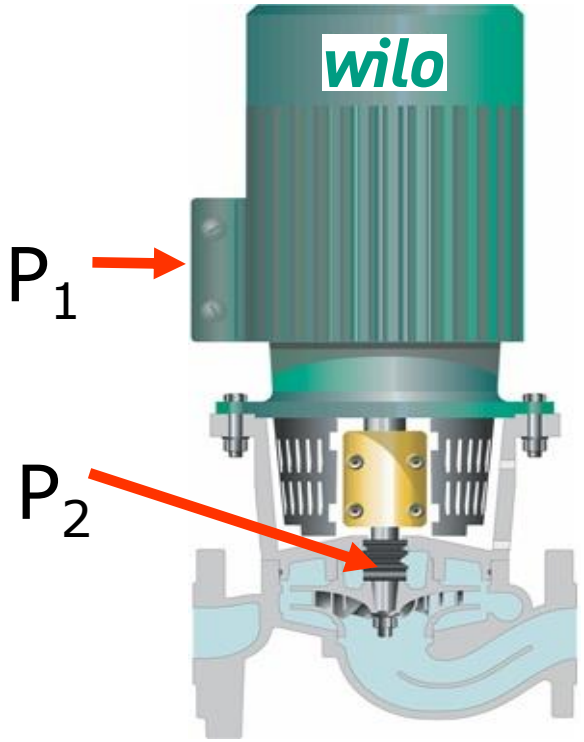
P_1 = Leistung in Watt

U = Spannung in Volt

I = Strom in Ampere

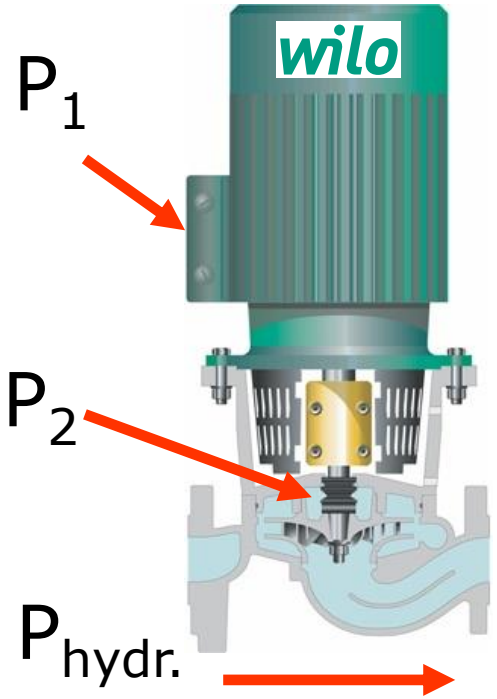
cos φ = Leistungsfaktor

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$



Kreiselpumpe

Gesamtwirkungsgrad



$P_{elektr.(P1)}$

M

$P_{Welle(P2)}$

∞

$P_{hydr.}$

$$\eta_{Motor} = \frac{P_{Welle\ (P2)}}{P_{elekt.(P1)}}$$

$$\eta_{Pumpe} = \frac{P_{hydr.}}{P_{Welle\ (P2)}}$$

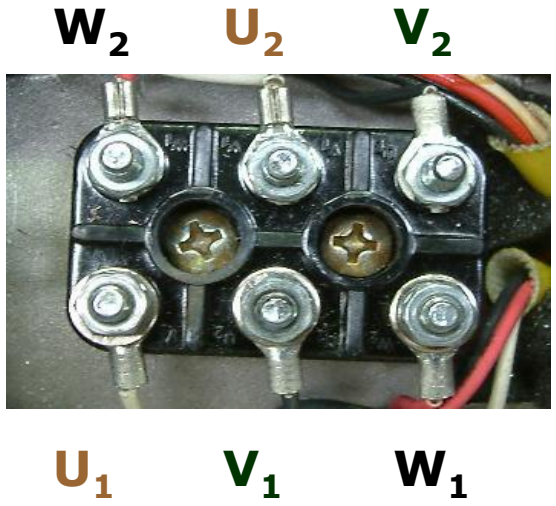
$$\eta_{Gesamt} = \frac{P_{hydr.}}{P_{elektr.\ (P1)}}$$

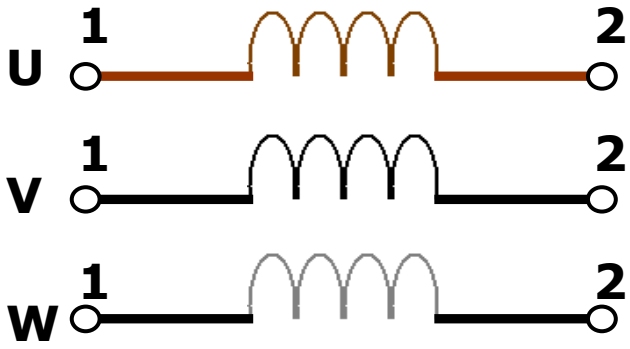
Motorwicklungen

Drehstrom-Induktionsmotor

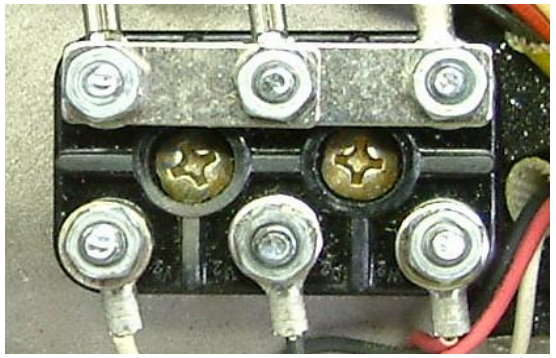
- → Immer auf die Einzelheiten eines Motors achten!
- → Ein Drehstrommotor hat 3 Wicklung im Ständerpaket.
- → 3 Wicklungen = 6 Kabelenden
- → Motor-Klemmenblock = 6 Klemmen

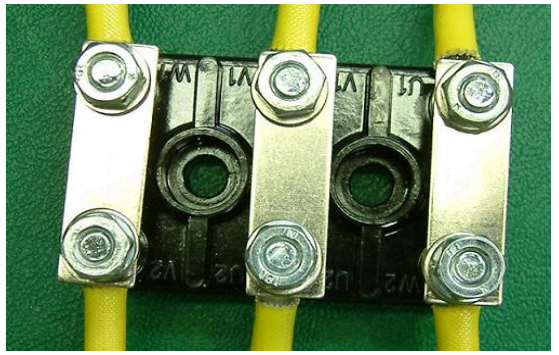
Wicklungen sind in der Regel mit U, V, W bezeichnet.





Motoranschluss Stern/Dreieck

Stern: 

Dreieck: 

Das Motor-Typenschild enthält Symbole für das richtige Anschließen an die Verteilerschienen.

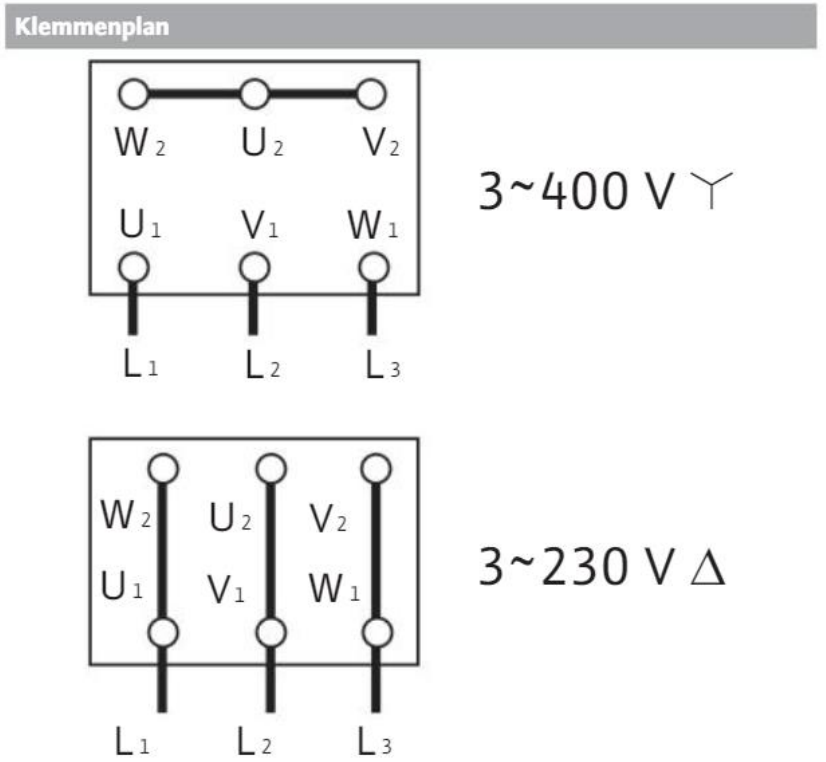
Für Stern-Dreieck-Anlauf müssen sechs Kabel vom Motor-Klemmenblock zurück zum unabhängigen Stern-Dreieck-Anlasser geführt werden.

WARNUNG
Auf Motor-Typenschild angegebenes Anschlussverfahren beachten:
BIS 3 kW ⅄ **- STERN**
AB 4 kW △ **- DREIECK**

Motoranschluss Stern/Dreieck

Beispiel Wilo-Helix V

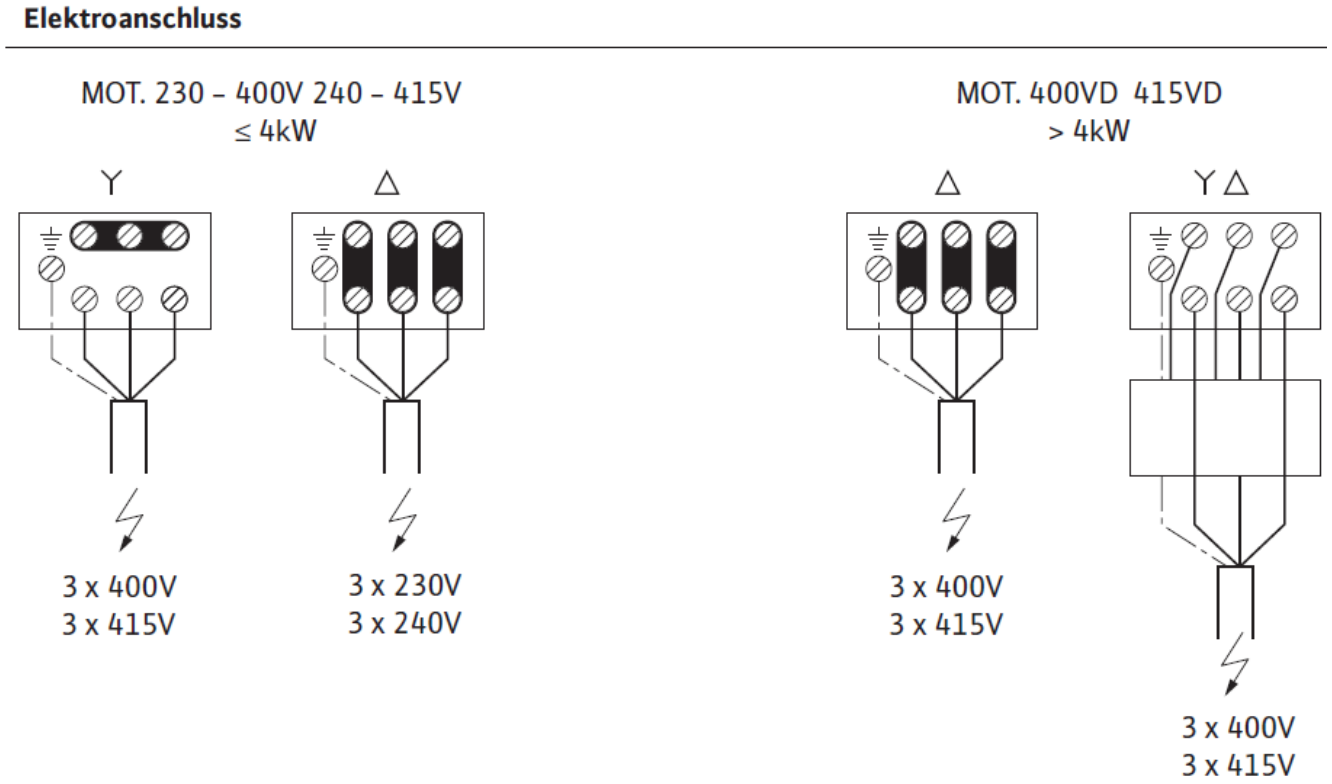
Anschlussspannung 400 V



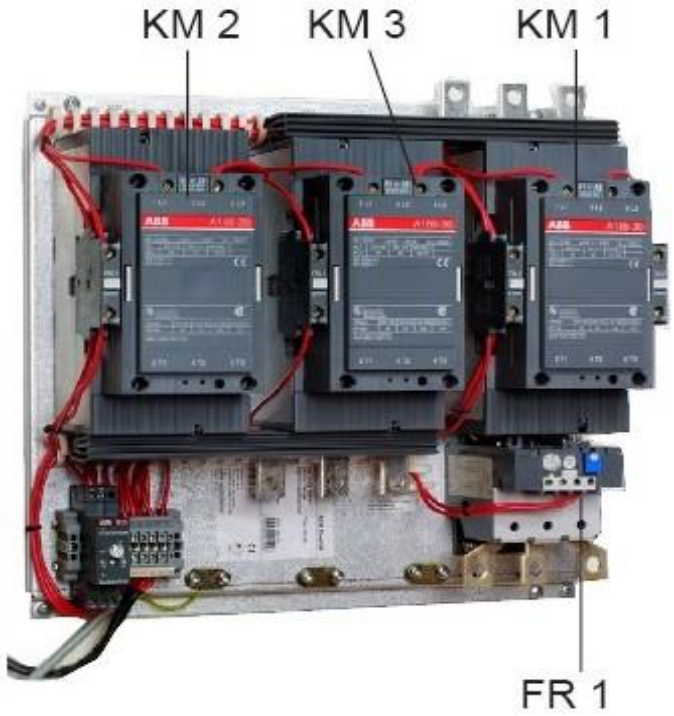
Motorwicklungen Stern/Dreieck – Spannungen und Ströme

Klemmplan, Motordaten

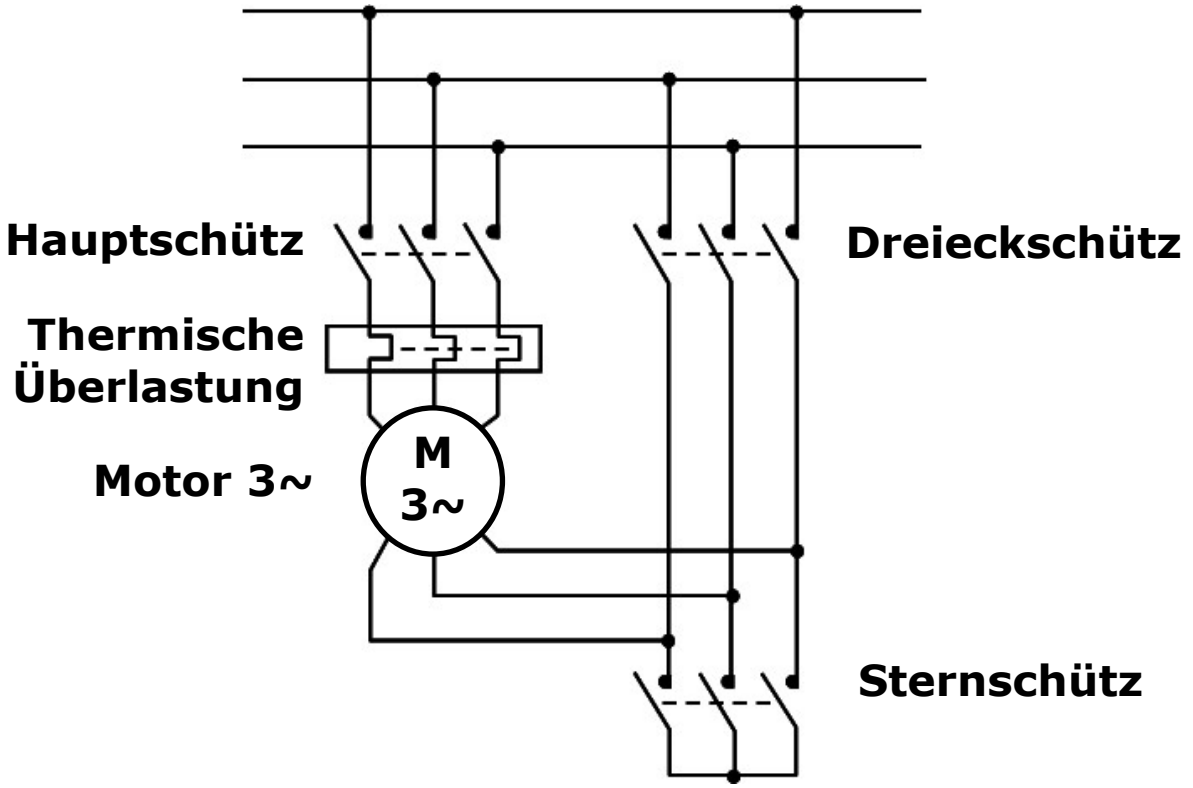
Wilo-Helix V 6/10/16/22/36/52



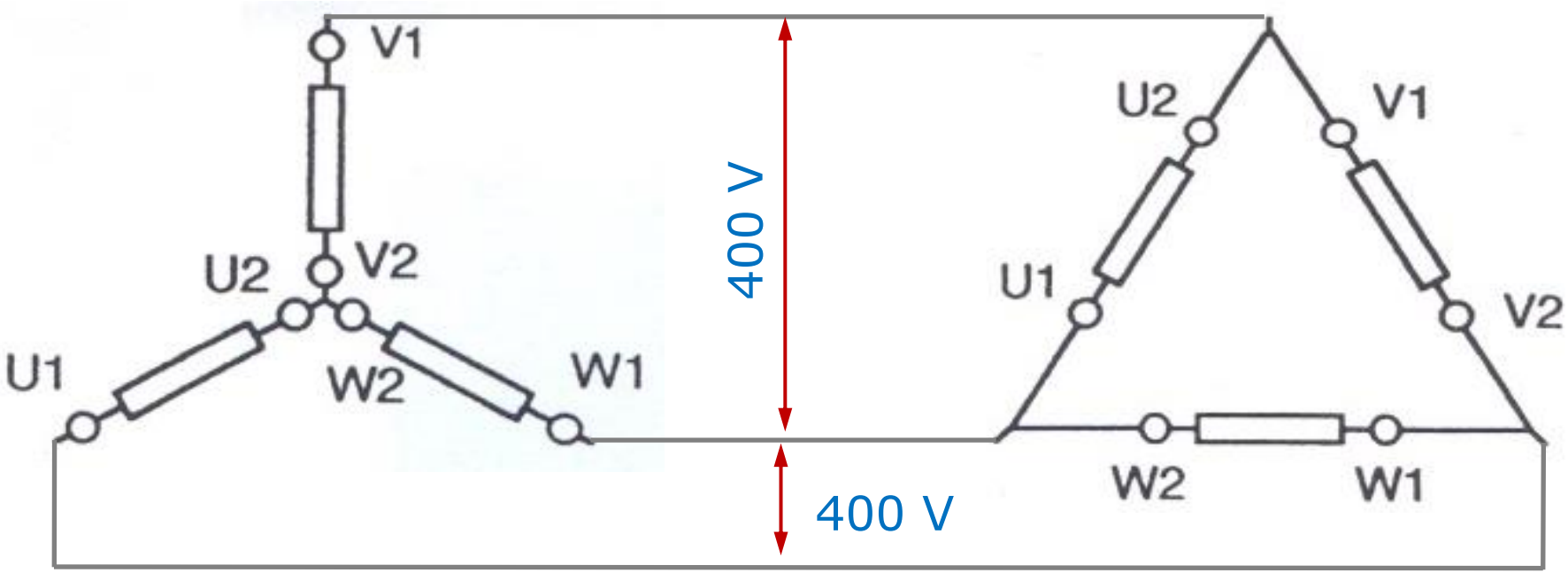
Motorwicklungen Stern/Dreieck – Spannungen und Ströme



KM 1	Main contactor
KM 2	Delta contactor
KM 3	Star contactor
FR 1	Overload relay



Motorwicklungen Stern/Dreieck – Anlauf

Anlauf in zwei Phasen: Motor 400/ 690 V – Stromnetz 400 V

Phase 1: reduzierte Spannung Phase 2 : hohe Spannung