

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio



Wintersemester 2015/2016

Hydraulische Strömungsmaschinen

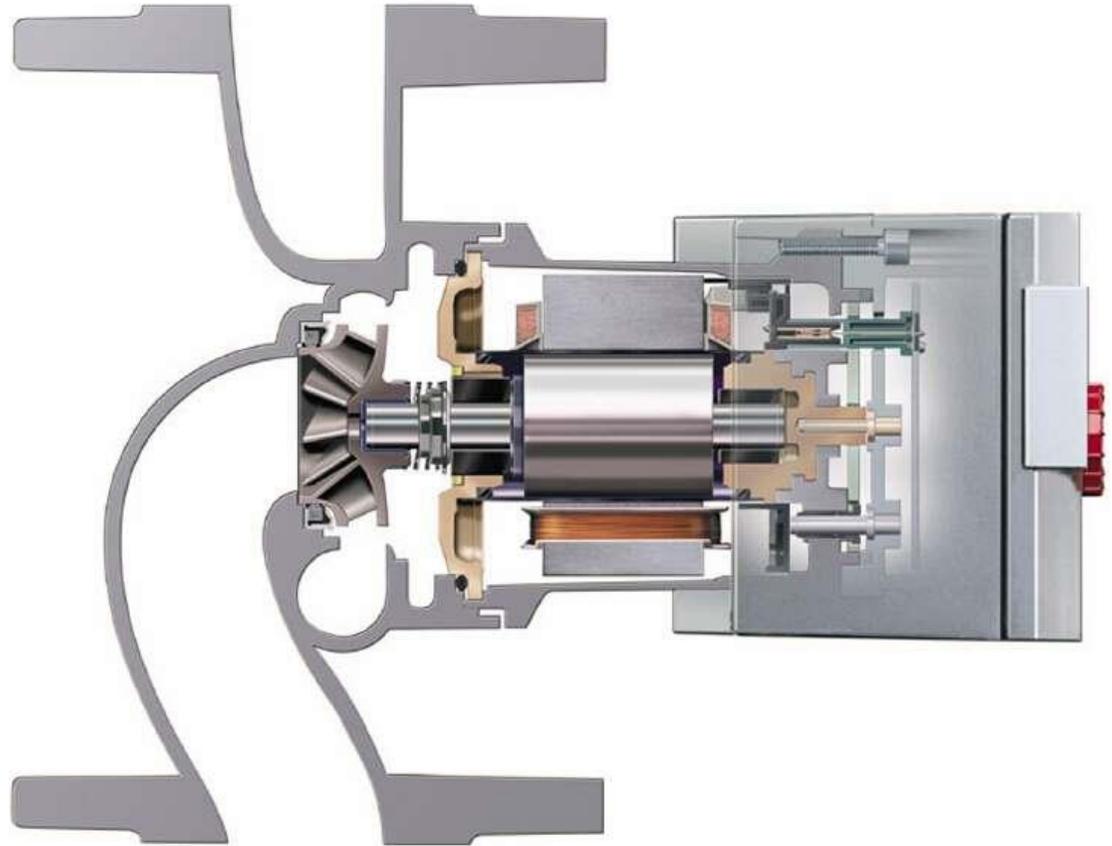
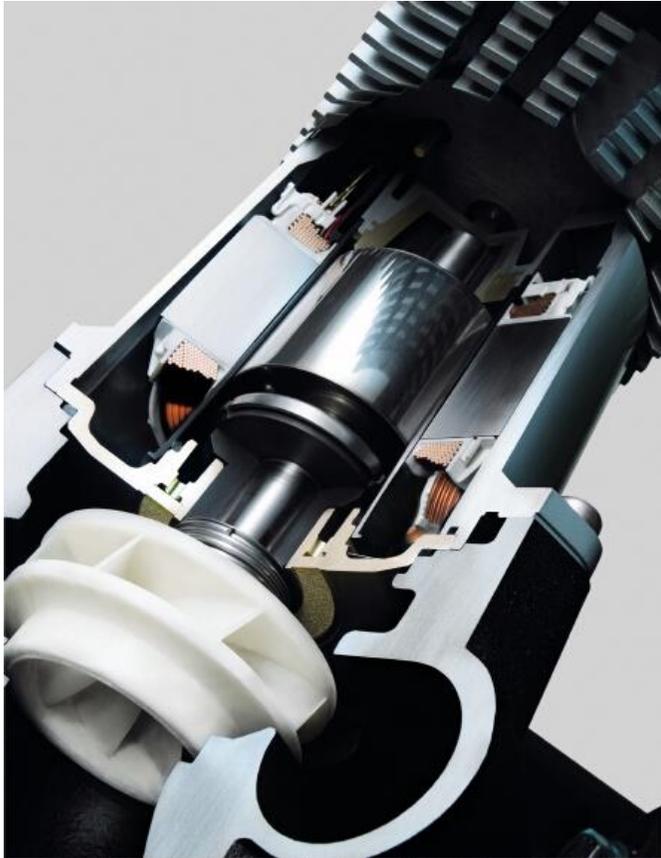
Prof. Dr. Hendrik Wurm

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, Betrieb)
(Vorlesung 5,6,7,8)
- ▶ Strömungsmaschinen ohne Gehäuse (Entwurf, Kennlinien, Regelung)
(Vorlesung 9)

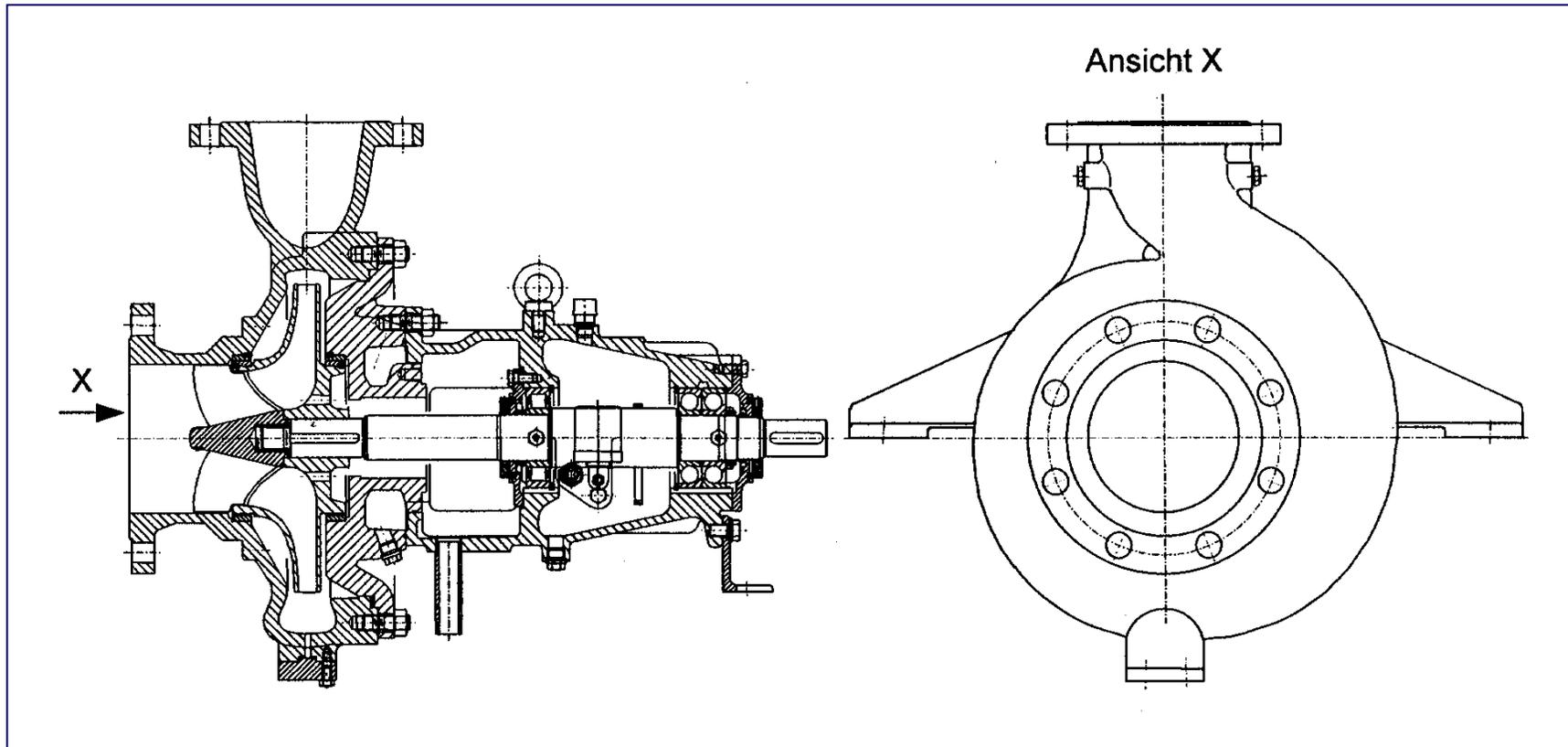
- ▶ Strömungstechnische Optimierung mit numerischen Methoden (Vorlesung 10)
- ▶ Strömungswandler (Vorlesung 11)
- ▶ spezielle Bauformen – Seitenkanalpumpen, Schraubenspindelpumpen (Vorl. 12)
- ▶ spezielle Bauformen – Voith-Schneider-Propeller (Vorlesung 13)
- ▶ Anwendung bionischer Methoden und Herzunterstützungssysteme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

Herleitung und Bedeutung der Euler'schen Turbinengleichung





- zirkuläre Projektion der Ein- und der Austrittskante in die Zeichenebene



Einstufige Spiralgehäusepumpe mit Lagerträger, Sulzer Pumpen AG

Tafelbild 1: MS

Vertikalpumpen für Naßaufstellung:

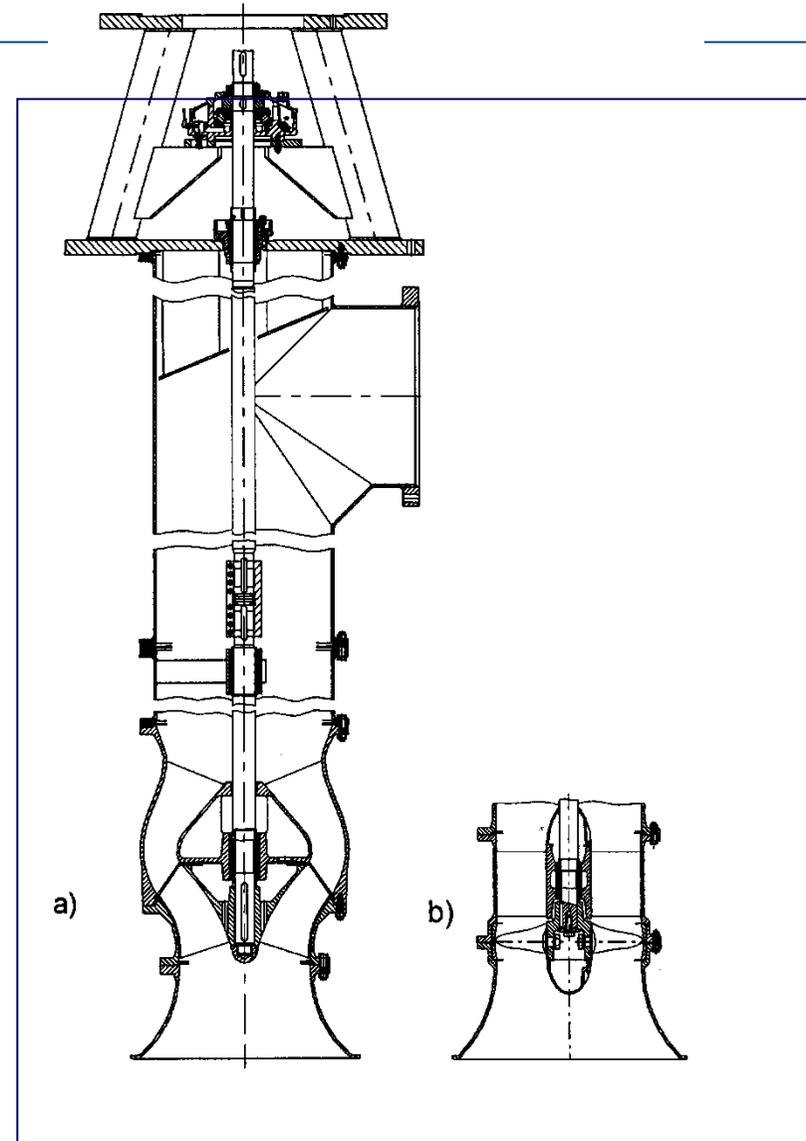
a) Halbaxiale Pumpe

b) Axialpumpe

Sulzer Pumpen AG

Quelle: J.F. Gülich "Kreiselpumpen"

Tafelbild 2: Stufe



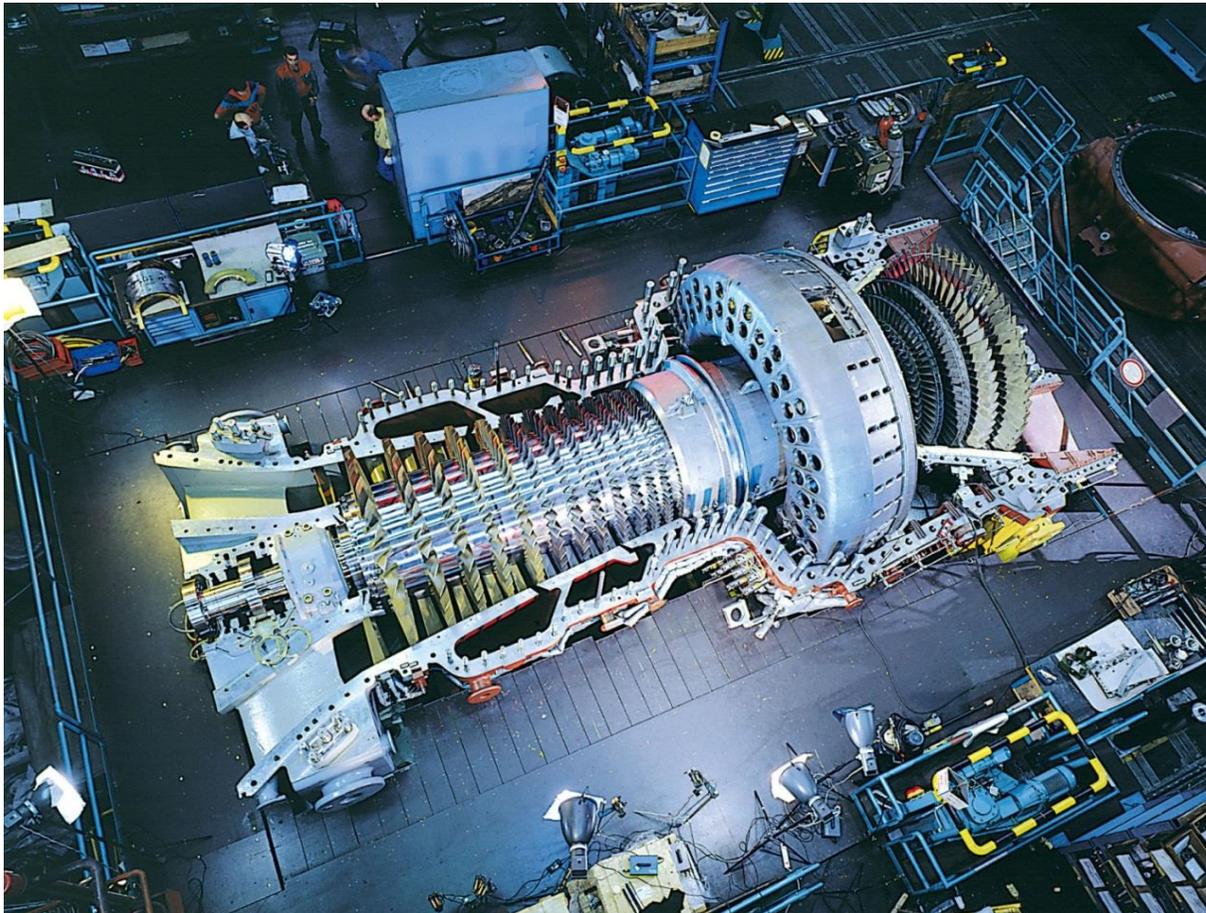


Index:

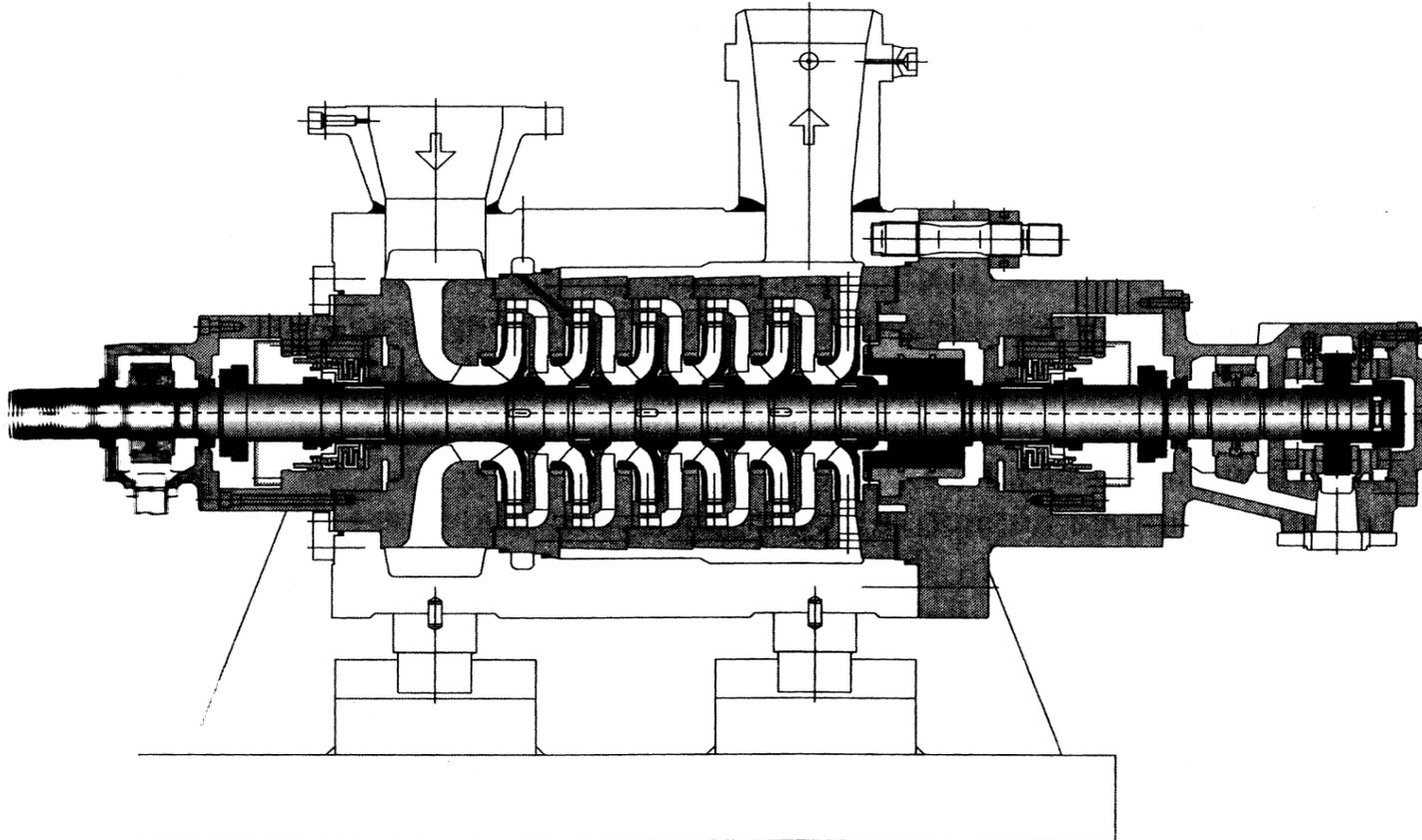
- 0... auf der Saugseite des Laufrades, unmittelbar vor den Schaufeln
- 1... unmittelbar nach dem Eintritt in den Schaufelkanal des Laufrades
- 2... unmittelbar vor dem Austritt aus dem Schaufelkanal des Laufrades
- 3... auf der Druckseite des Laufrades, unmittelbar hinter den Schaufeln
- 4... unmittelbar vor dem Schaufelkanal des Leitrades
- 5... unmittelbar nach dem Eintritt in den Schaufelkanal des Leitrades
- 6... unmittelbar vor dem Austritt aus dem Schaufelkanal des Leitrades
- 7... unmittelbar hinter den Schaufeln des Leitrades

usw.

Beispiele für thermische Strömungsmaschinen: Alstom- Gasturb.



Quelle: www.dlr.de



Hochdruck-Kesselspeisepumpe in Topbauweise, Sulzer Pumpen AG

entnommen aus Gülich, J.: Kreiselpumpen



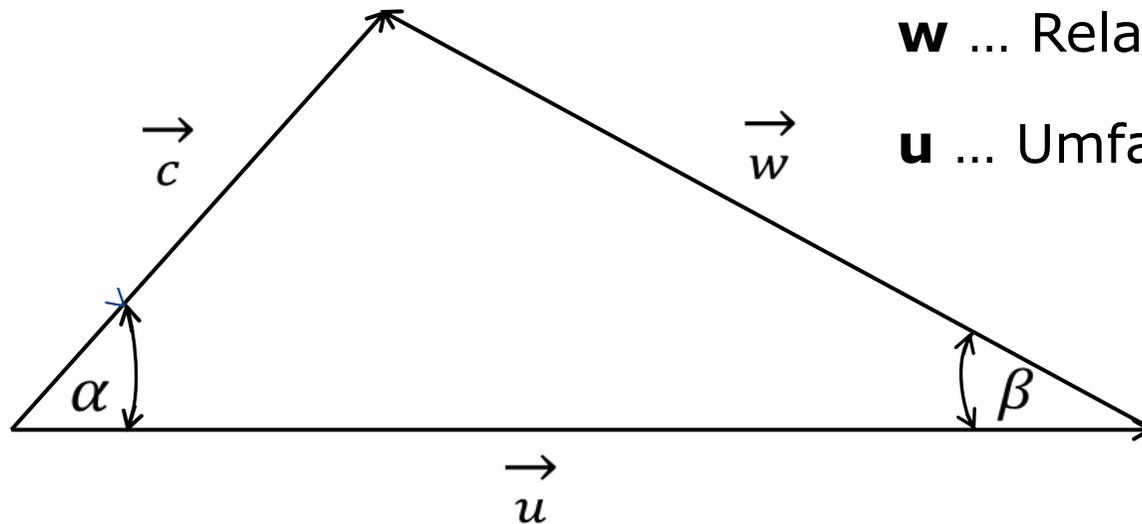
Index:

- 0... auf der Saugseite des Laufrades, unmittelbar vor den Schaufeln
- 1... unmittelbar nach dem Eintritt in den Schaufelkanal des Laufrades
- 2... unmittelbar vor dem Austritt aus dem Schaufelkanal des Laufrades
- 3... auf der Druckseite des Laufrades, unmittelbar hinter den Schaufeln
- 4... unmittelbar vor dem Schaufelkanal des Leitrades
- 5... unmittelbar nach dem Eintritt in den Schaufelkanal des Leitrades
- 6... unmittelbar vor dem Austritt aus dem Schaufelkanal des Leitrades
- 7... unmittelbar hinter den Schaufeln des Leitrades

usw.

Absolut- und Relativsystem

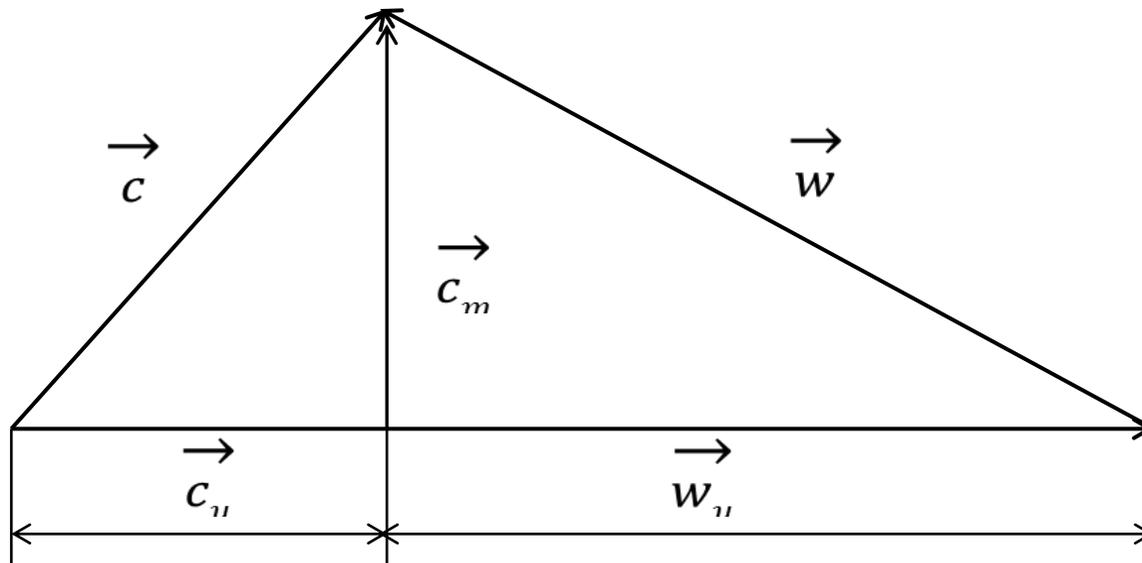
Geschwindigkeitsdreieck



- c** ... Absolutgeschwindigkeit
- w** ... Relativgeschwindigkeit
- u** ... Umfangsgeschwindigkeit

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w}$$

Die Absolutgeschwindigkeit ist gleich der vektoriellen Summe aus Relativ- und Umfangsgeschwindigkeit



Wie findet die Energieübertragung im Rotor statt?

Ziel: Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Bewegungsgrößen und resultierender Kraft

Impuls $\mathbf{I} = m \cdot \mathbf{c}$

Impulssatz $\frac{d\mathbf{I}}{dt} = \mathbf{F}$

Die zeitliche Änderung des Impulses einer Masse m ist gleich der resultierenden Kraft, die auf das Masselement ausgeübt wird.

Wie findet die Energieübertragung im Rotor statt?

Eine analoge Aussage gilt für den Zusammenhang von Drehimpuls und Moment

Drehimpuls $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{I}$

Drehimpulssatz $\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{M}$

Die zeitliche Änderung des Drehimpulses (Impulsmoments) einer Masse m ist gleich dem resultierenden Moment (bezogen auf einen Bezugspunkt O).

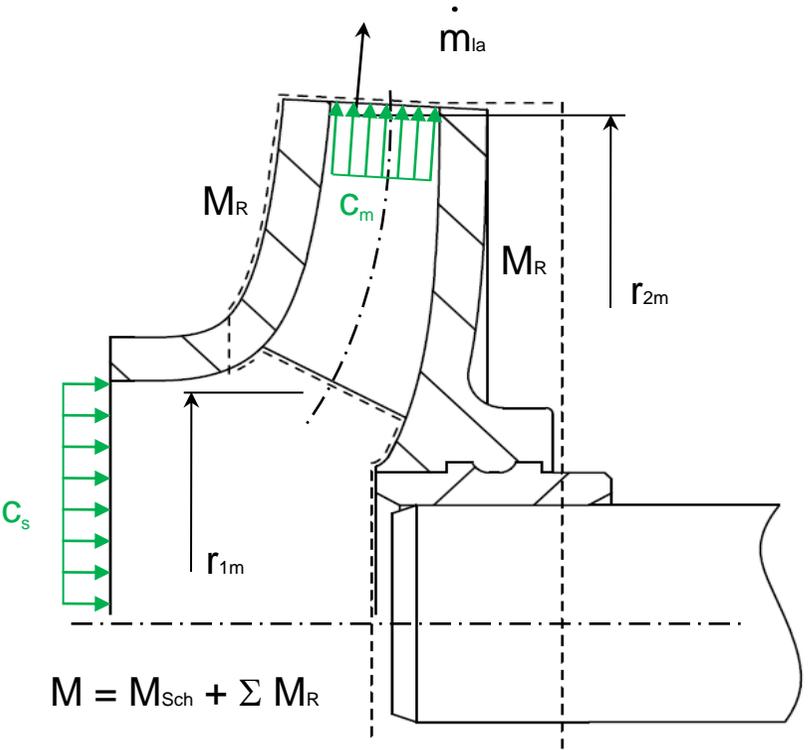


Annahmen :

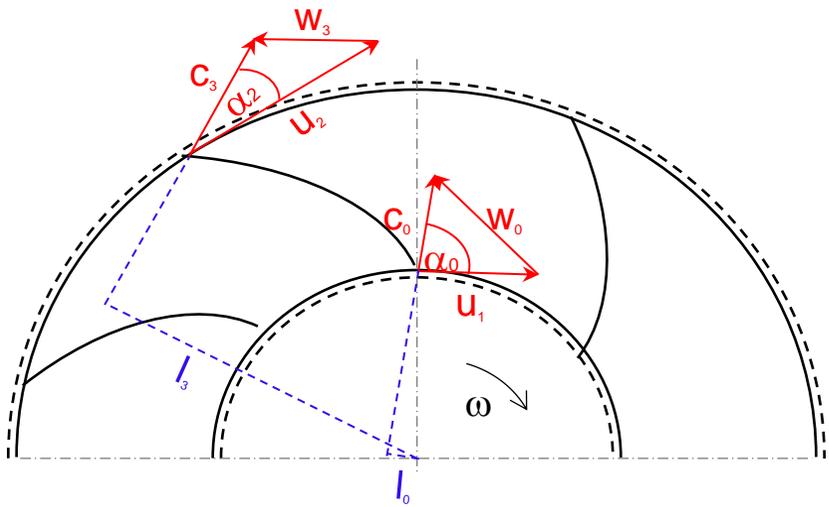
- Strömung ist stationär
- Ansetzen mittlerer Geschwindigkeiten
- Vernachlässigung des Drehimpulsbeitrages, der aus den turbulenten Schubspannungen in Umfangausrichtung an den Bilanzflächen 1 und 2 vorhanden ist.

$$M_{\tau} \approx 1 \% \text{ von } M_{\text{sch}}$$

Anwendung des Drehimpulssatzes



Kontrollvolumen



Bilanz des Drehimpulses

Bilanzfläche 1 :

Massestrom \dot{m}_{La} mit dem Drehimpuls $\dot{m}_{La} r_{1m} \cdot C_{ou}$

Bilanzfläche 2 :

Massestrom \dot{m}_{La} mit dem Drehimpuls $\dot{m}_{La} r_{2m} \cdot C_{3u}$

Die statischen Drücke an den Bilanzflächen und die radialen Komponenten der Geschwindigkeit erzeugen keine Kräfte in Umfangsrichtung und werden deshalb nicht berücksichtigt.

an den festen Berandungen

Moment wegen der Radseitenreibung M_R

an der Welle

übertragenes Drehmoment M

$$M = M_{\text{sch}} + \Sigma M_{\text{R}}$$

an der Welle übertragenes Moment

$$M_{\text{sch}} = \dot{m} (r_{2m} \mathbf{c}_{3u} - r_{1m} \mathbf{c}_{0u})$$

von den Schaufeln übertragenes Moment

mit $u = \omega r$

$$P_{\text{sch}} = M_{\text{sch}} \cdot \omega = \dot{m} (u_{2m} c_{3u} - u_{1m} c_{0u}) \quad \text{Leistung}$$

$$Y_{\text{sch}} = \frac{P_{\text{sch}}}{\dot{m}}$$

spezifische Förderarbeit

$$Y_{\text{sch}} = u_{2m} c_{3u} - u_{1m} c_{0u}$$

**Euler'sche Turbinengleichung
(1754)**

Leonhard Euler



geb. 15. April 1707 in Basel

gest. 18. September 1783 in St.Petersburg

Professor für Mathematik an der Universität
St. Petersburg

(dort Nachfolger von Daniel Bernoulli)



$$Y_{\text{sch}} = \mathbf{u}_{2m} \mathbf{c}_{3u} - \mathbf{u}_{1m} \mathbf{c}_{0u}$$

Anwendung der trigonometrischen Beziehungen

$$Y_{\text{sch}} = \frac{\mathbf{u}_2^2 - \mathbf{u}_1^2}{2} + \frac{\mathbf{c}_3^2 - \mathbf{c}_0^2}{2} + \frac{\mathbf{w}_0^2 - \mathbf{w}_3^2}{2}$$

Tafelbild: Ableitung

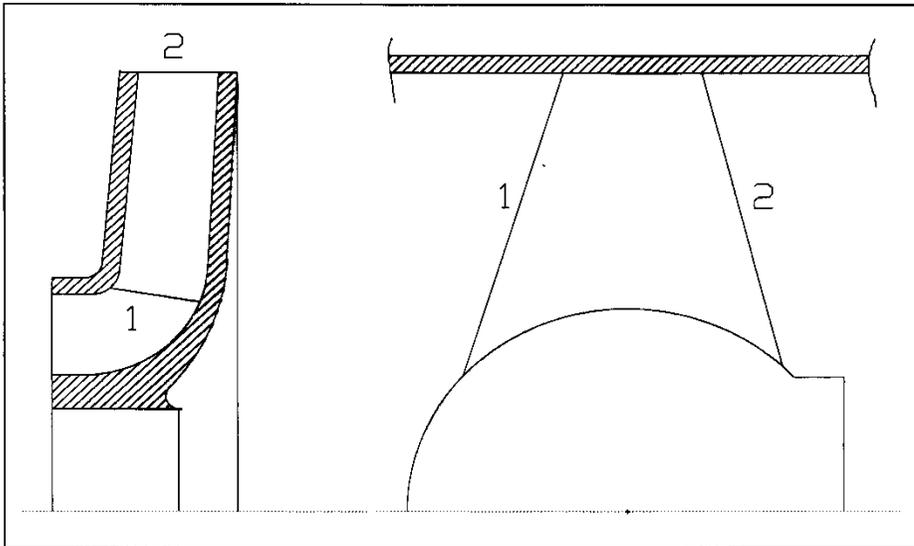
$$g \times H_{th} = \left[U_2 C_{2U} - U_1 C_{1U} \right] \quad \text{Gleichung von L. Euler}$$

$$g \times H_{th} = \left[\underbrace{\frac{C_2^2 - C_1^2}{2}}_A + \underbrace{\frac{U_2^2 - U_1^2}{2}}_B + \underbrace{\frac{W_1^2 - W_2^2}{2}}_C \right]$$

Term A :
abhängig von den
Durchmessern
des Saug- und Druckstutzens

Term B :
abhängig vom Durchmesser-
unterschied zwischen Ein- und
Austrittskante

Term C :
abhängig von der Gestaltung
des Innenraums im Laufrad



$$Y_{\text{sch}} = \mathbf{u}_2 \mathbf{c}_{3u} - \mathbf{u}_1 \mathbf{c}_{ou}$$

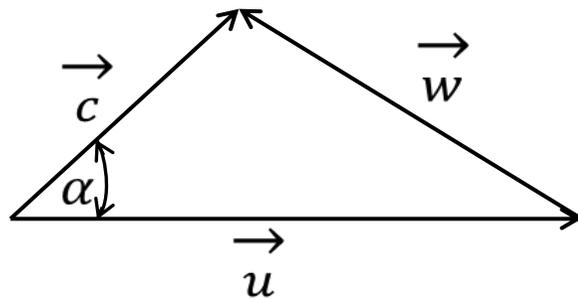
$$\mathbf{c}_{uo} \neq 0 \quad (\alpha_0 \neq 90^\circ)$$

$$\text{Mitdrall} \quad (\alpha_0 < 90^\circ)$$

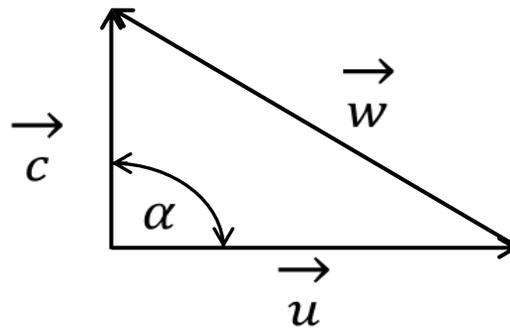
Förderhöhe wird reduziert

$$\text{Gegendrall} \quad (\alpha_0 > 90^\circ)$$

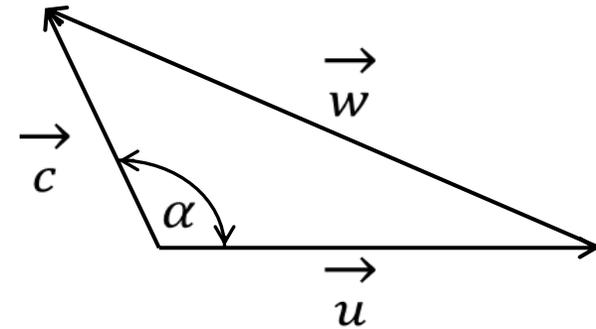
Förderhöhe wird vergrößert



Mitdrall $\alpha < 90^\circ$



drallfrei $\alpha = 0$



Gegendrall $\alpha > 90^\circ$



gewollte Realisierung :

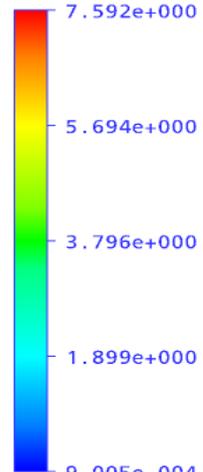
Vordrallregler mit ungeteilten
oder geteilten Schaufeln

ungewollte Realisierung :

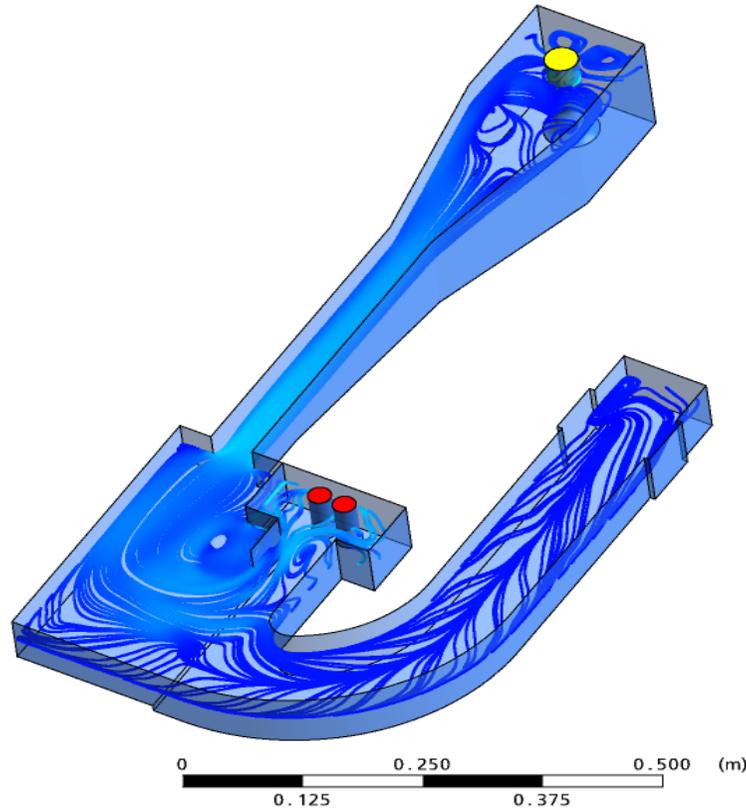
ungünstige Zuströmung

Einlaufbauwerk für Kühlwasserpumpen (Kraftwerk in Indien; $H=28\text{ m}$, $4 \times Q=35.000\text{ m}^3/\text{h}$)

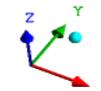
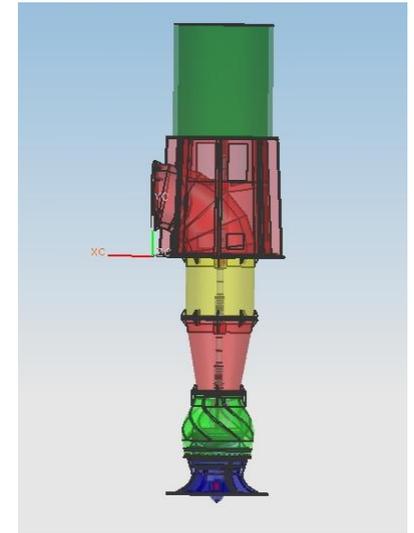
Velocity
(Streamline 1)



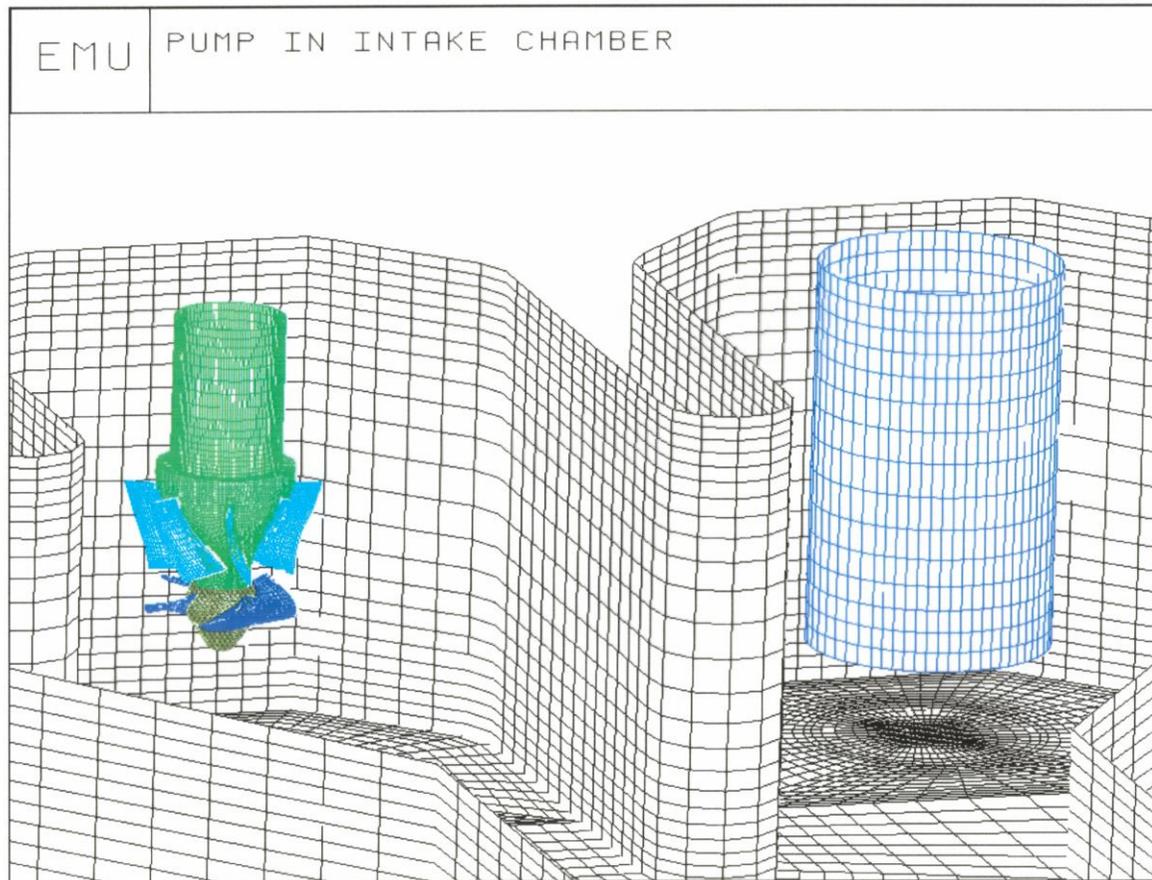
7.592e+000
5.694e+000
3.796e+000
1.899e+000
9.005e-004
[m s⁻¹]



ANSYS



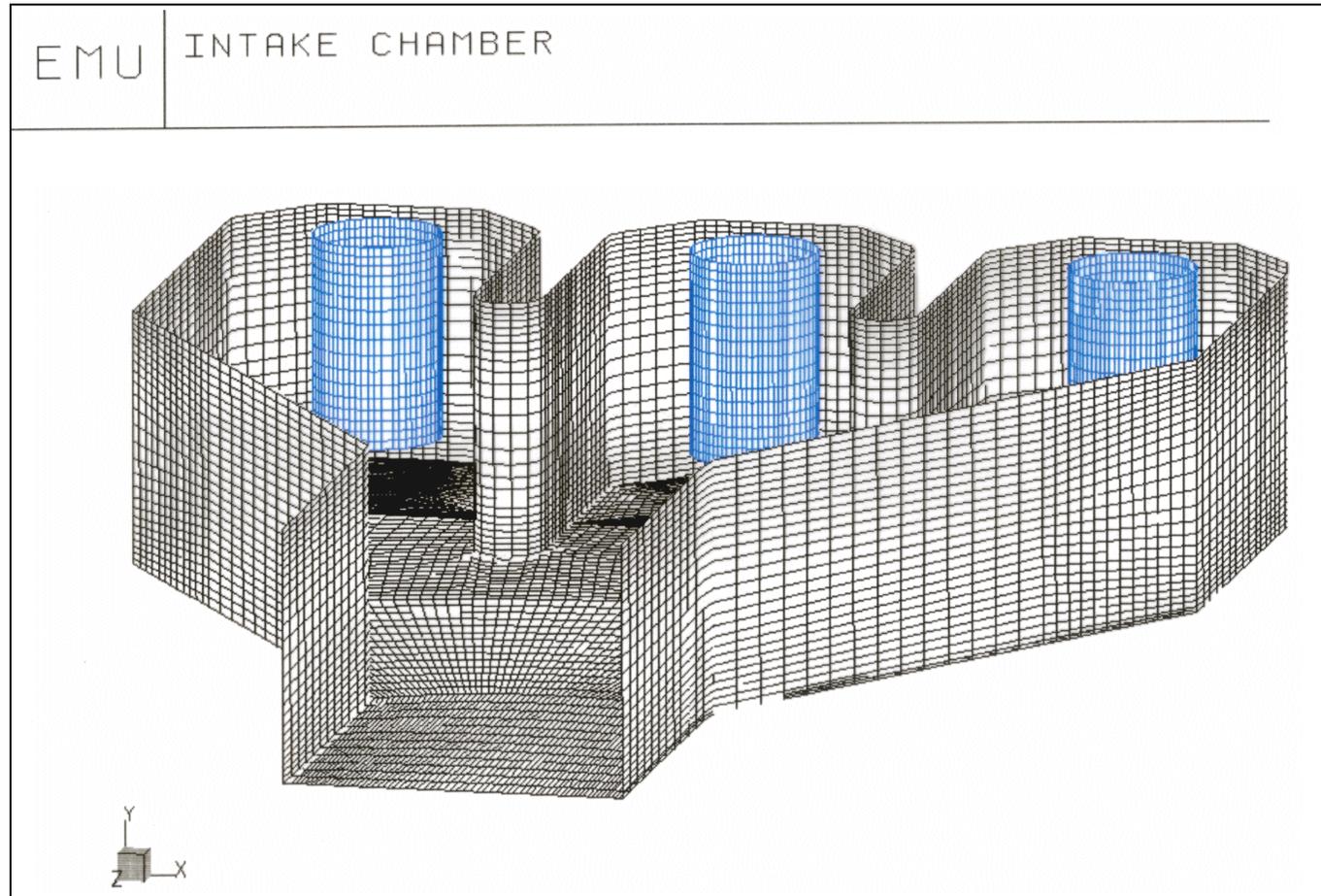
Simultane Berechnung der Strömung im Einlaufbauwerk mit laufenden Pumpen



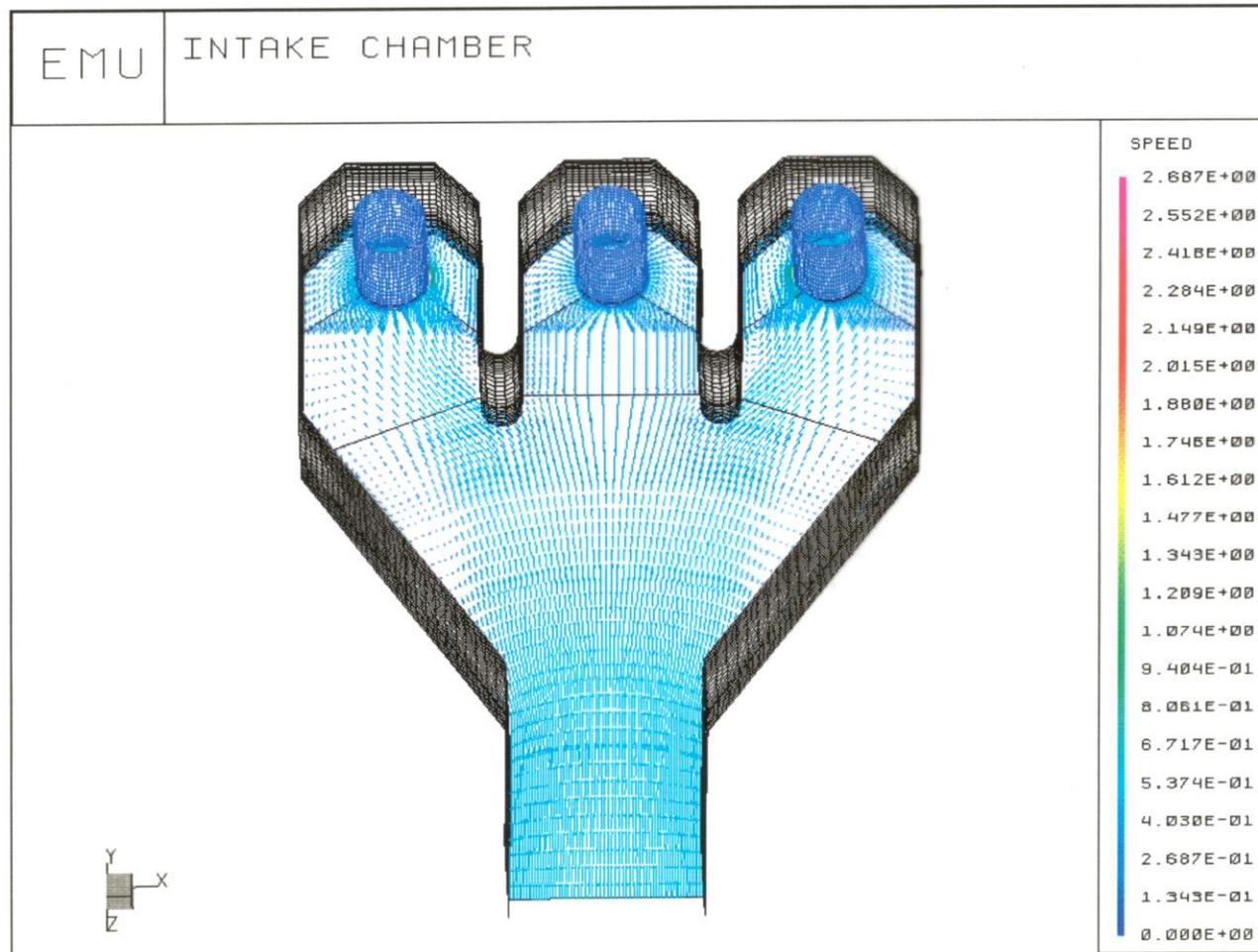
Holz, F., Wurm H.: E U ESPRIT – Projekt : „Standard Software infrastructures for SCI – based parallel systems“,
Projekt Nr. 23174 (während der Bearbeitung waren beide Autoren Mitarbeiter der EMU Unterwasserpumpen GmbH)

Einlaufbauwerk für Abwasserpumpen

Kläranlage in Dänemark; $H=5\text{m}$, $3 \times Q=1000 \text{ l/s}$



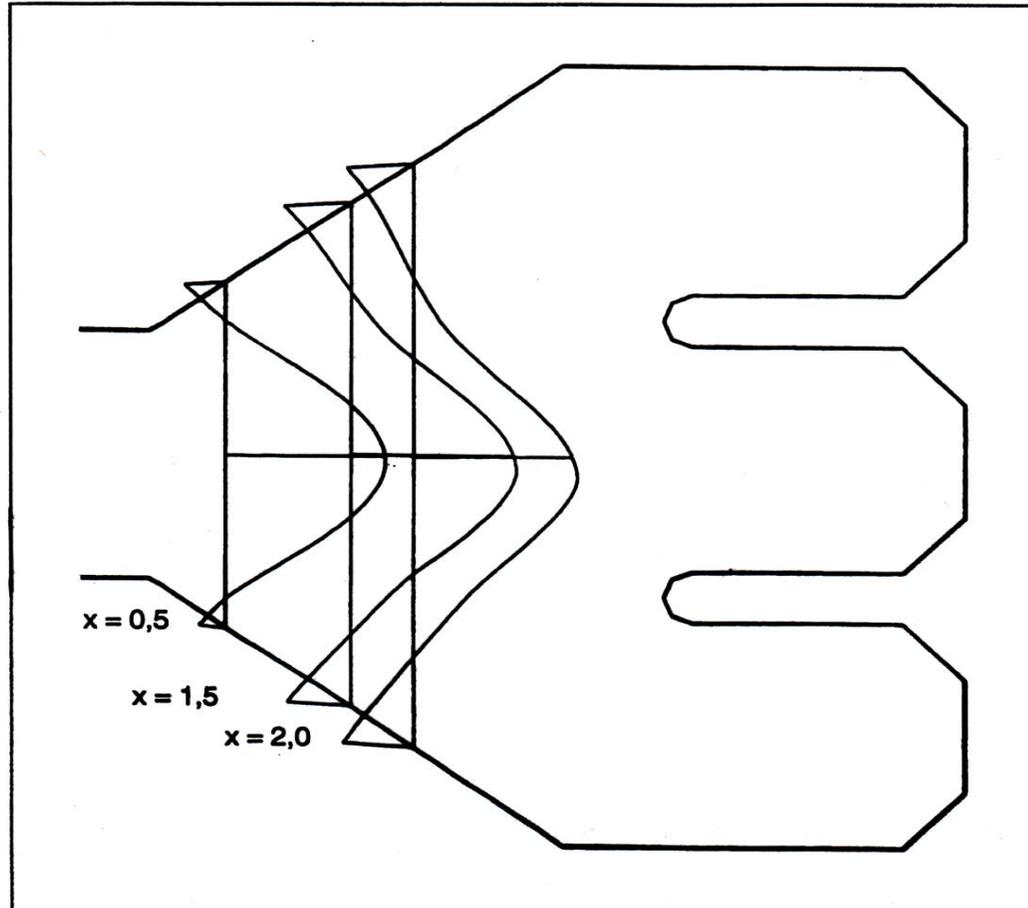
Holz, F., Wurm H.: E U ESPRIT – Projekt : „Standard Software infrastructures for SCI – based parallel systems“, Projekt Nr. 23174
(während der Bearbeitung waren beide Autoren Mitarbeiter der EMU Unterwasserpumpen GmbH)

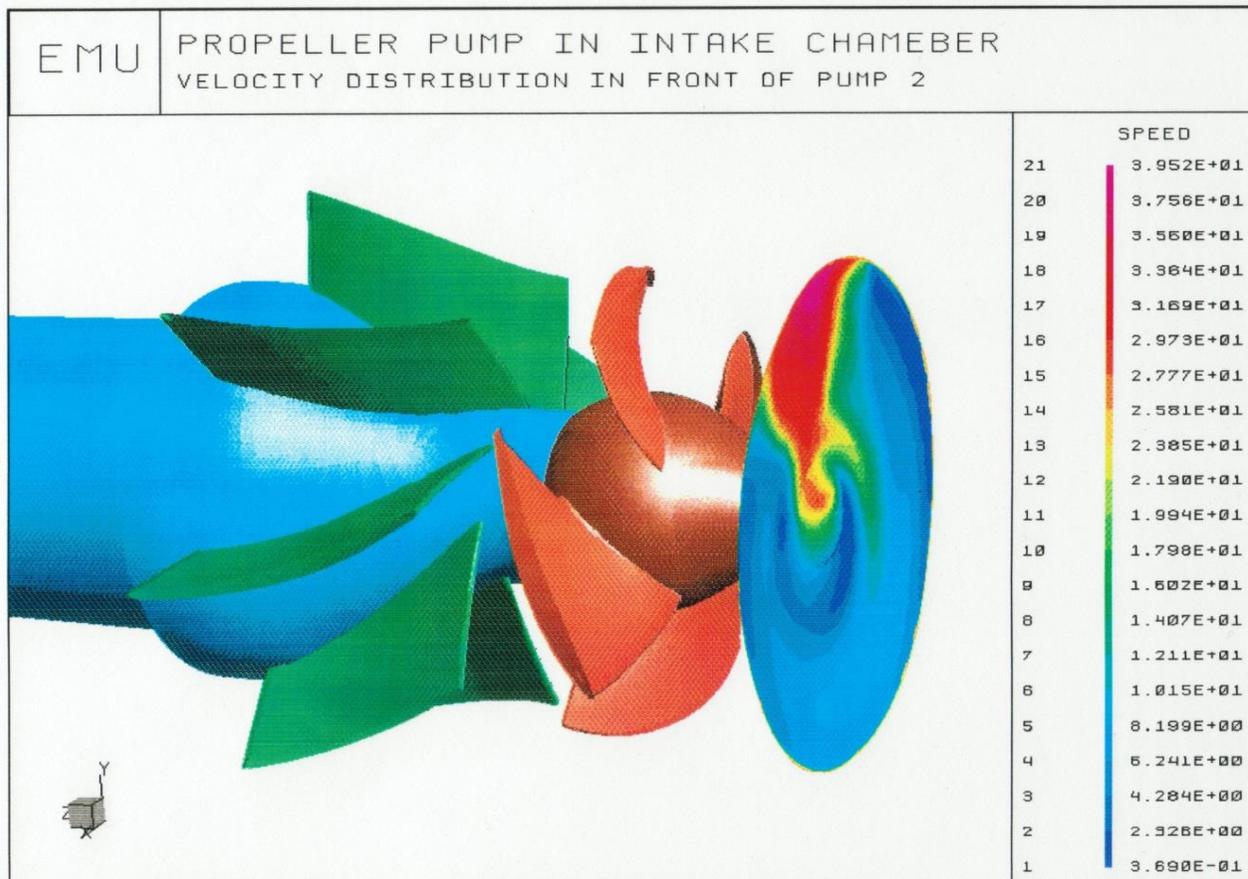


Holz, F., Wurm H.: E U ESPRIT – Projekt : „Standard Software infrastructures for SCI – based parallel systems“,
Projekt Nr. 23174 (während der Bearbeitung waren beide Autoren Mitarbeiter der EMU Unterwasserpumpen GmbH)

Profile

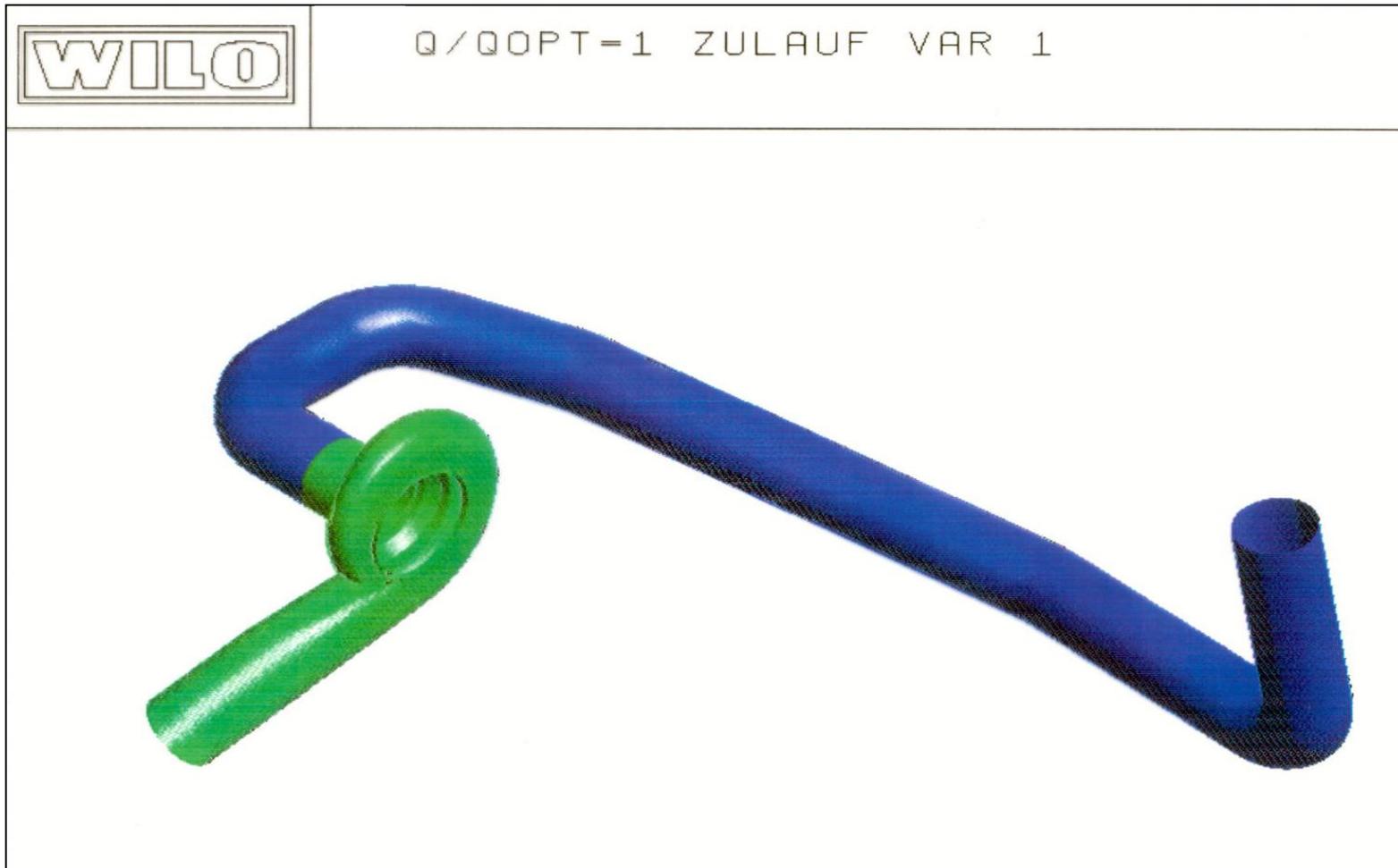
7360 CV



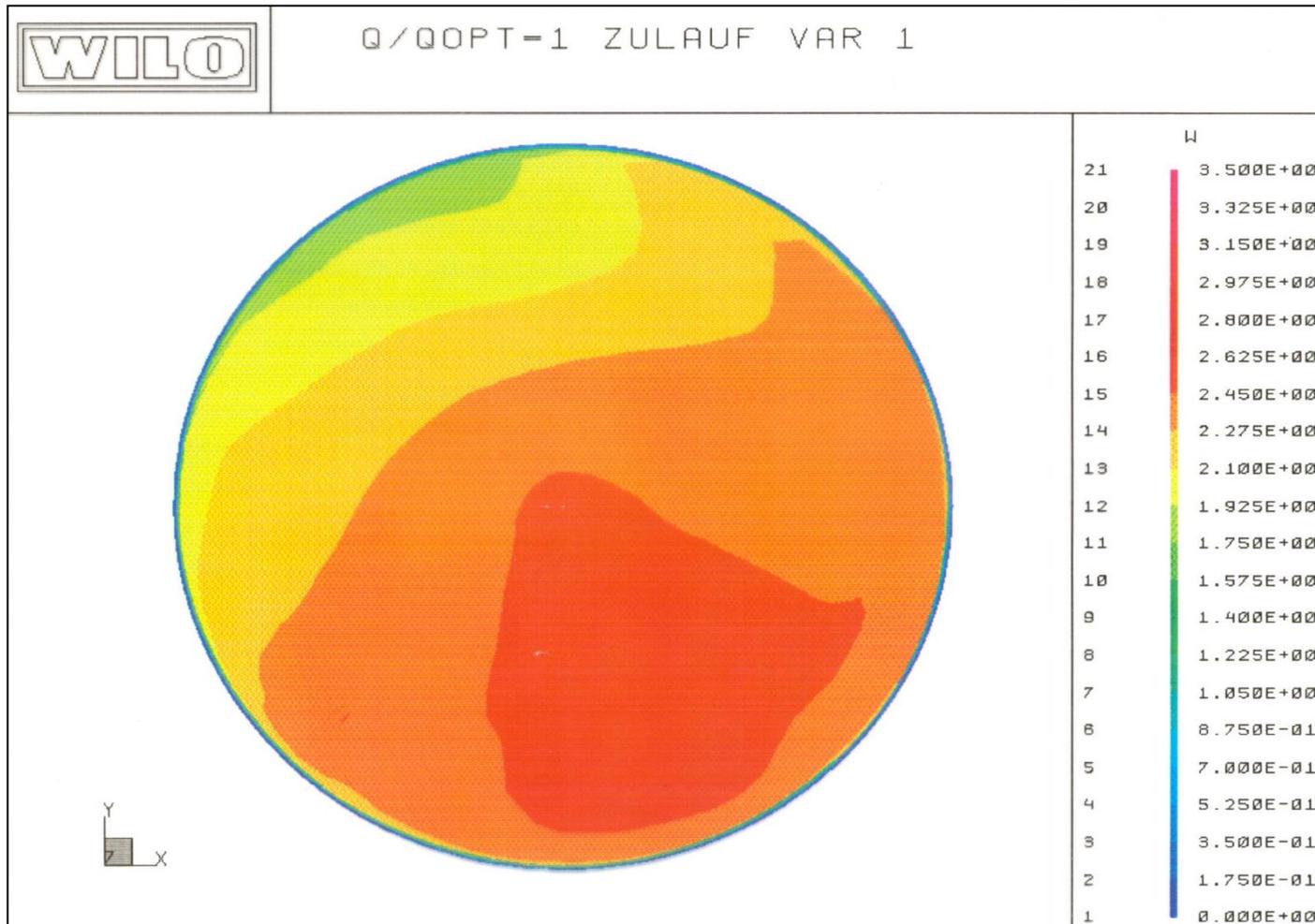


Holz, F., Wurm, H. : E U ESPRIT - Projekt : „Standart Software infrastruktures for SCI - based parallel systems“, Projekt Nr. 23174
(während der Bearbeitung waren beide Autoren Mitarbeiter der EMU Unterwasserpumpen GmbH)

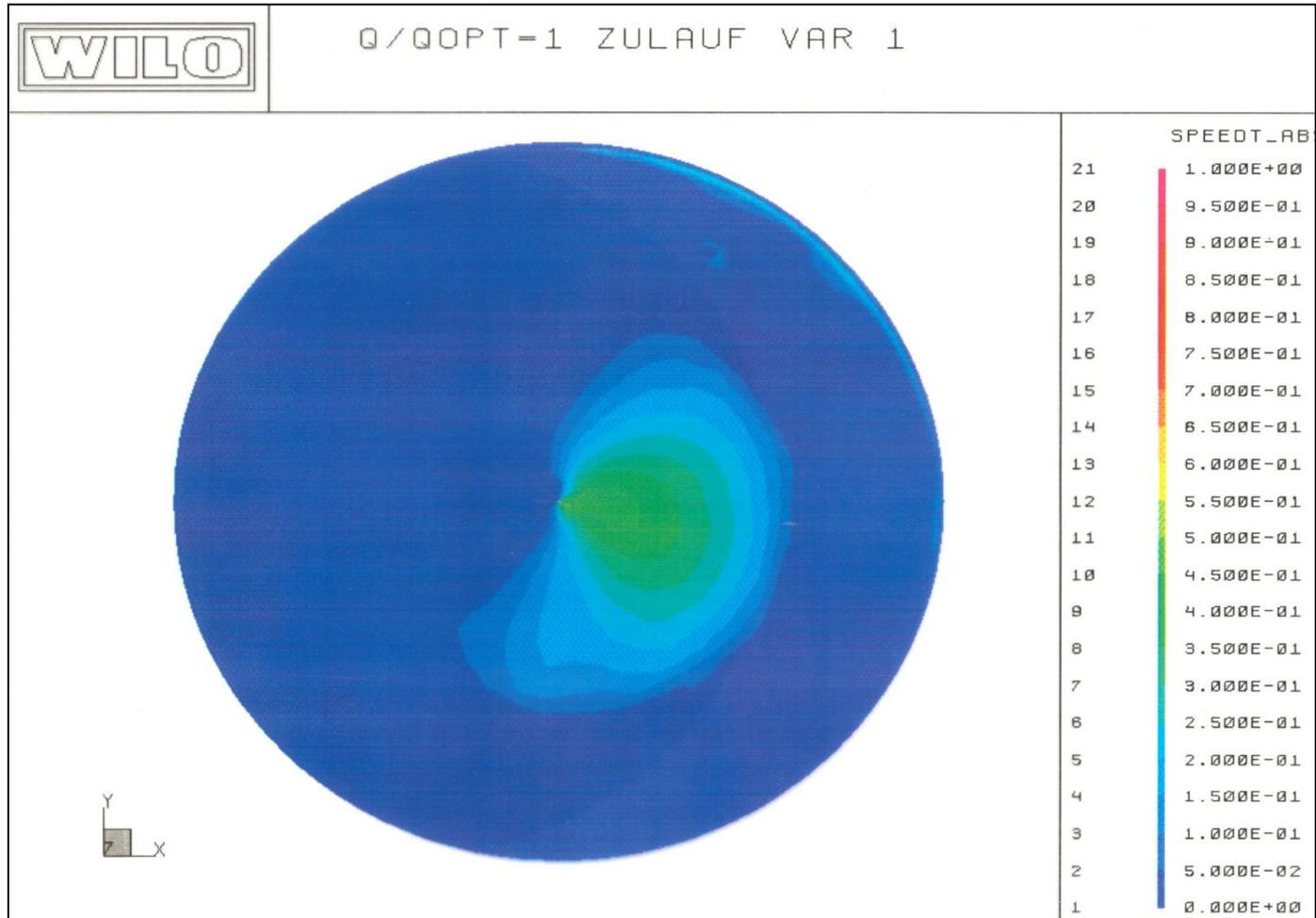
Frank Holz, 11.11.99

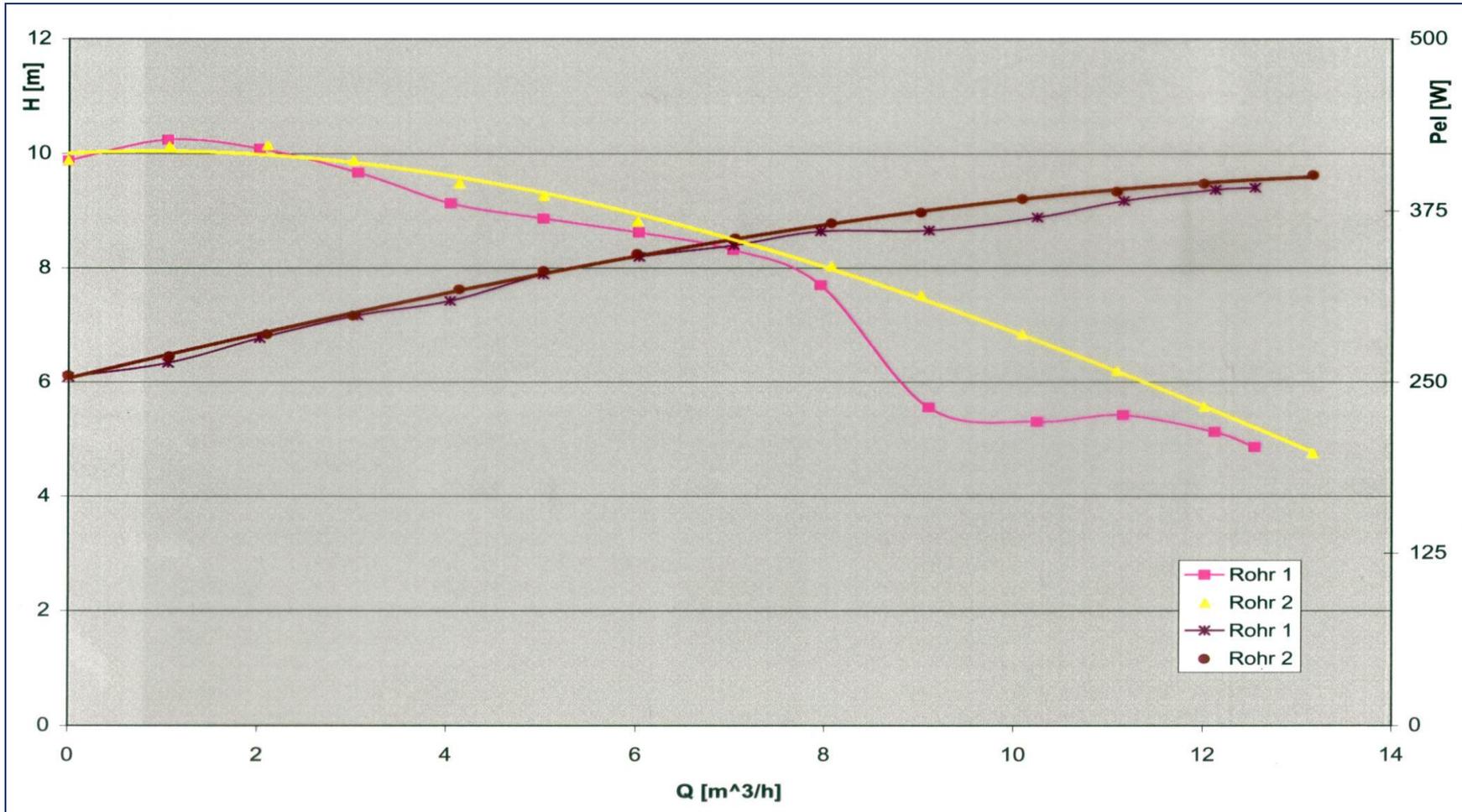


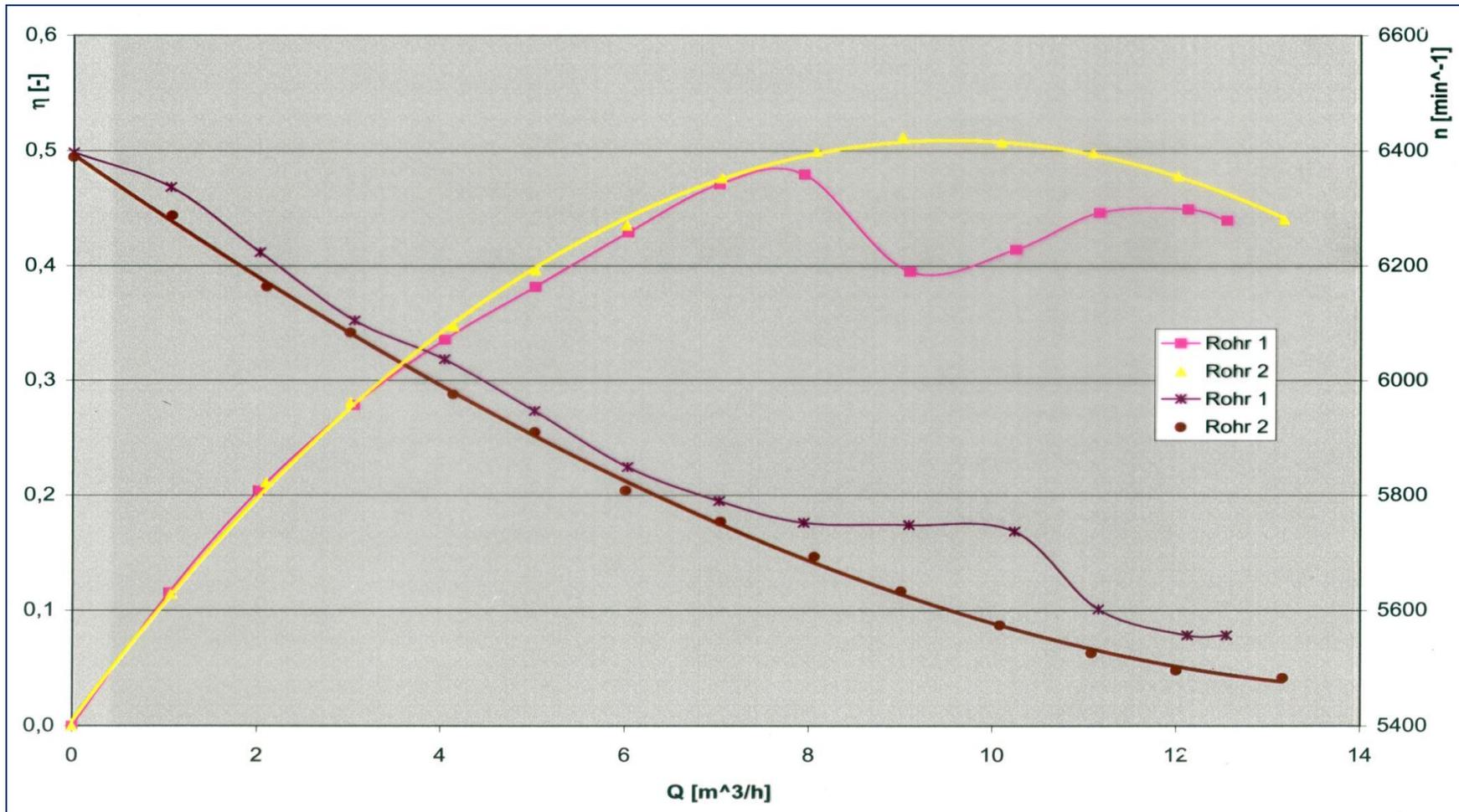
Verteilung der Axialgeschwindigkeit vor der Pumpe



Verteilung der Umfangsgeschwindigkeit vor der Pumpe







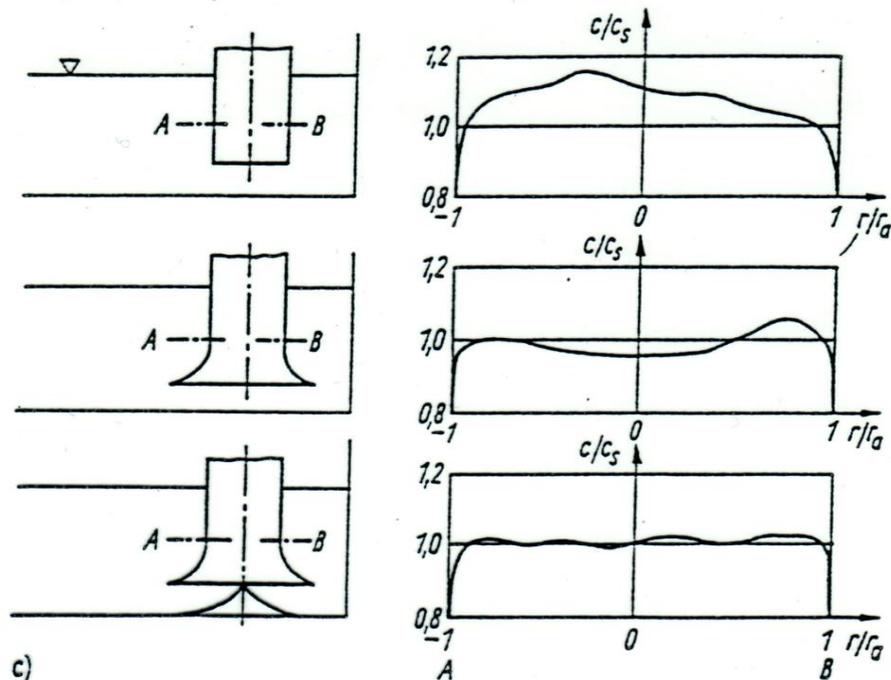


Bild 3.58
Offene Einlaufbauwerke für vertikale Flüssigkeitspumpen

- a) Grundform;
- b) Ausführung mit profilierter Rückwand;
- c) Einfluß der Saugrohr- und Bodenprofilierung auf die Meridiangeschwindigkeitsverteilung

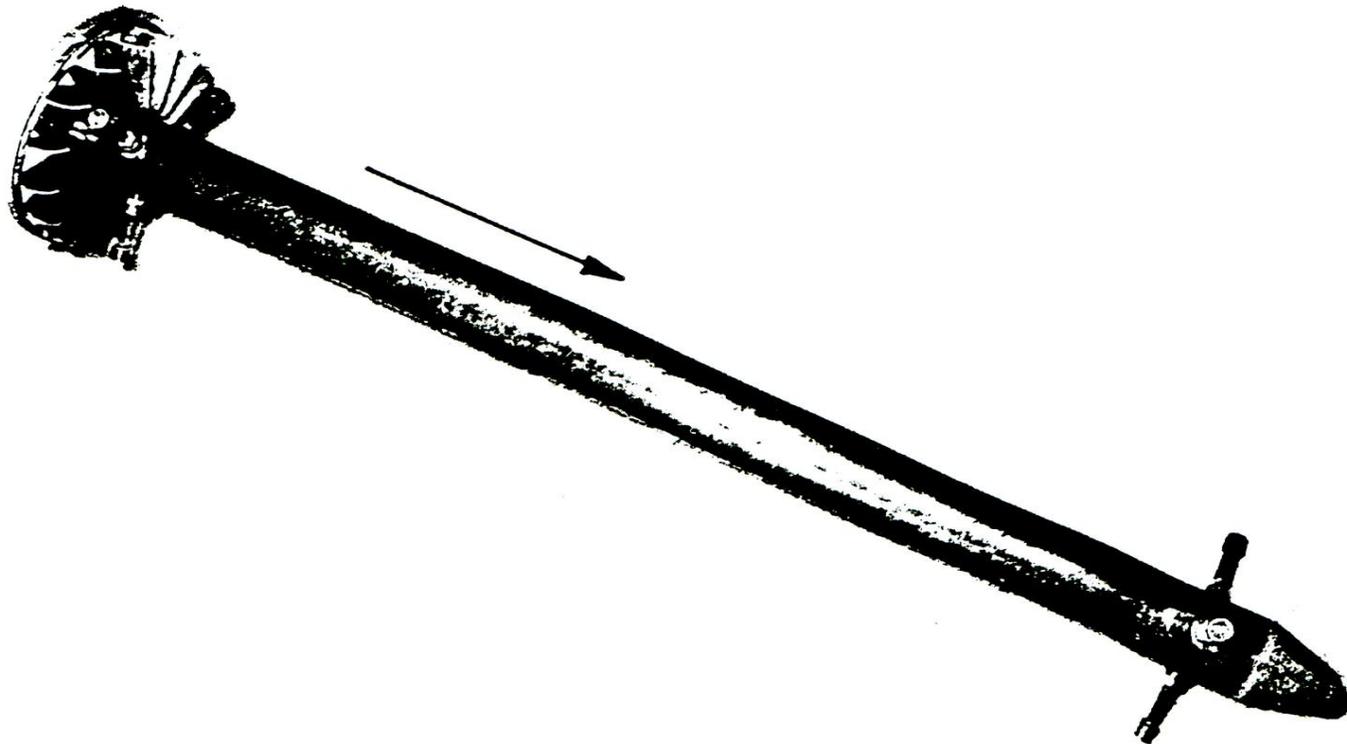


Bild 5. Fotografische Ansicht des Drallapparats zur
Störung "Einlaufwirbel".

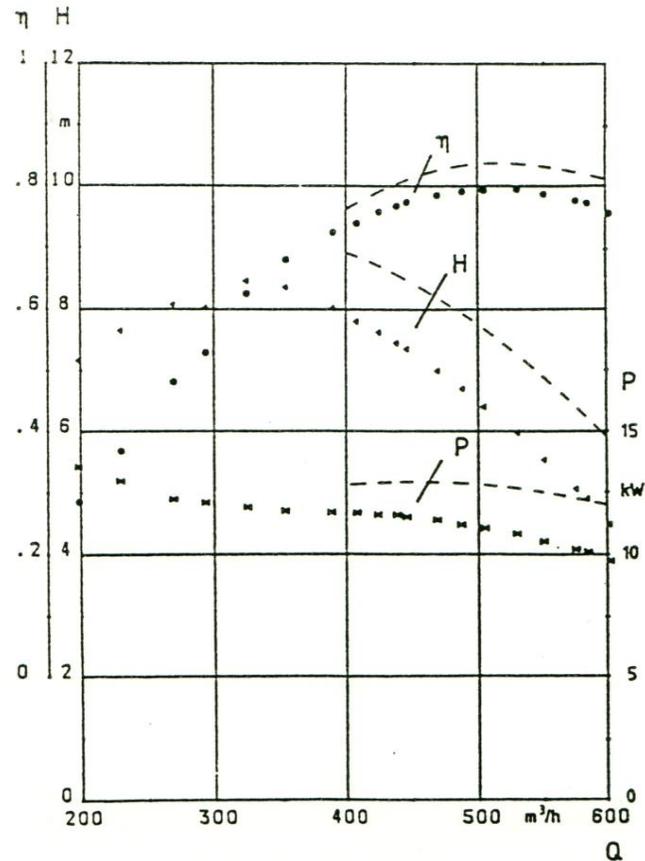


Bild 6. Kennlinien der Pumpe für die Störung "Einlaufwirbel".
Zum Vergleich: "Nullstörung" (gestrichelt).

Vortrag Siekmann, H; Schröter, R.: Auswirkung ungleichmäßiger Zuströmung...

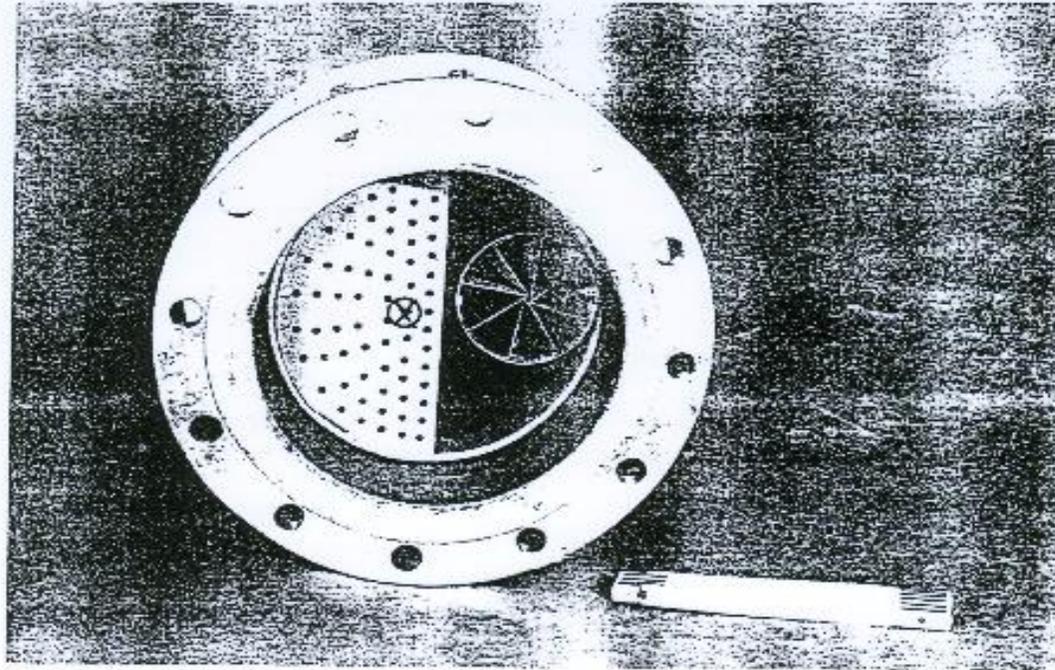


Bild 20. Fotografische Ansicht des Drossel- und Drallapparates zur
Störung „Einseitiger Einzelwirbel II“.

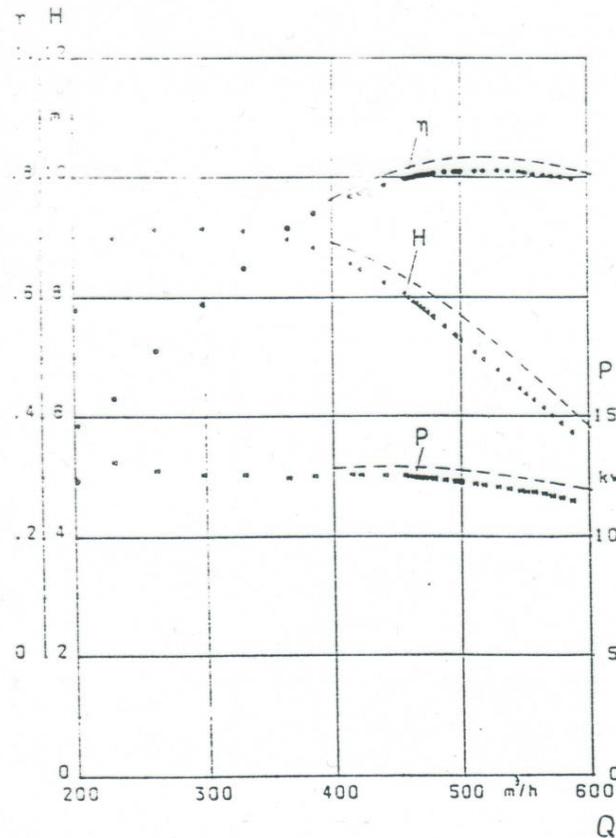


Bild 21. Kennlinien der Pumpe für die Störung "Einseitiger Einzelwirbel II".
Zum Vergleich: "Nullstörung" (gestrichelt).

Vortrag Siekmann, H; Schröter, R.: Auswirkung ungleichmäßiger Zuströmung...

Laufradformen – warum?



Bild 1: Radialrad mit rein radialen Schaufeln, Staupunkt S (Draufsicht ohne vordere Deckscheibe dargestellt)

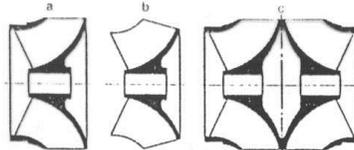
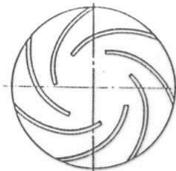


Bild 6: Zur Unterscheidung von geschlossenen und offenen, von einströmigen und zweiströmigen Laufrädern, gezeigt an einem Schraubenrad
a) geschlossenes Laufrad, einströmig; b) offenes Laufrad, einströmig; c) geschlossenes Laufrad, zweiströmig

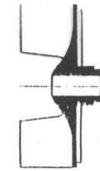


Bild 11: Offenes Zweikanalrad mit S-förmigen Schaufeln

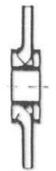


Bild 2: Radialrad mit Schaufeln, die sich bis in den Saugmund erstrecken (Draufsicht ohne vordere Deckscheibe dargestellt)

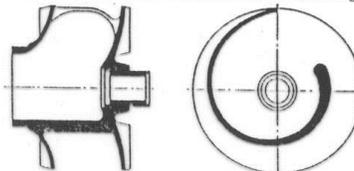
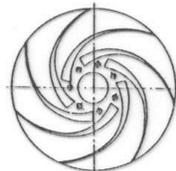


Bild 7: Geschlossenes Einschaufelrad (Draufsicht ohne Deckscheibe dargestellt)



Bild 12: Geschlossenes Dreikanalrad (Draufsicht ohne Deckscheibe dargestellt)

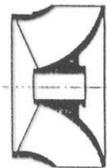
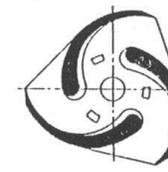


Bild 3: Halbaxialrad (Schraubenrad, Diagonalrad) (Draufsicht ohne vordere Deckscheibe dargestellt)

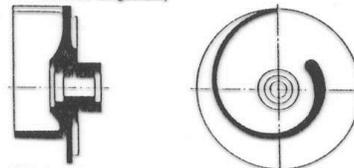
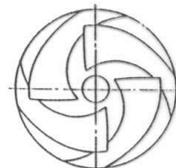


Bild 8: Offenes Einschaufelrad



Bild 13: Offenes Dreikanalrad mit zylindrischen Schaufeln

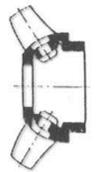


Bild 4: Halbaxialrad (halbaxialer Propeller)

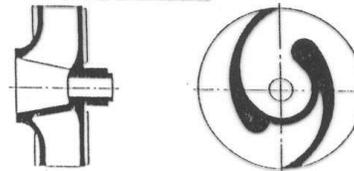
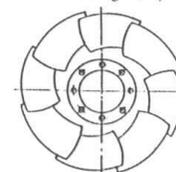


Bild 9: Geschlossenes Einkanalrad (Draufsicht ohne Deckscheibe dargestellt)

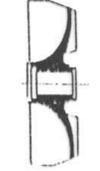


Bild 14: Freistromrad

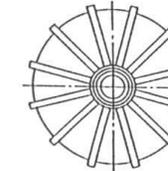


Bild 5: Axialrad (axialer Propeller)

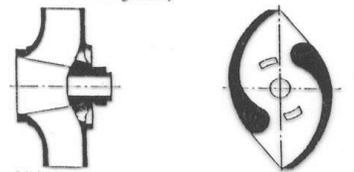
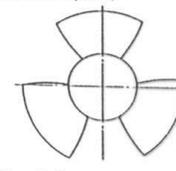
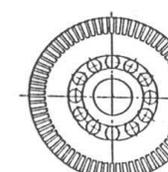


Bild 10: Geschlossenes Zweikanalrad (Draufsicht ohne Deckscheibe dargestellt)



Bild 15: Peripheralarad



Quelle: KSB Kreiselpumpenlexikon