

Grundlagen der Strömungsmaschinen und Windturbinen

8. Pumpenbauarten, Sonderbauarten

Lehrstuhl Strömungsmaschinen

Gliederung der Vorlesung

1. Einführung, Einteilung, Historische Entwicklung, Aufbau und Wirkungsweise
2. Strömungsmechanische Grundlagen
3. Energieübertragung am Rotor, Ableitung der Euler'schen Turbomaschinengleichung
4. Ähnlichkeitsmechanik
5. Bestimmung der Hauptabmessungen, Entwurfsschritte, Verluste
6. Kavitation
7. Strömungsmaschine im System, Kennlinien, Regelung
8. **Pumpenbauarten, Sonderbauarten**
9. Strömungswandler
10. Voith-Schneider-Propeller, Gezeitenturbine, Wells-Turbine
11. Windturbinen – Einführung, Aufbau
12. Windturbinen – Entwurf
13. Dampfturbinen
14. Wasserturbinen

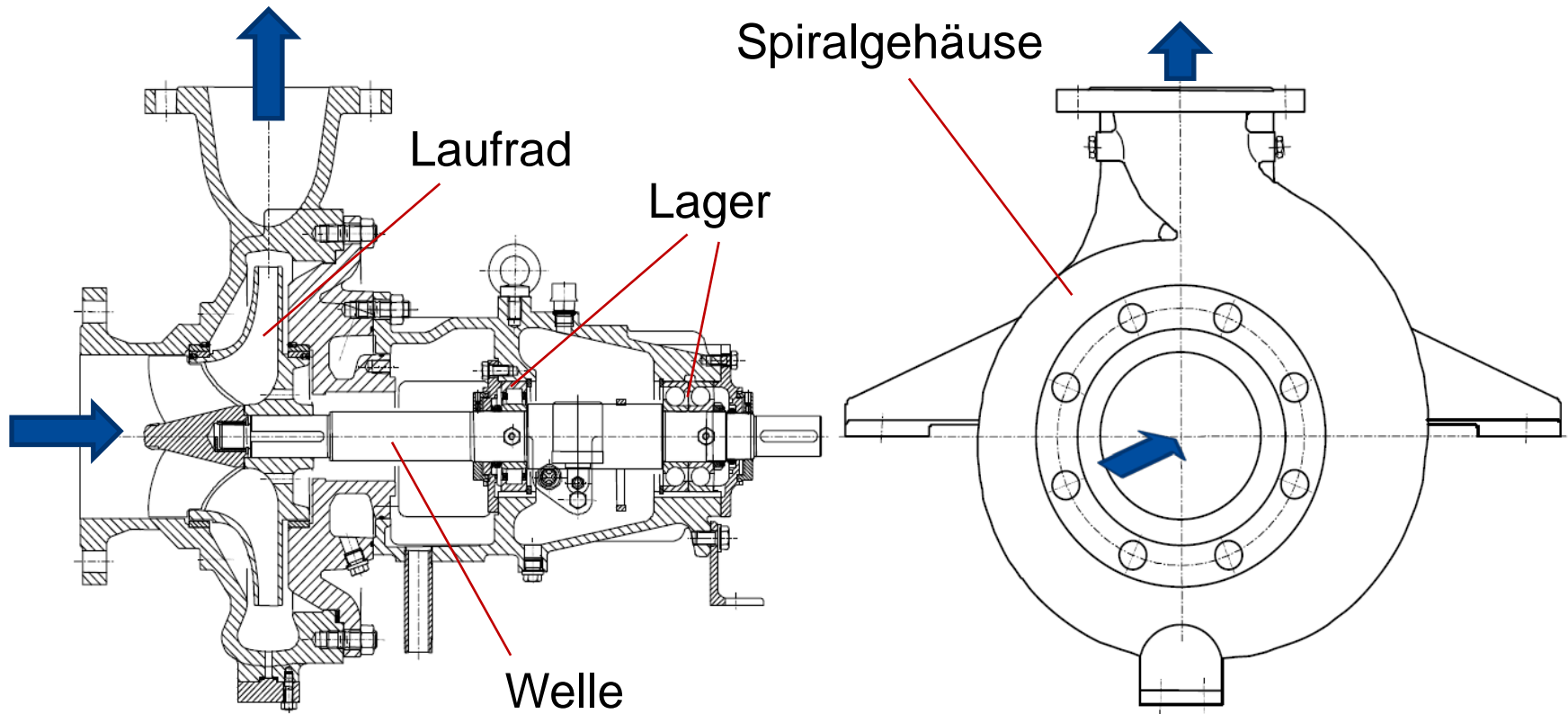
8.1 Wirkungsweise und Aufbau einer Pumpe

Kreiselpumpen sind Strömungsmaschinen zum Fördern von Flüssigkeiten.

Hauptkomponenten:

- Laufrad
- Pumpengehäuse
- Lager
- fliegend gelagerte Pumpenwelle
- Sammel- und Rückföhreinrichtungen (Spiralen, Rückföhrrkanäle)

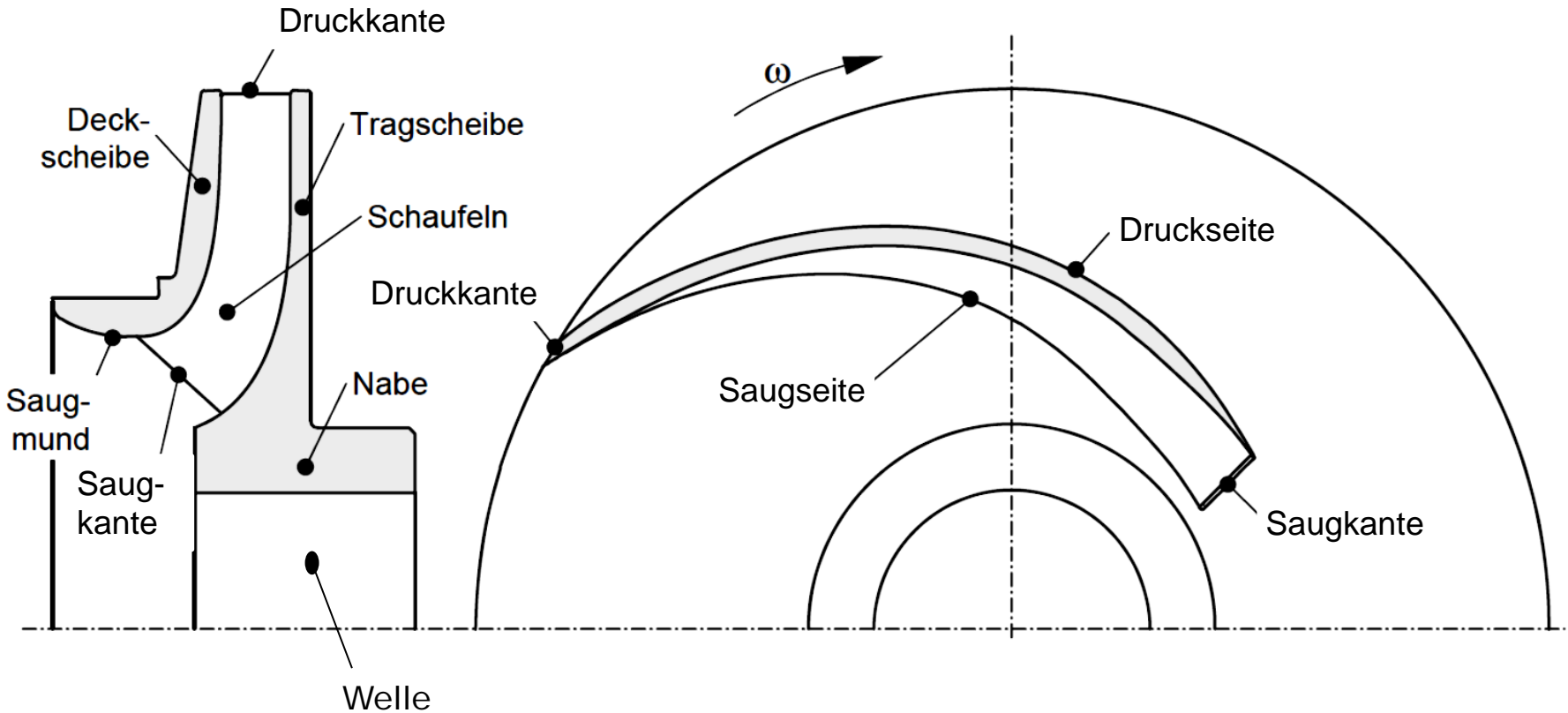
Aufbau und Wirkungsweise



Einstufige Spiralgehäusepumpe mit Lagerträger, Sulzer Pumpen AG

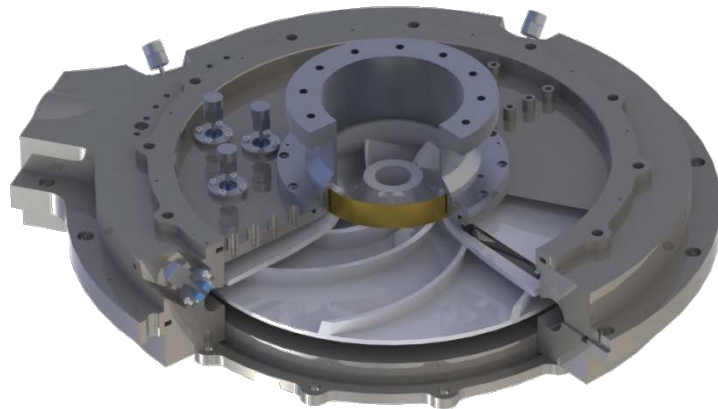
[Gülich: Kreiselpumpen]

Radiallaufrad

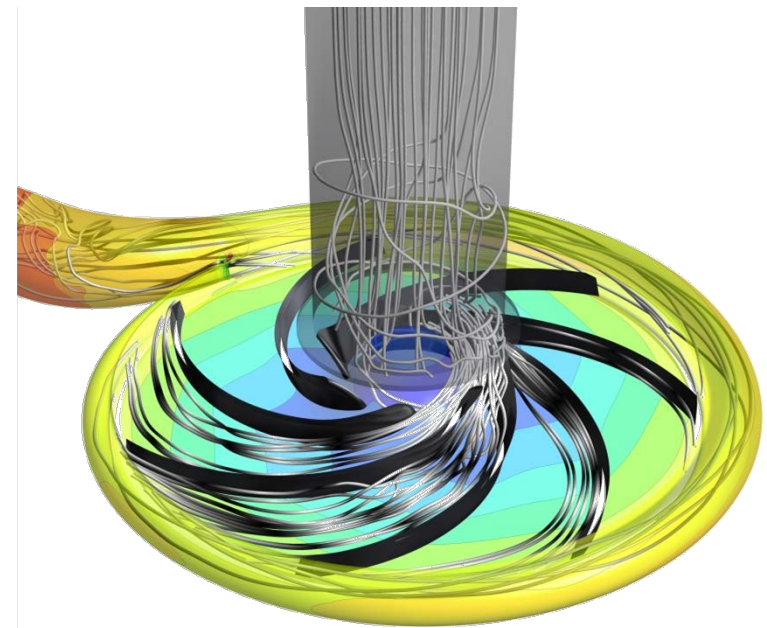


[Gülich: Kreiselpumpen]

Radiallaufrad



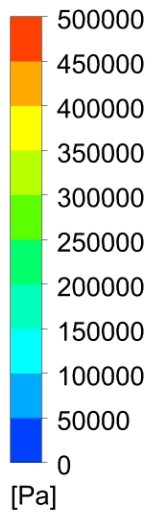
3D-Konstruktion einer Radialpumpe
(Versuchspumpe)



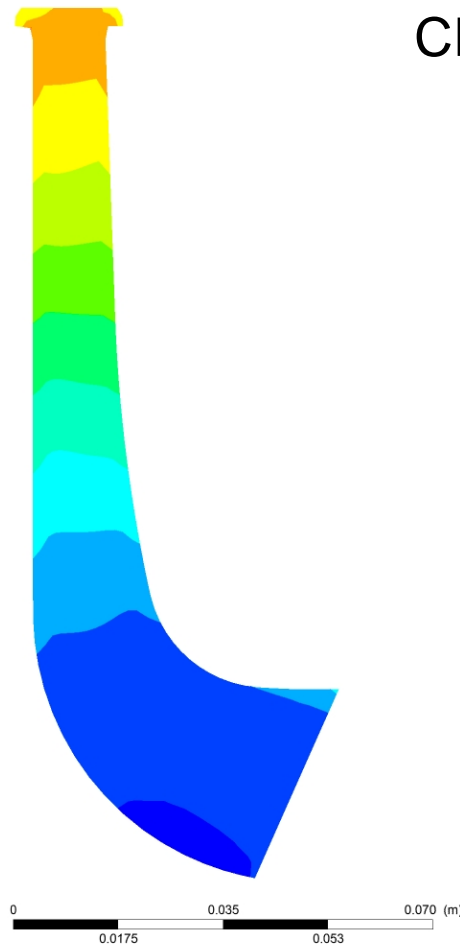
CFD-Ergebnisse (Stromlinien und
Druckaufbau)

Radiallaufrad (Meridianschnitt)

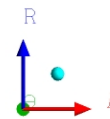
Totaldruck



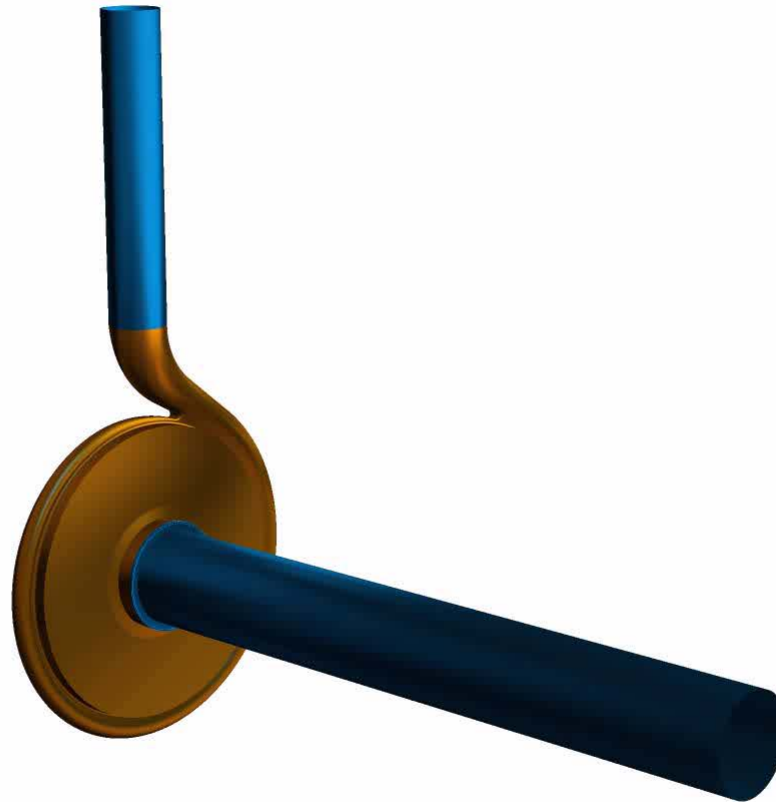
R=164,5 mm



CFD-Ergebnisse (Druckaufbau)

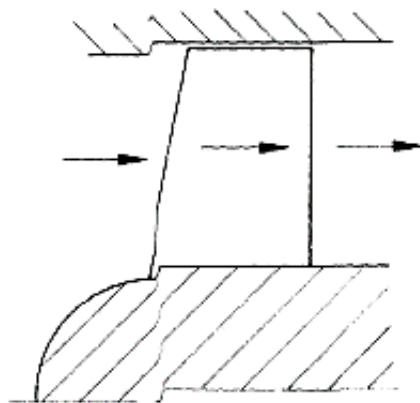


Lauftradströmung

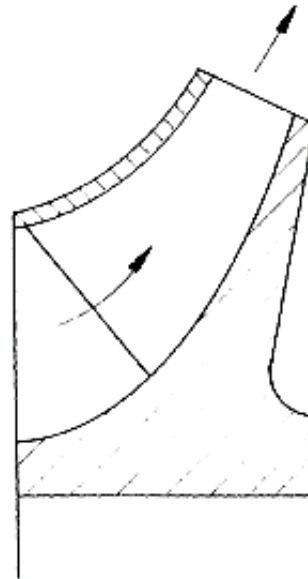


Laufradform:

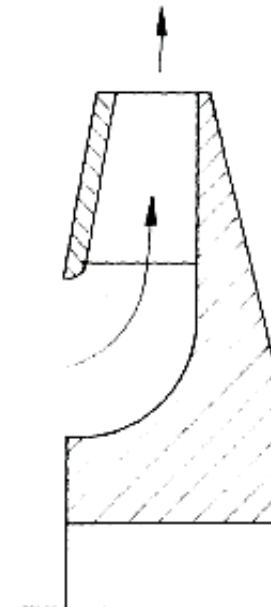
axial



diagonal

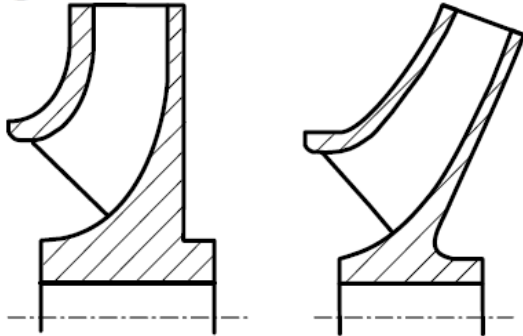


radial



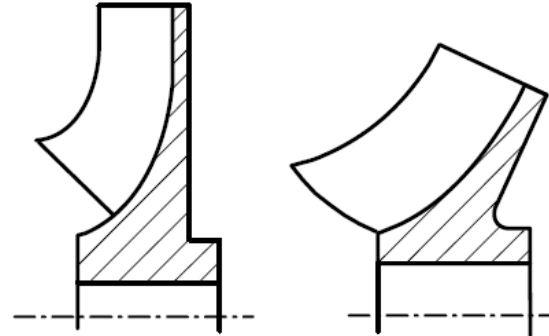
Laufradbauart:

geschlossen



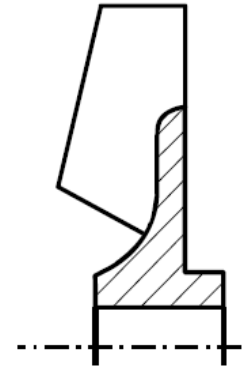
mit Deck- und
Tragscheibe

halboffen



ohne Deckscheibe
mit Tragscheibe

offen

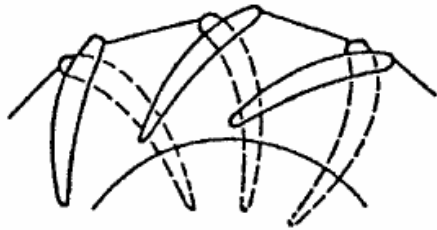
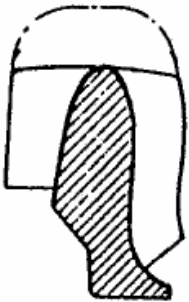


ohne Deckscheibe
Tragscheibe nur
teilweise

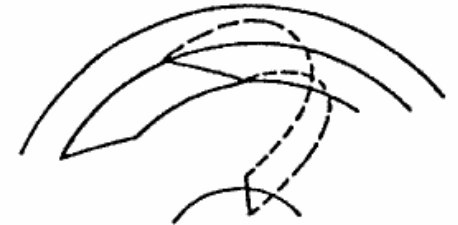
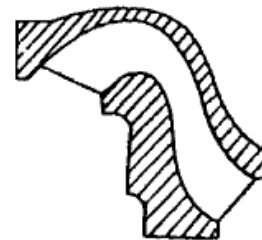
[Gülich: Kreiselpumpen]

Leitradbauart:

radial



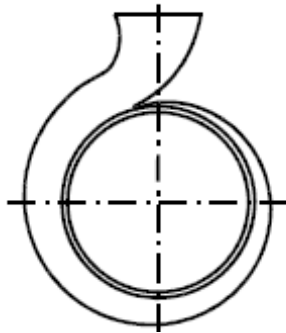
halbaxial



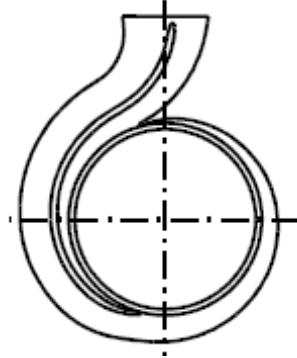
[Gülich: Kreiselpumpen]

Gehäuseform:

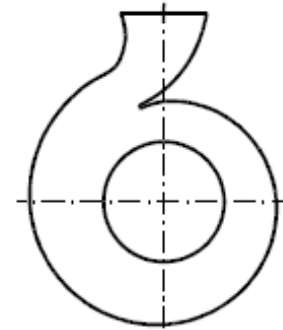
Einfach-
spirale



Doppel-
spirale

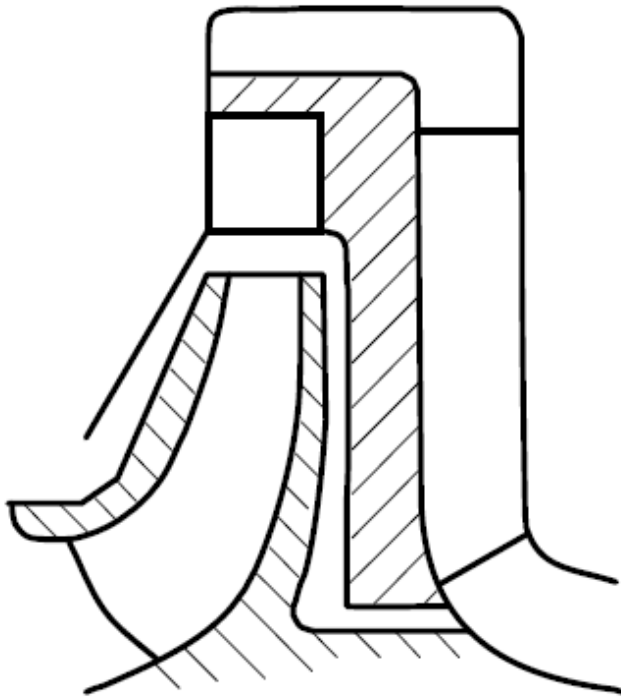


Ringraum + Spirale

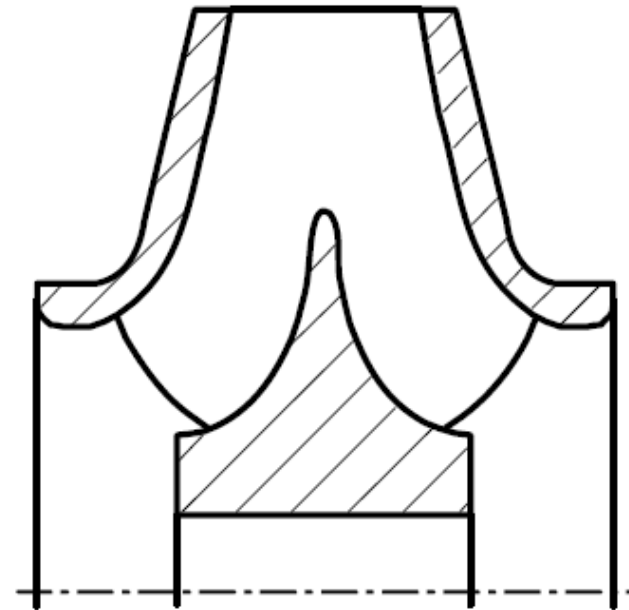


[Gülich: Kreiselpumpen]

Mehrstufige Radialpumpen (Reihenschaltung)



Mehrflutige Radialpumpen (Parallelschaltung)



[Gülich: Kreiselpumpen]

Aufbau und Wirkungsweise

Leistung und Wirkungsgrad einer Pumpe

Förderleistung:
$$P_U = \rho Y Q = \rho g H Q$$

Pumpenwirkungsgrad:
$$\eta = \frac{P_U}{P} = \frac{\rho g H Q}{P}$$

P...Kupplungsleistung

8.2 Pumpentypen und Anwendungen

Pumpentypen und Anwendungen

Der Transport von Flüssigkeiten mit Kreiselpumpen hat eine große technische und wirtschaftliche Bedeutung.

Die Förderaufgabe wird charakterisiert durch:

- Förderstrom Q
- Förderhöhe H
- Drehzahl n

Die spez. Drehzahl stellt eine Beziehung über diese Parameter her und ist somit kennzeichnend für Laufradtyp und Bauart der Pumpe:

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} Q \dots \text{Volumenstrom je Flut} \\ H \dots \text{Förderhöhe pro Stufe} \end{array}$$

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}}$$

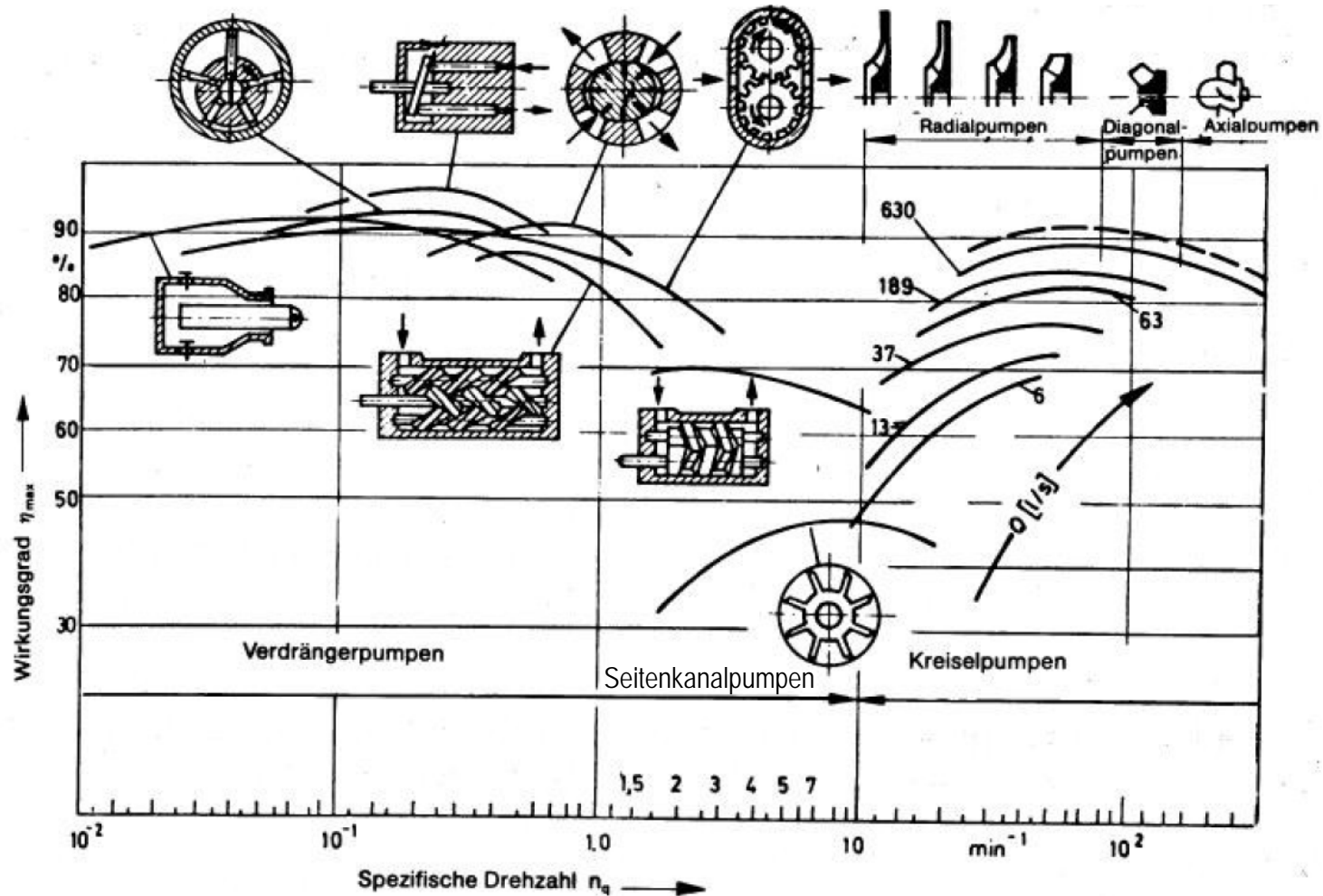
- kleine Förderströme und große Drücke \rightarrow kleines n_q
 - aber untere wirtschaftliche Grenze durch starken Wirkungsabfall für $n_q < 20$
 - Kleinpumpen: $n_{q,min} = 5 \dots 8$
 - größere Pumpen: $n_{q,min} = 10 \dots 15$
 - wird Grenze unterschritten \rightarrow mehrstufige Pumpen, Reihenschaltung

Pumpentypen und Anwendungen

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}}$$

- große Volumenströme und kleine Drücke \rightarrow hohes n_q
 - obere wirtschaftliche Grenze bei etwa $n_q = 350 \dots 400$
 - Bauaufwand nimmt zu
 - hydraulische Verluste nehmen stark zu
 - Kleinpumpen: $n_q = 5 \dots 8$
 - größere Pumpen: $n_q = 10 \dots 15$
 - wird Grenze überschritten \rightarrow mehrflutige Pumpen, Parallelschaltung

Wirkungsgrad und Bauform in Abhängigkeit der spezifischen Drehzahl



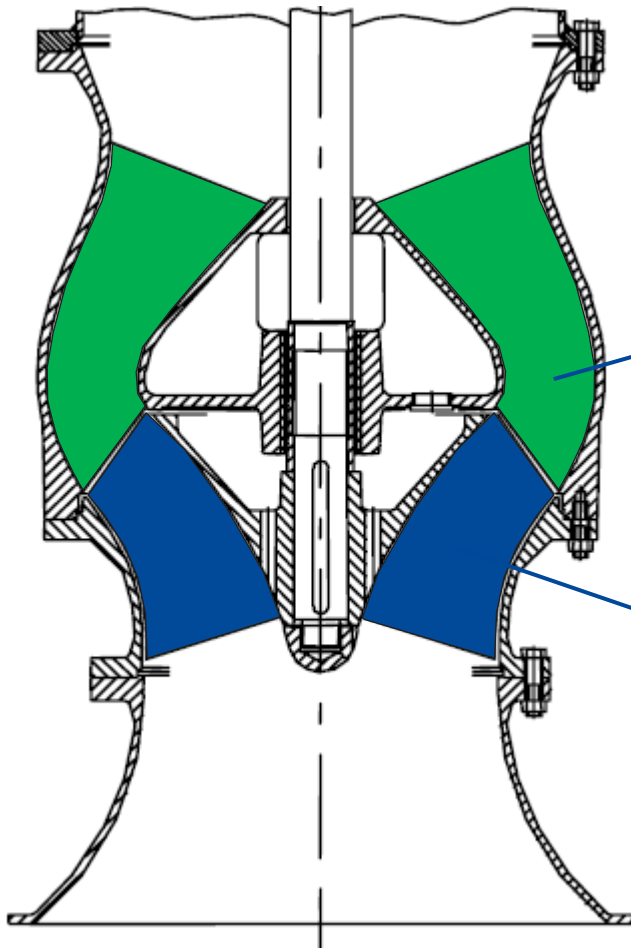
Pumpentypen und Anwendungen

Typ / Anwendung	Typ. Bauarten	Leistung P [kW]	Anforderungen / Bemerkungen
Normpumpen	einstufig, radial	2 - 200	Niedrige Anschaffungskosten
Prozesspumpen in der Verfahrenstechnik	einstufig radial	10 - 300	hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer
	mehrstufig radial oder halbaxial	50 - 1000	Dichtheit, Explosionsschutz, Sicherheit
Kühlwasserpumpen in Großkraftwerken	einstufig radial oder halbaxial	500 - 3000	
Kesselspeisepumpen	mehrstufig radial	100 - 2000	Industriekraftwerke
Kesselspeisepumpen in Großkraftwerken		5000 - 45000	hohtourig, mit Vorpumpe
Injektions-/Pipeline-pumpen		1000 - 20000	Wasserinjektion zur Erhöhung der Erdölausbeute, überregionaler Wasser- o. Erdöltransport
Pumpturbinen	radial, halbaxial	bis 500000	mit Motorgenerator

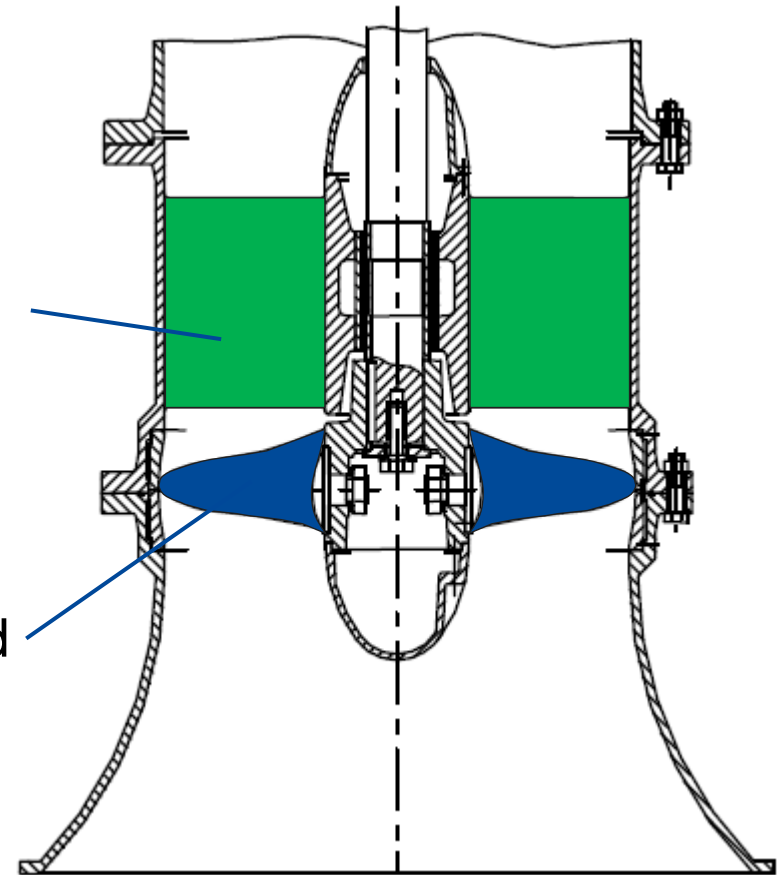
Pumpentypen und Anwendungen

Typ / Anwendung	Typ. Bauarten	Leistung P [kW]	Anforderungen / Bemerkungen
Abwasserpumpen	alle	10 - 1000	große Kanalquerschnitte, wenig Schaufeln, unempfindlich gegen Verstopfungen
Pumpen ohne Wellendichtung	einstufig radial	5 - 250	gefährliche Stoffe (leckfreie Pumpen) mit Spaltrohrmotor oder Magnetkupplung
Feststoffpumpen für Kohle, Kies, Sand	einstufig radial	50 - 2000	Mitfördern großer Steine u. Fremdkörper, Schutz gegen abrasiven Verschleiß
Raketentechnik	radial, halbaxial	1000	extreme Umfangsgeschw., kurze Lebensdauer, Antrieb über Turbine
Lebensmitteltechnik	alle	1 - 50	extreme Reinheit, kein Eindringen von Schmiermitteln, Schonung des Fördermediums

halbaxiale Pumpe



Axialpumpe

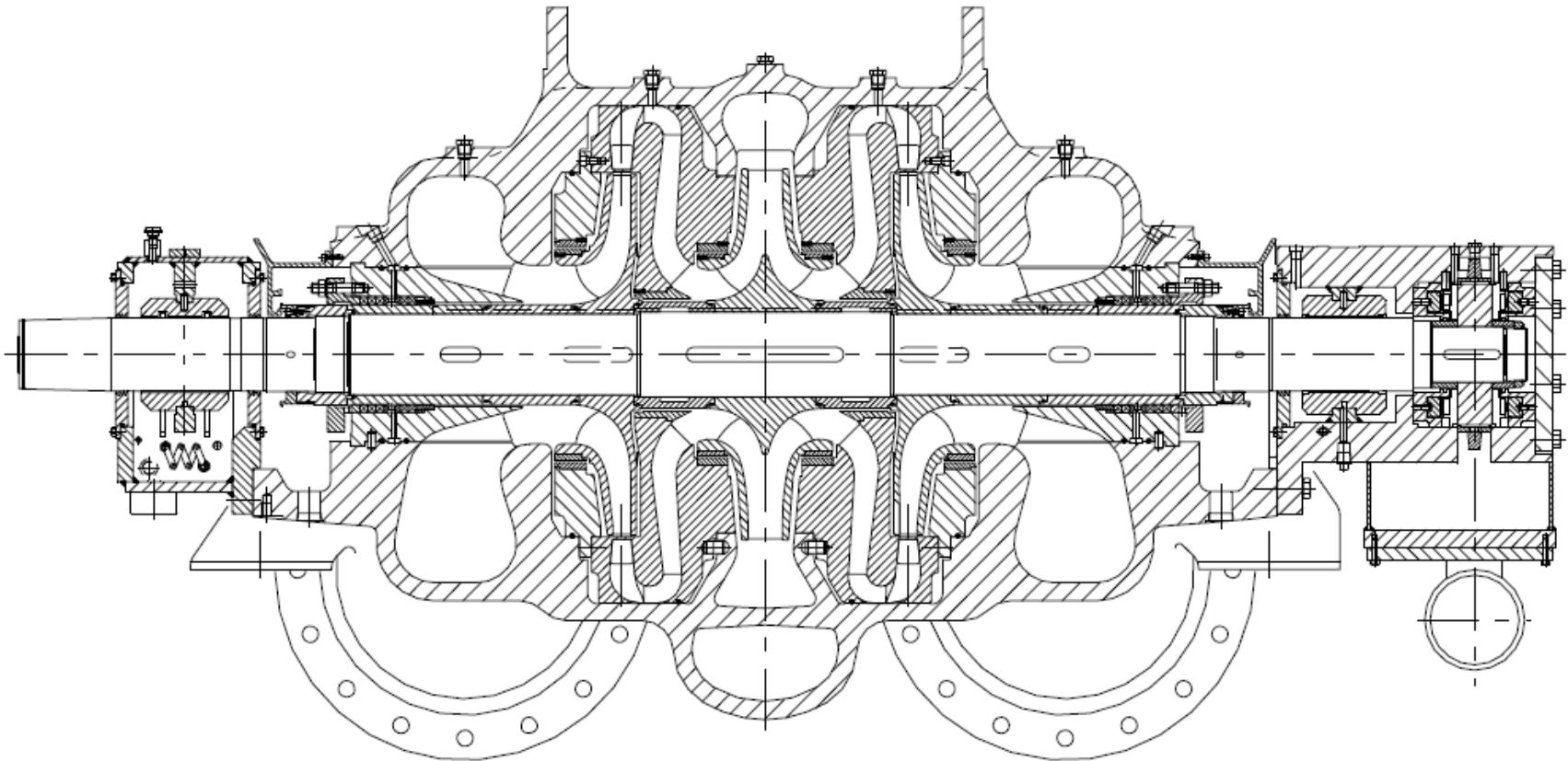


Leitrad

Laufblad

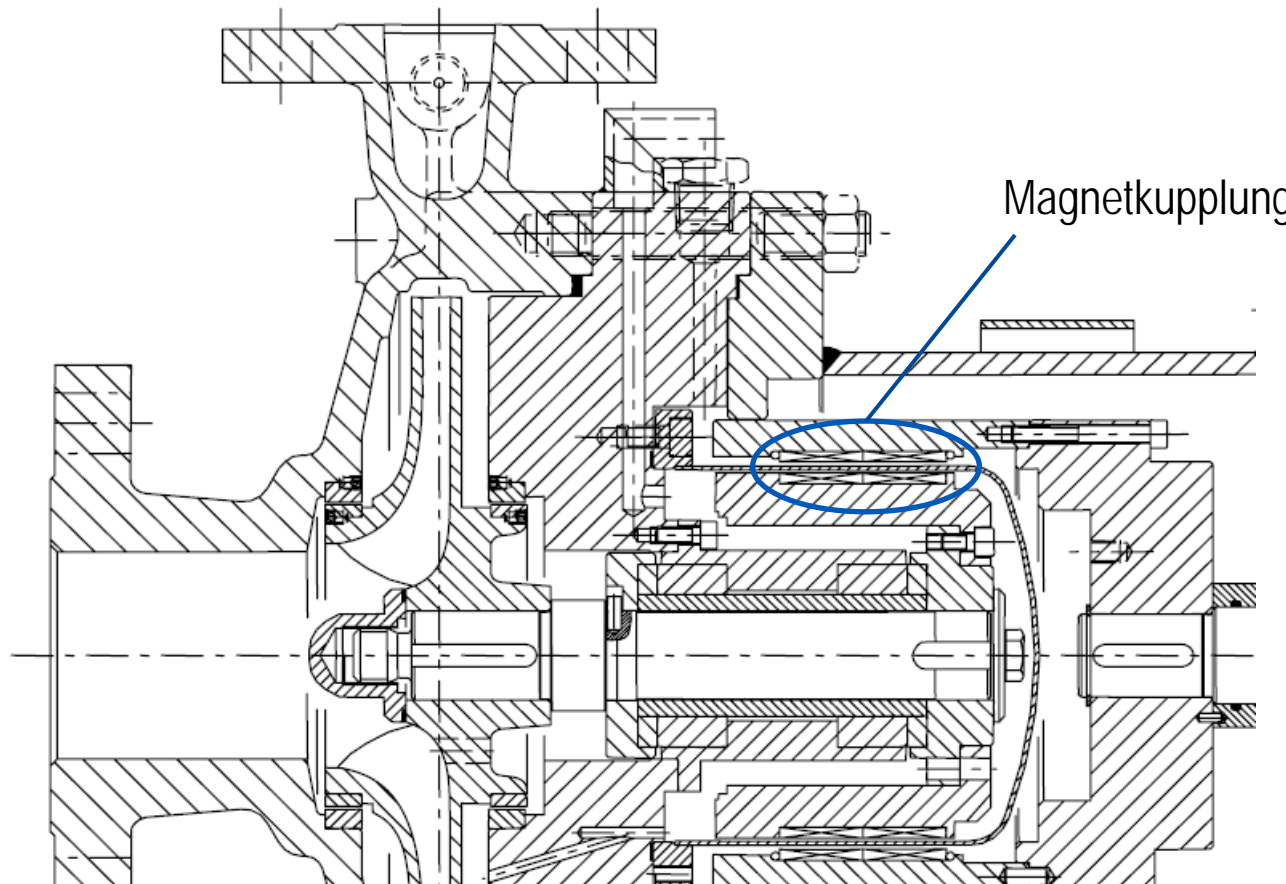
[Gülich: Kreiselpumpen]

Zweistufige, doppelflutige Wassertransportpumpe, $Q_{\text{opt}}=1,7 \text{ m}^3/\text{s}$,
 $H_{\text{opt}}=465 \text{ m}$ bei $n=1490 \text{ min}^{-1}$ (Sulzer Pumpen AG)



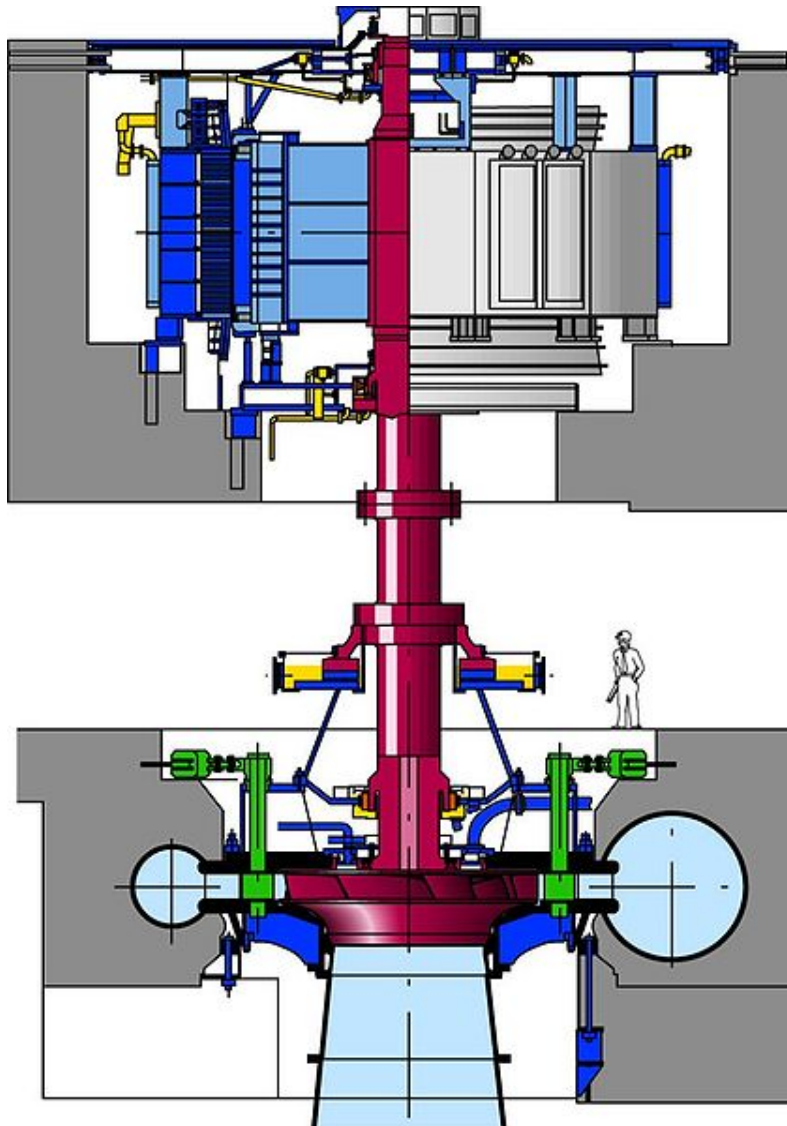
[Gülich: Kreiselpumpen]

Hermetisch dichte Prozesspumpe mit Magnetkupplung (Sulzer Pumpen AG)



[Gülich: Kreiselpumpen]

Pumpentypen und Anwendungen



Francis-Pumpenturbine für das
Goldisthal-Pumpspeicherwerk,
Deutschland

Leistung: 265 W

Fallhöhe: 301,65 m

Anzahl: 4

Laufraddurchm.: 4,59 m

[wikimedia: Voith-Siemens]

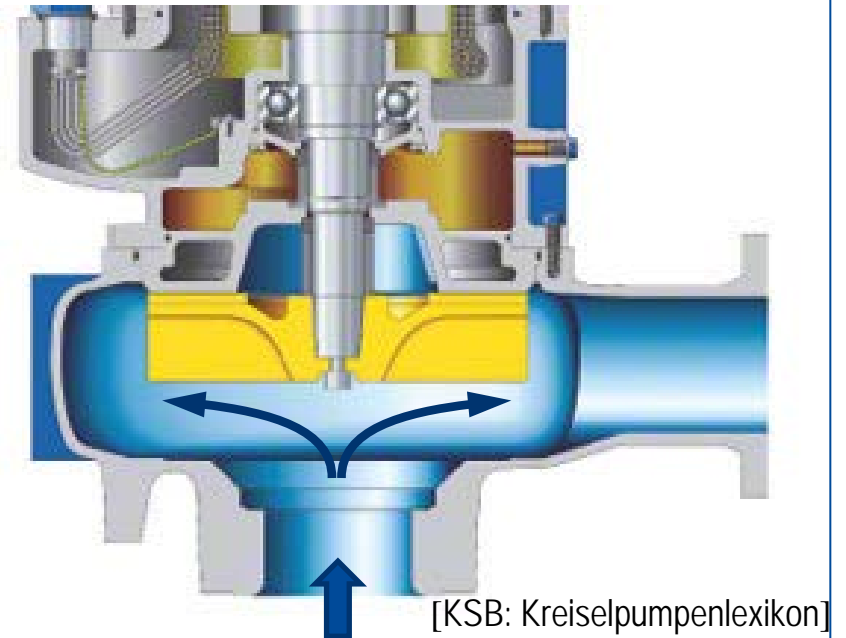
8.3 Sonderbauarten

Übersicht

Pumpentyp	n_q	$H_{st,opt}$	η_{opt}
Peripheralpumpe	0,5 – 4	400 m	30 – 35 %
Seitenkanalpumpe	2 – 11	250 m	34 – 47 %
Reibungspumpe	1 – 10		25 – 35 %
Wasserringpumpen			
Freistrompumpen			
(Wasserstrahlpumpe)			

Freistrompumpe (Wirbelradpumpe)

- breiter Spalt zwischen Gehäusevorderwand und offenem Laufrad
- Strömungsweg fast frei
- Laufrad mit radialen Schaufeln
- Zirkulationsströmung infolge von Zentrifugalkräften → Aufbau eines zentrifugalen Druckfeldes
- Wirkungsgrad 30 % schlechter als bei üblichen Kreiselpumpen
- Vorteile:
 - Transport von festen, abrasiven und gasförmigen Beimengungen
 - Transport verletzlicher Produkte (Fische, Gemüse)

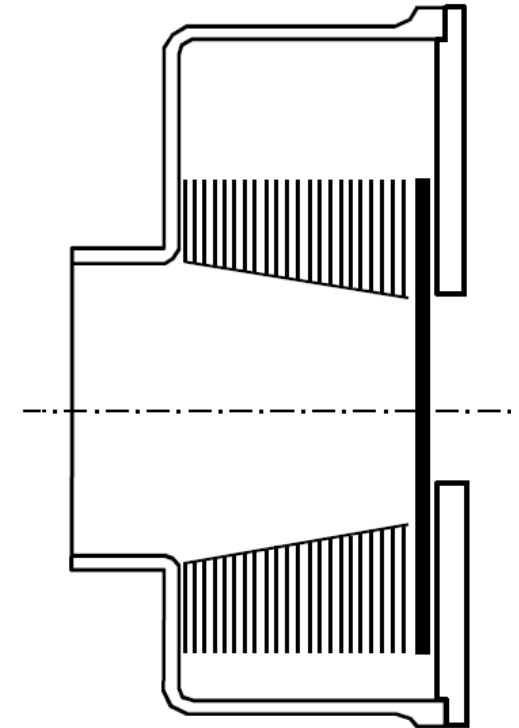


Reibungspumpe

- Laufrad aus eng nebeneinander stehenden, glatten Scheiben
- unmittelbar an den Scheiben haftet das Fluid und bewegt sich mit der Umfangsgeschwindigkeit
- Fluid wird mitgeschleppt, in Drehung versetzt und durch Zentrifugalkraft nach außen transportiert
- Druckzahl $\psi = 2$ (bei kleinen Durchfluss)

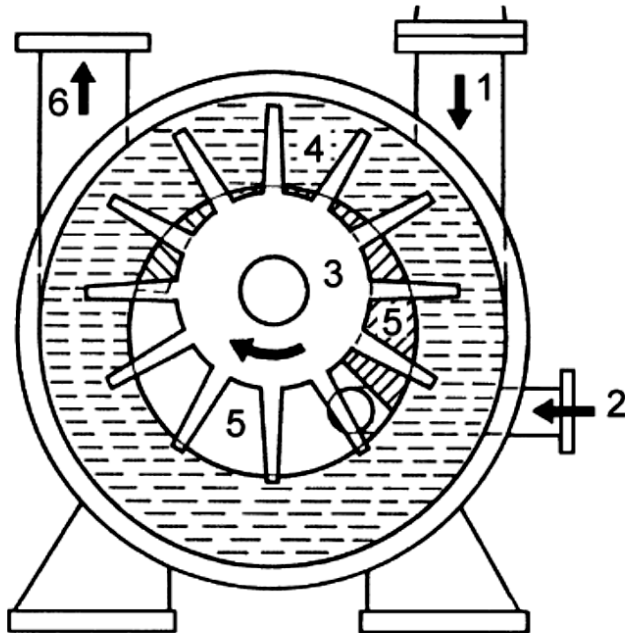
Vorteile:

- infolge glatter Strömung ohne Schaufeln schwingungs- und geräuscharm und wenig kavitationsanfällig
- relativ unempfindlich gegen Verschleiß durch Feststoffe



[Gülich: Kreiselpumpen]

Wasserringpumpe



Arbeitsprinzip der
Flüssigkeitsringpumpe

1 Gaseintritt, 2 Ringflüssigkeit,
3 Schaufelrad, 4 Ringflüssigkeit,
5 sichelförmiger Hohlraum,
6 Gas- und Ringflüssigkeitsaustritt

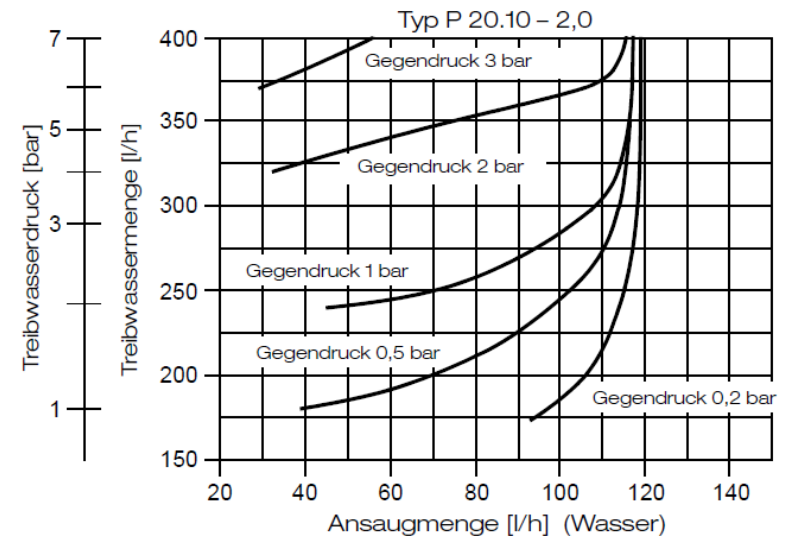
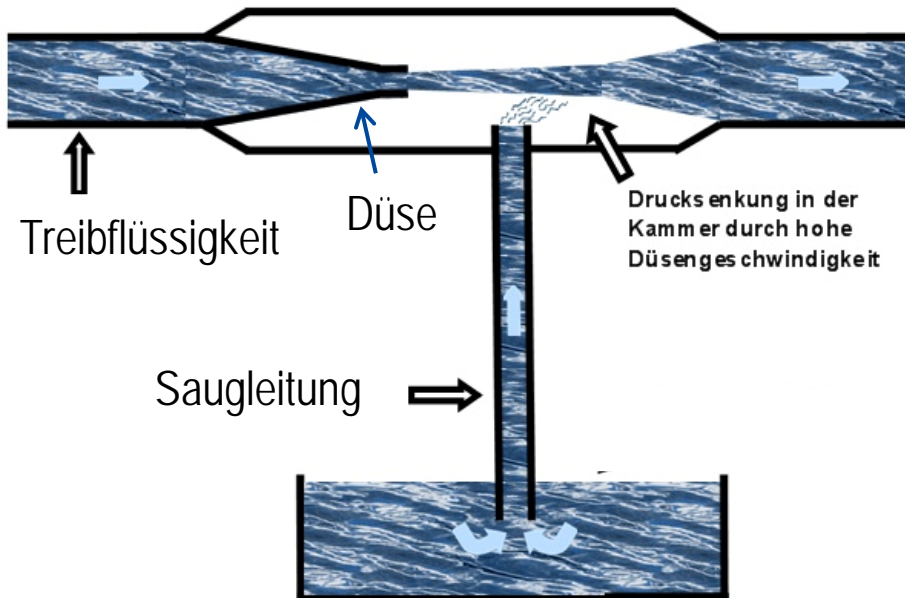
- exzentrisch gelagertes Flügelzellenrad (3)
- Bildung eines konzentrischen Wasserringes aufgrund der Zentrifugalkraft (4)
- über den Umfang veränderliche Volumen in den Zellen (5)
- Wasserring dichtet Spalt ab
- im Bereich der größten Zellen wird Gas angesaugt, verdichtet und über Schlitze in den Druckstutzen gefördert
- Wirkungsweise entspricht Verdrängermaschine

Vorteile:

- selbstansaugend, wenn genügend Flüssigkeit vorhanden
- Förderung gashaltiger Medien

[Gülich: Kreiselpumpen]

Wasserstrahlpumpe



Vorteile:

- einfacher Aufbau, einfache Wartung
- keine bewegten Teile, geringer Verschleiß
- sehr guter Mischeffekt
- Förderung abrasiver Medien (Sand, Schlamm)
- Gasförderung
- kein Antrieb, kein Stromanschluss

[wikipedia]

Ansaugverhalten von Kreiselpumpen

- Der Förderdruck ist proportional zur Fluidichte: $\Delta p = \rho \cdot Y$
 - ↳ Vom Laufrad aufbaubare Druckdifferenz bei Förderung von Luft anstatt Wasser:

$$\Delta p_{Lu} \approx \frac{\Delta p_{Wa}}{1000}$$

- ↳ Daraus ergibt sich für die Saughöhen:

$$\frac{H_{S,Lu}}{H_{S,Wa}} = \frac{\rho_{Lu}}{\rho_{Wa}} \approx \frac{1}{1000}$$

- Im Gegensatz zu Verdrängerpumpen können normale Kreiselpumpen bei entleerter Saugleitung nicht selbst ansaugen.

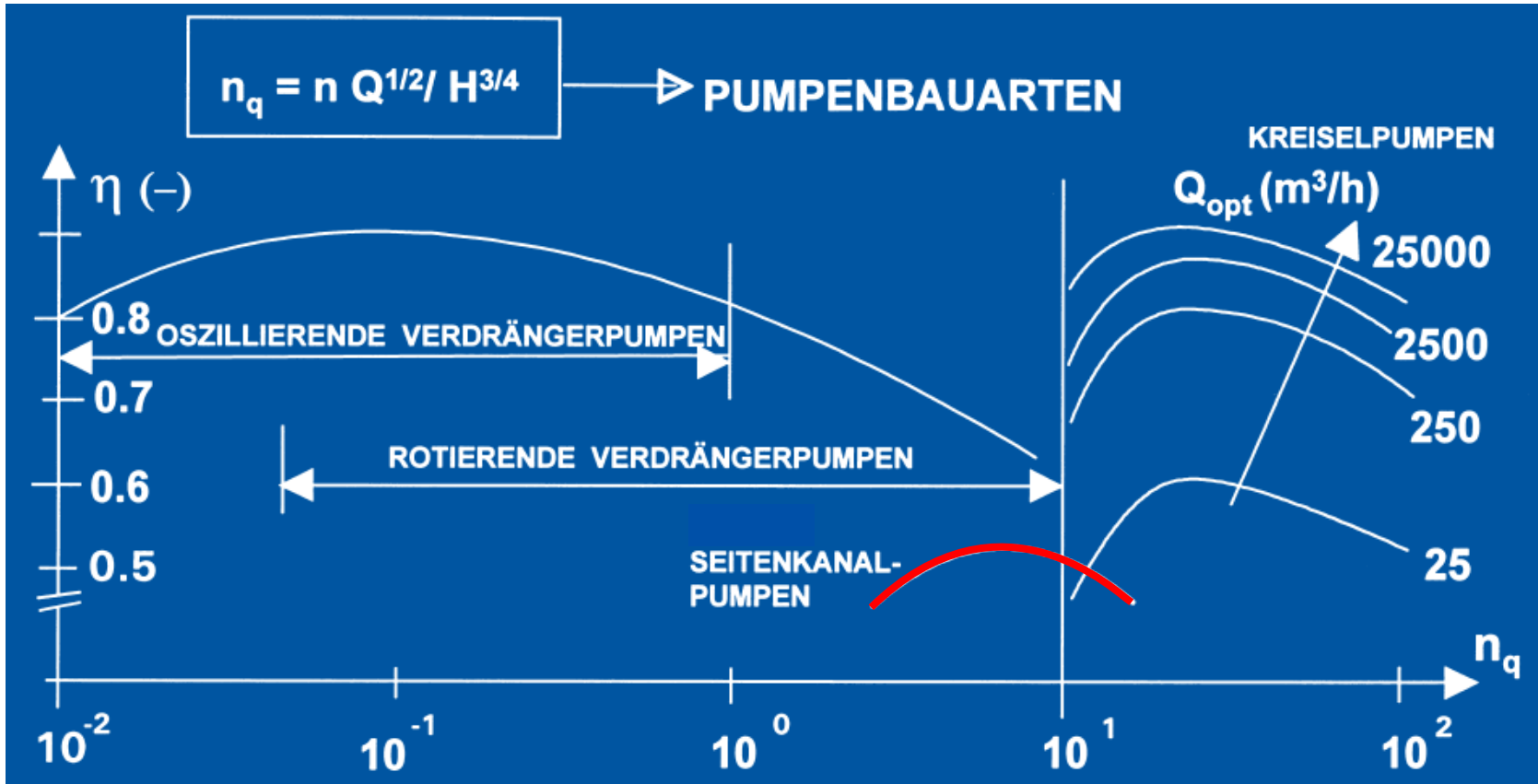
Ansaugverhalten von Kreiselpumpen

Damit Kreiselpumpen selbst ansaugen:

- Saugleitung mit Flüssigkeit füllen
- Verwendung von Tauchpumpen (Pumpe unterhalb des Wasserspiegels)
- Erhöhung der Pumpendrehzahl um das 30-fache (hohe Anforderungen an die Festigkeit)
- Spezielle Pumpenkonstruktion, sog. selbstsaugende Kreiselpumpen (z.B. Seitenkanalpumpe)

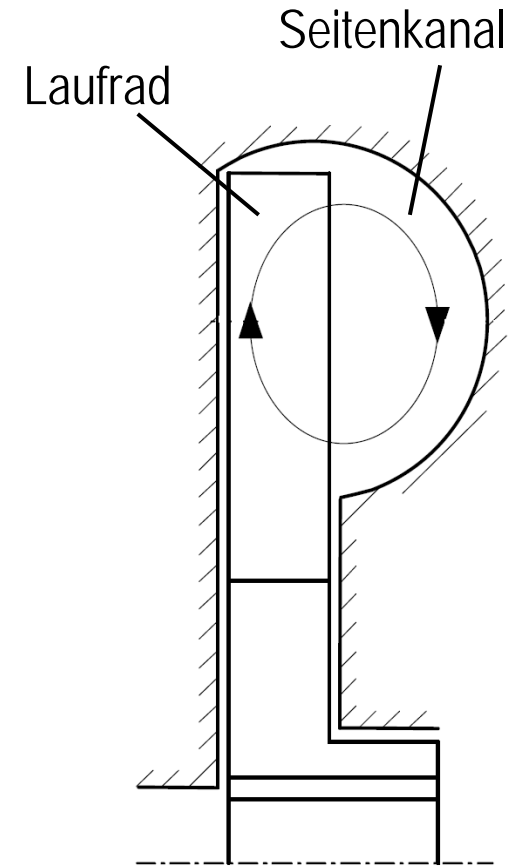
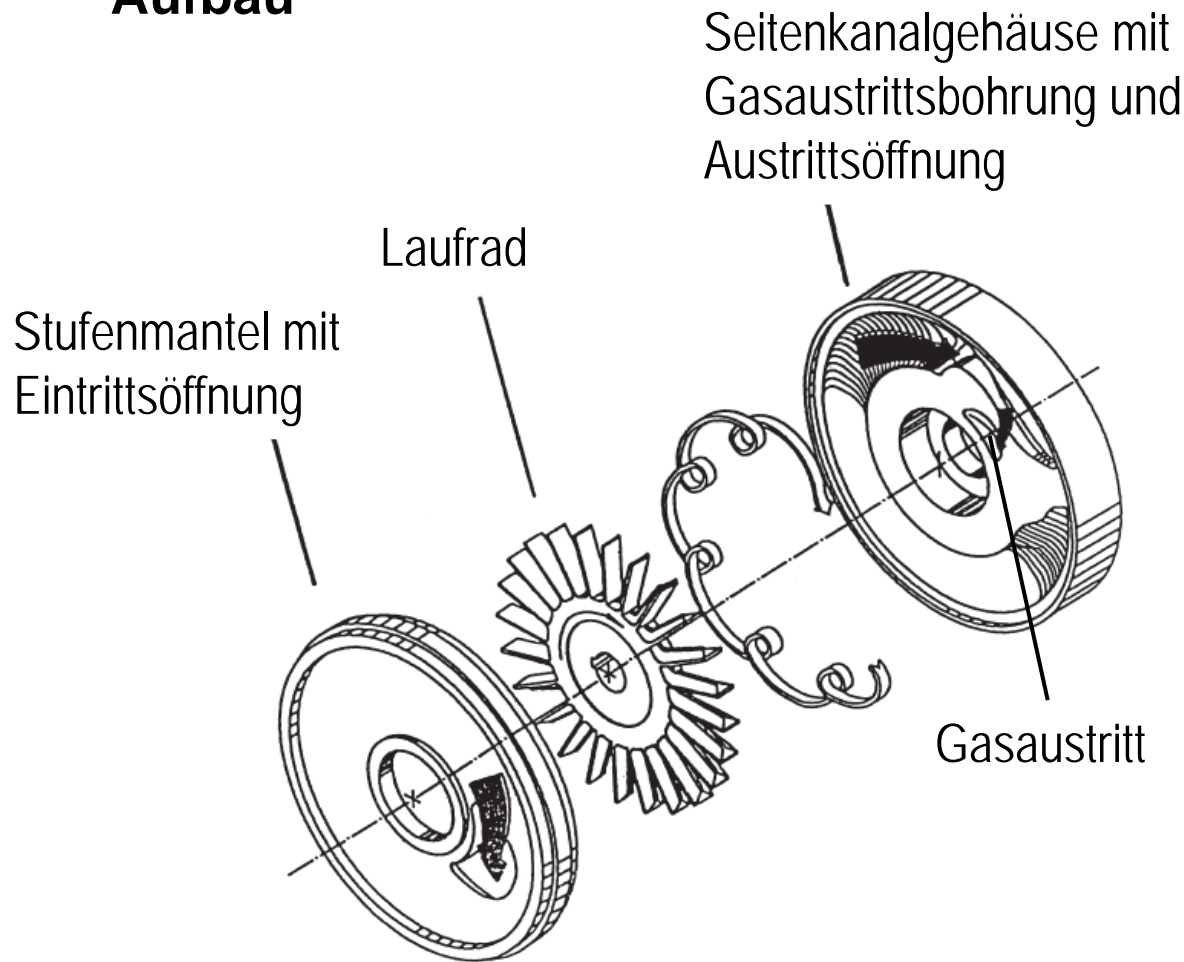
8.4 Sonderbauarten Seitenkanalpumpe

Einordnung



[SERO PumpSystems]

Aufbau



[SERO PumpSystems]

Seitenkanalpumpe

Vorteile:

- Selbstansaugend
- Gasförderung bis 50% Gasanteil
- mit vorgeschaltetem Radiallaufrad extrem niedrige $NPSH_R$ -Werte $< 0,5$ m

Nachteile:

- relativ geringer Wirkungsgrad (jedoch deutlich höher als vergleichbare Radialkreiselpumpen mit gleichem n_q)
- hohes Geräuschniveau
- empfindlich gegen Verschmutzung und Verschleiß wg. geringer Spalte

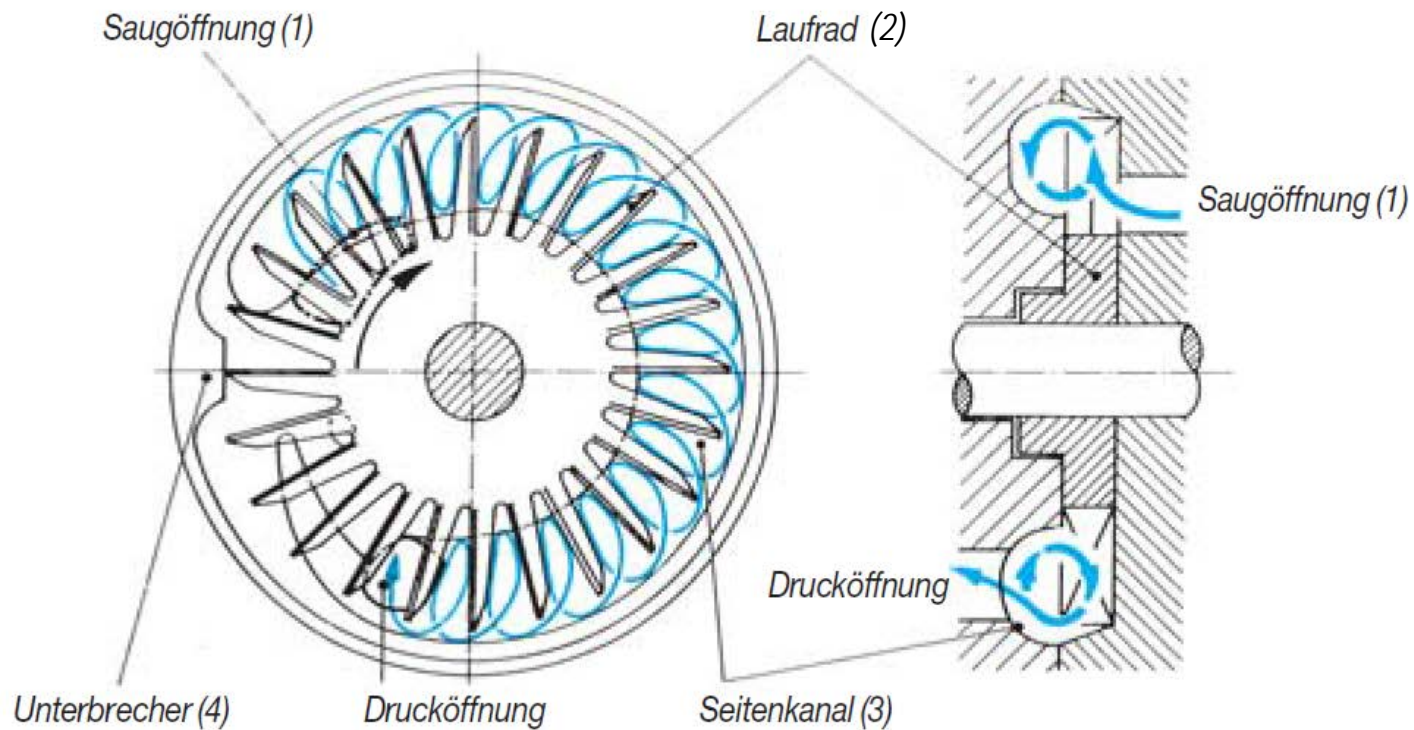
Seitenkanalpumpe

Anwendungen:

- hoher Druck bei kleinem Volumenstrom (niedriges n_q)
- Fördermengen bis 35 m³/h, Förderhöhen bis 350 m
- Kältemittelpumpen
- Förderung von leicht siedenden Medien (Flüssiggas)
- pharmazeutische Industrie
- Oberflächenveredlung- und härtung
- allgemeiner Apparatebau

Wirkungsweise

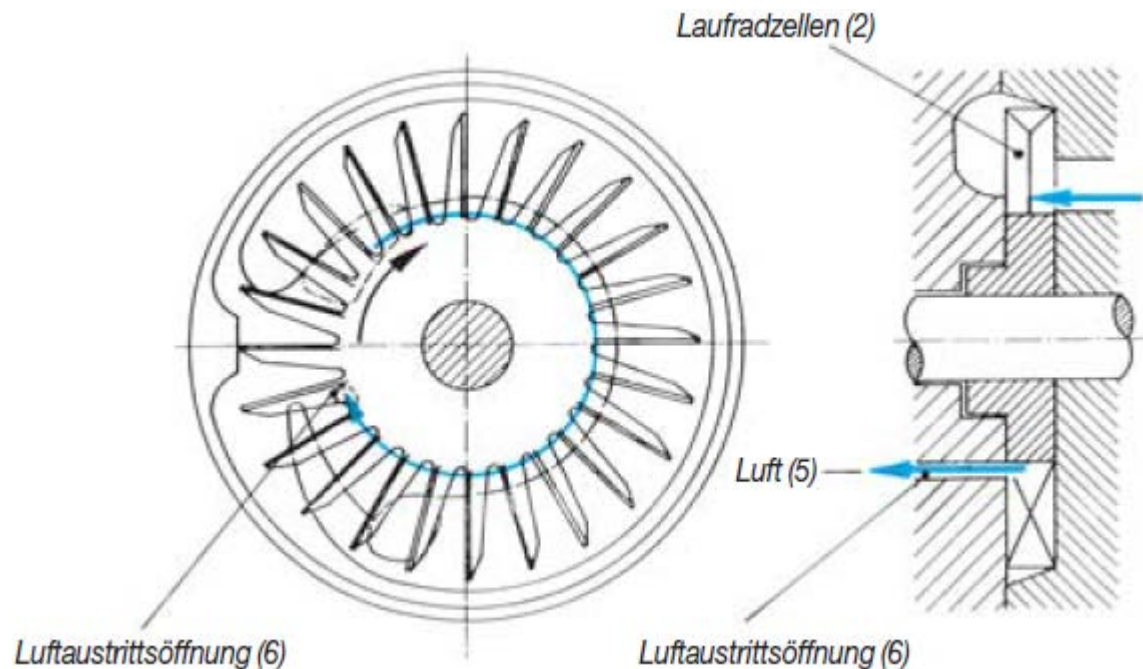
Strömungsverlauf der Flüssigkeit



Wirkungsweise (gemäß Zirkulations- bzw. Stromfadentheorie)

- Eintritt der Förderflüssigkeit bzw. Flüssigkeit-Gas-Gemisch durch Saugöffnung (1) in die Laufradzellen (2) und den Seitenkanal (3)
- Rotation des Laufrades erzeugt Zentrifugalwirkung auf das Fluid
- Fluidbewegung nach außen infolge Zentrifugalkraft
- Übergang in den Seitenkanal → Zirkulationsströmung zwischen Seitenkanal und Laufradzelle
- im weiteren Verlauf Wechselwirkung zw. Laufrad und Seitenkanal → periodischer Impulsaustausch zw. Fluid und Laufrad
- Fluidteilchen bewegt sich auf spiralförmiger Bahn durch die Seitenkanalstufe → intensive Energieübertragung (5- bis 10-fache Druckerhöhung gegenüber Kreiselpumpe mit gleicher Umfangsgeschw.)
- Zwischen Saug- und Drucköffnung befindet sich ein Unterbrecher (4), um die volumetrischen Verluste zu verringern

Mitförderung von Gasen



- Trennung von Gas und Flüssigkeit durch Zentrifugalwirkung des Laufrades
- Flüssigkeit sammelt sich im äußeren Laufzellenbereich, das Gas innen
- durch höheren Druck nahe der Drucköffnung wird das Gas durch eine separate Gasaustrittsöffnung (6) in die nächste Stufe bzw. Druckleitung befördert

[SERO PumpSystems]

Kennlinien

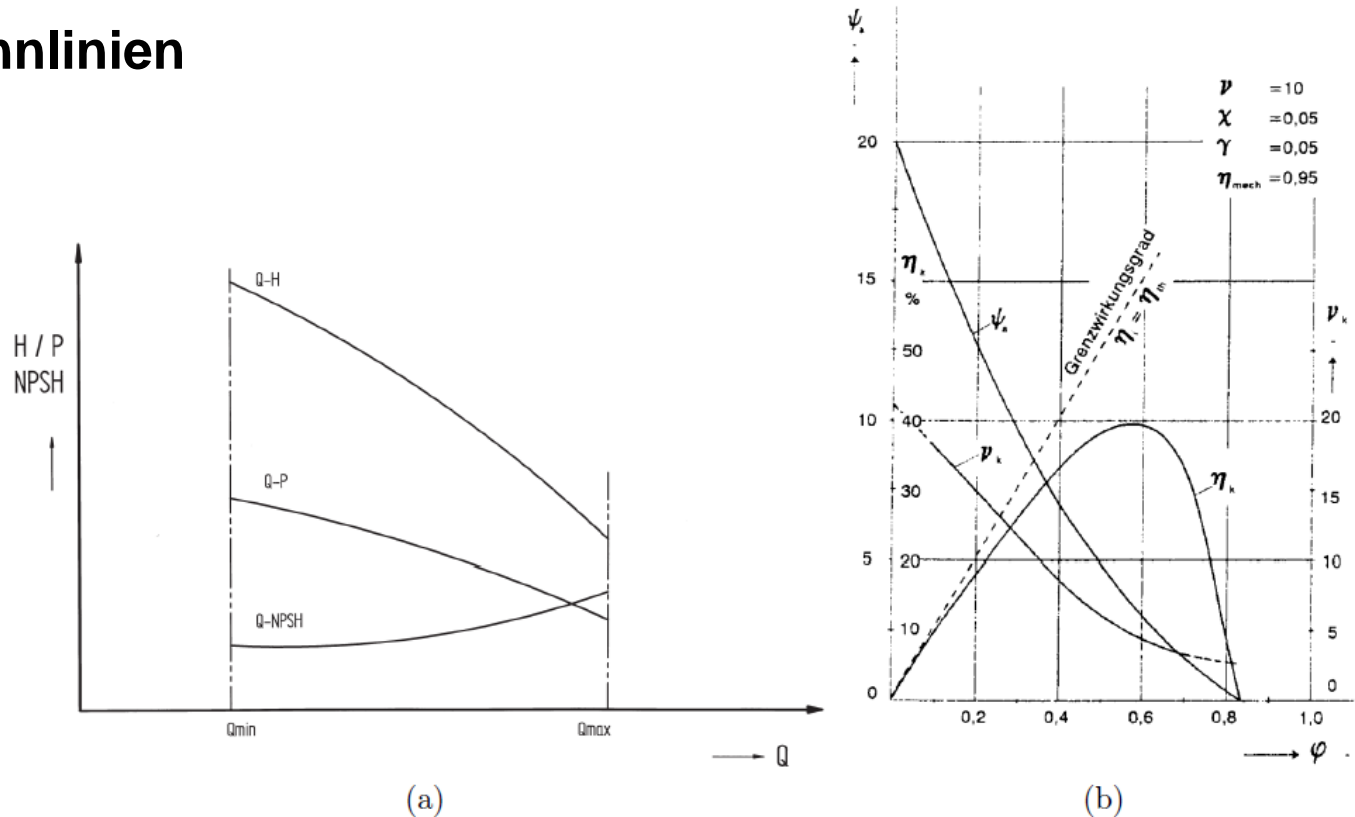
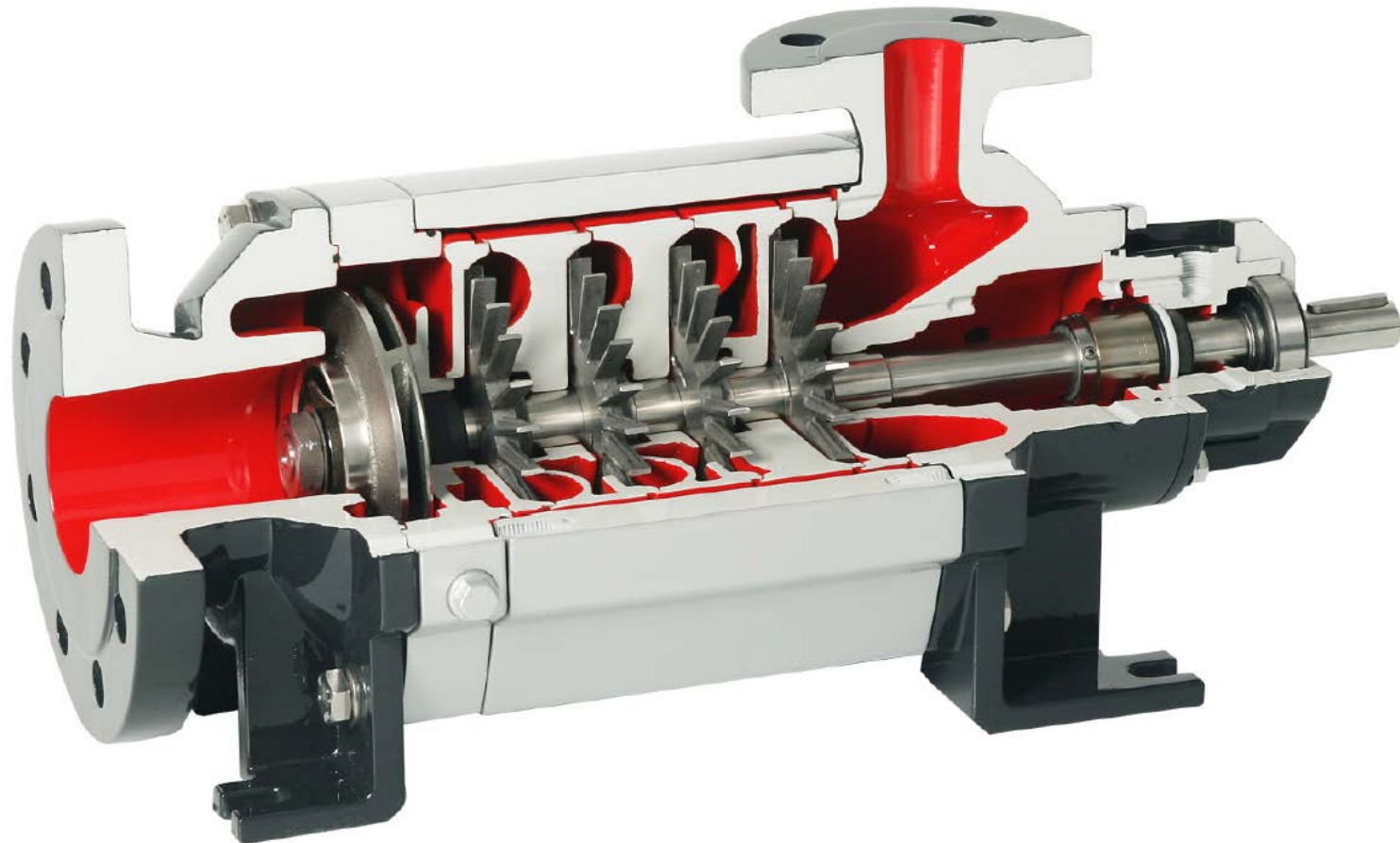


Abbildung 3.1: Allgemeine Darstellungen zum Kennlinienverhalten von Seitenkanalpumpen. (a) dimensionsbehaftete Kennlinien zur Förderhöhe, Leistung und NPSH-Wert als Funktion des Volumenstroms. Quelle: SERO PumpSystems [18]. (b) dimensionslose Kennlinien zur Druckzahl ψ , Leistungszahl ν_k und zum Kupplungswirkungsgrad als Funktion der Lieferzahl. Quelle: Grabow[9]

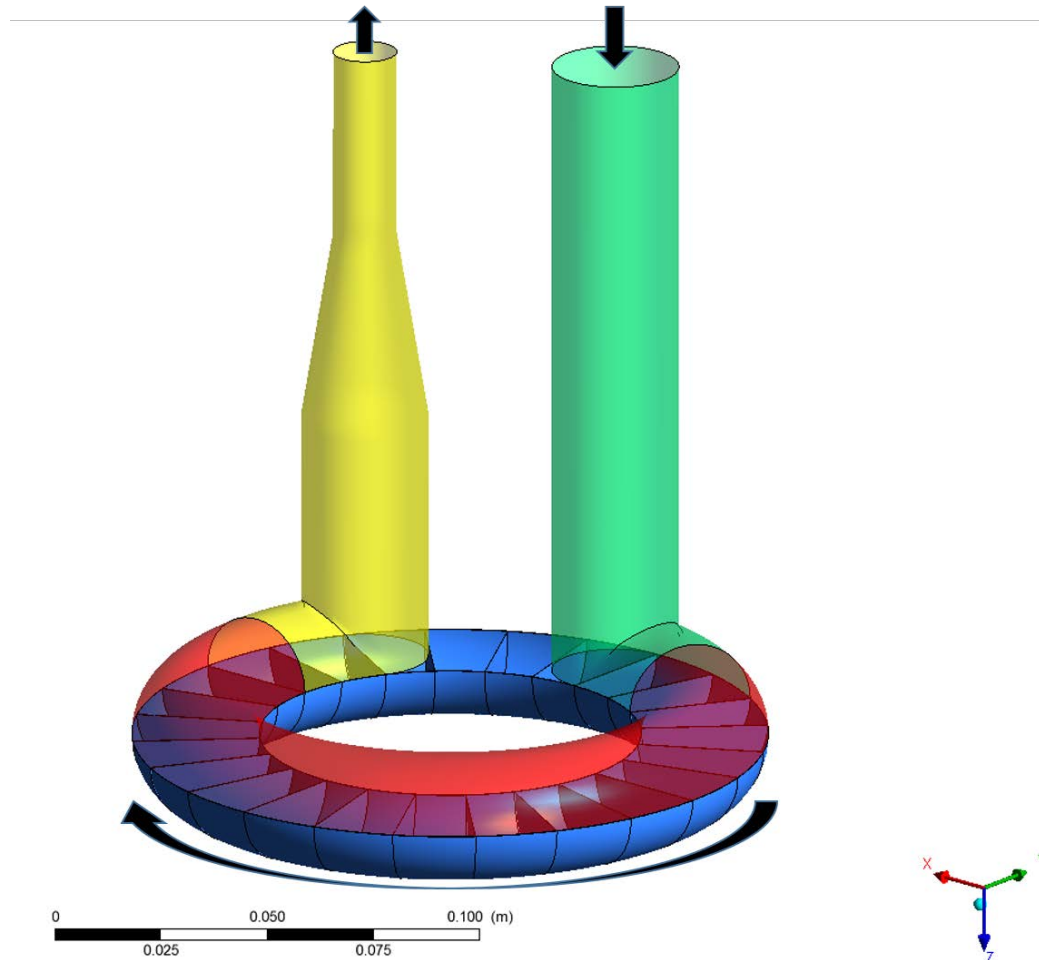
Seitenkanalpumpe



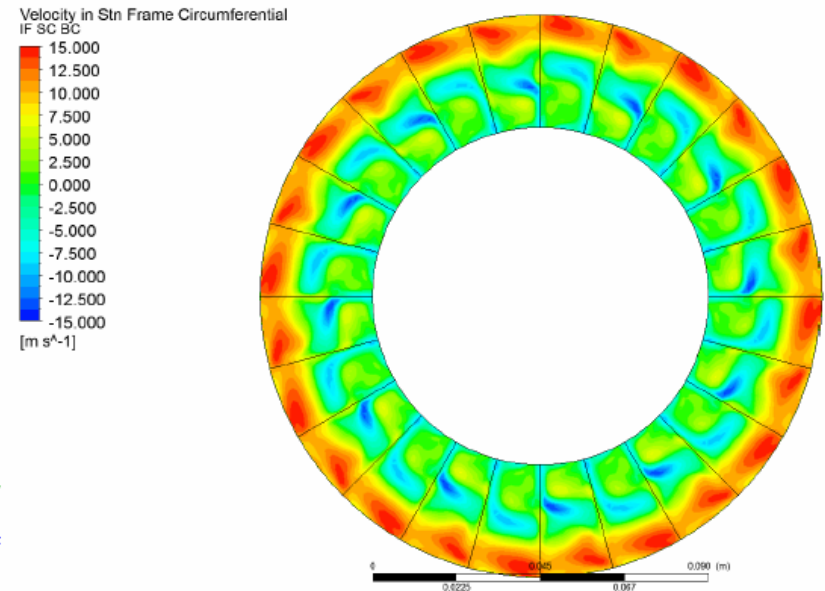
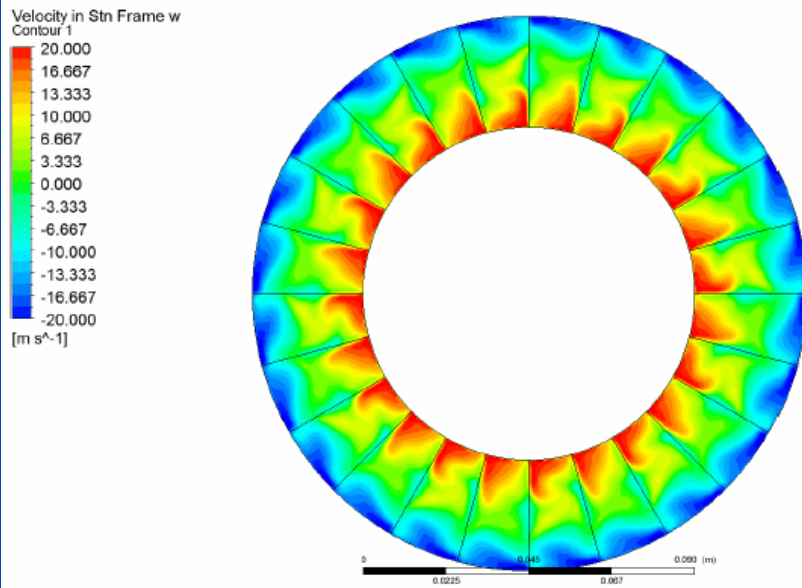
mehrstufige Seitenkanalpumpe mit einem vorgeschalteten Radiallaufrad

[Sterling SIHI GmbH]

numerische Simulation einer Seitenkanalpumpe, Geometrie



numerische Simulation einer Seitenkanalpumpe, Ergebnisse



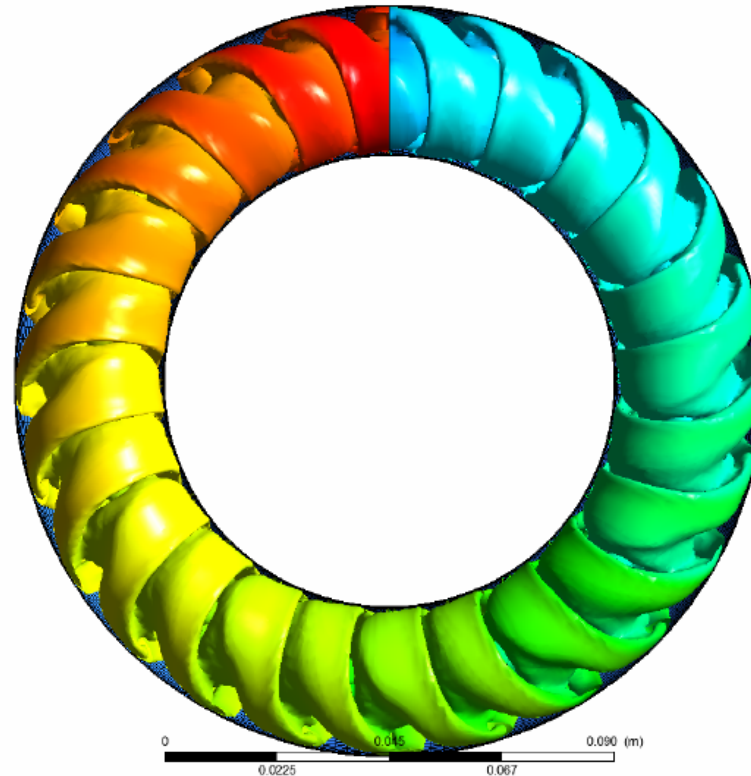
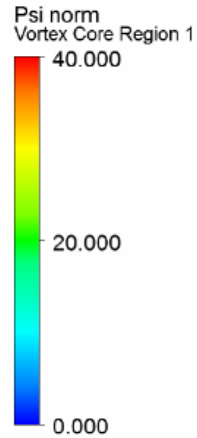
Axialgeschwindigkeiten

$$\text{bei } Q = 4 \frac{m^3}{h}$$

Umfangsgeschwindigkeiten

$$\text{bei } Q = 4 \frac{m^3}{h}$$

numerische Simulation einer Seitenkanalpumpe, Ergebnisse

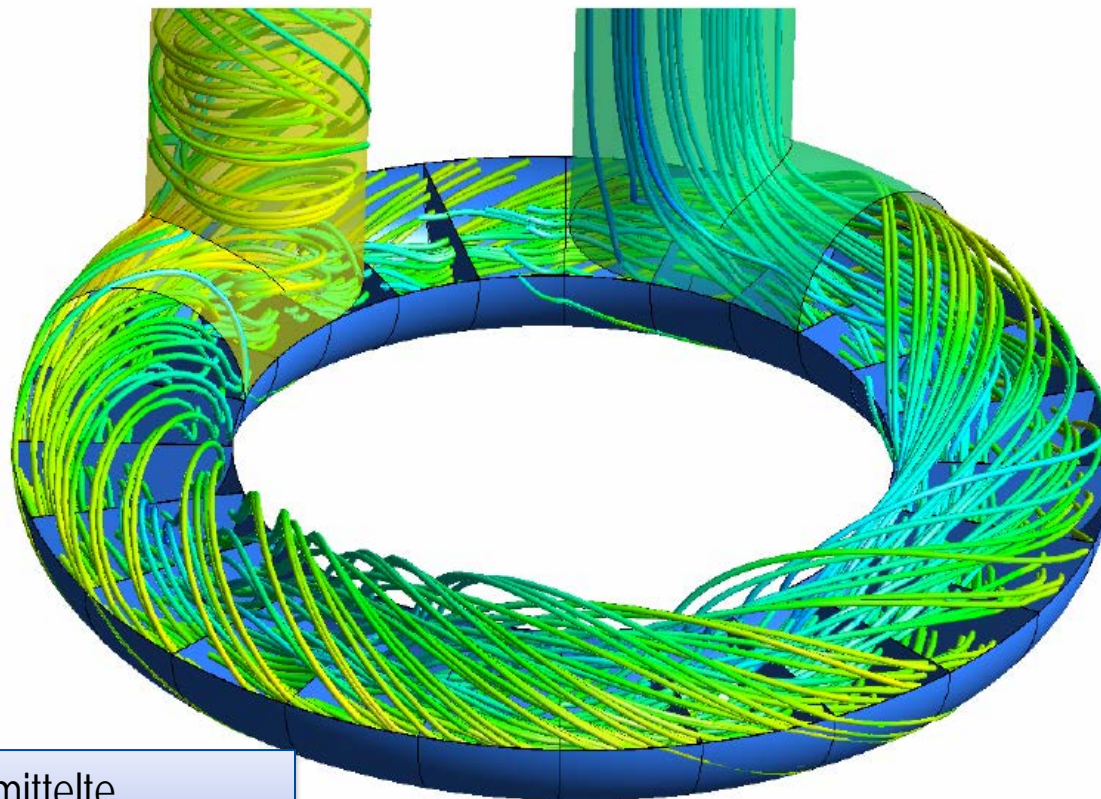


Seitenkanaltorus
(Teillast)

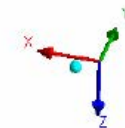


$\lambda 2$ -Wirbelidentifikation mit
Druckziffer eingefärbt bei $Q = 4 \frac{m^3}{h}$

numerische Simulation einer Seitenkanalpumpe, Ergebnisse



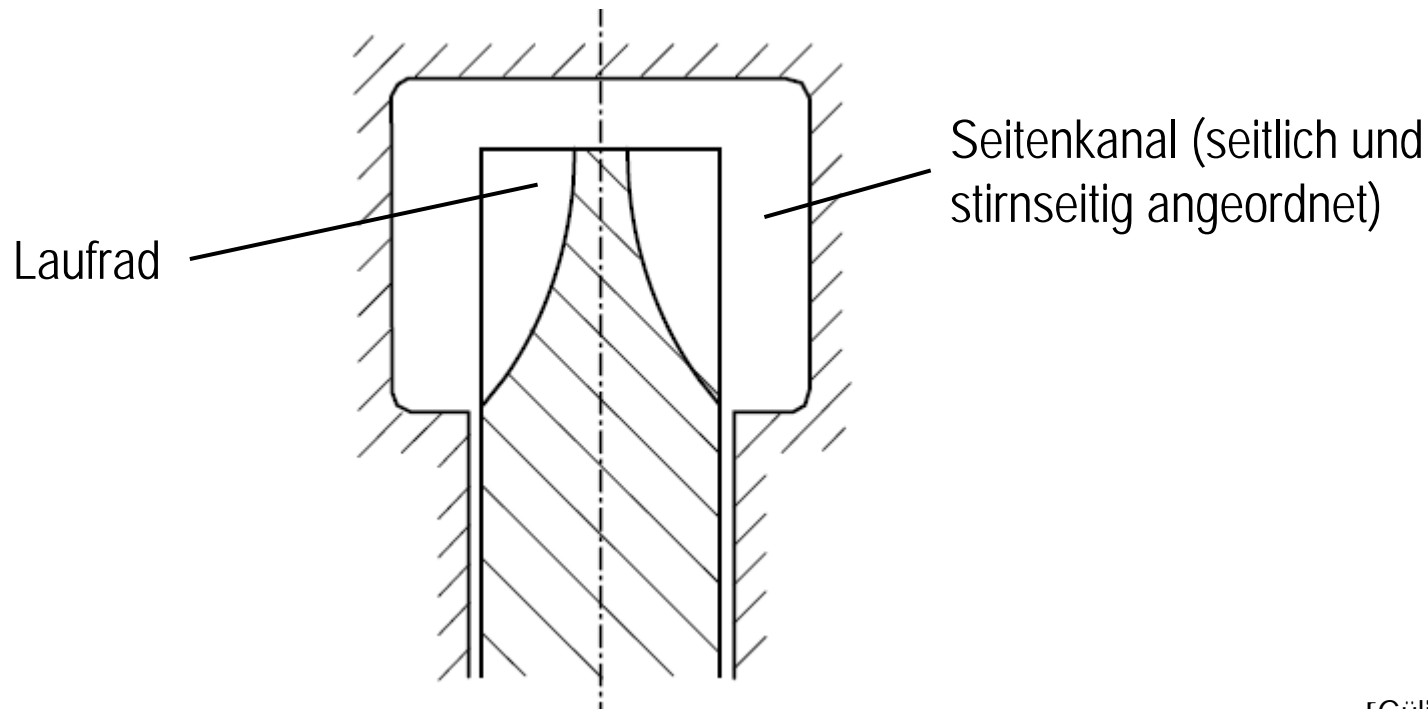
zeitlich gemittelte
Stromlinien



Seitenkanalpumpe

Peripheralpumpe

- Aufbau und Wirkungsweise ähnlich den Seitenkanalpumpen
- Unterschied im wesentlichen der nicht nur seitlich, sondern auch stirnseitig angebrachte Ringraum



[Gülich: Kreiselpumpen]