

Wintersemester 2010/2011

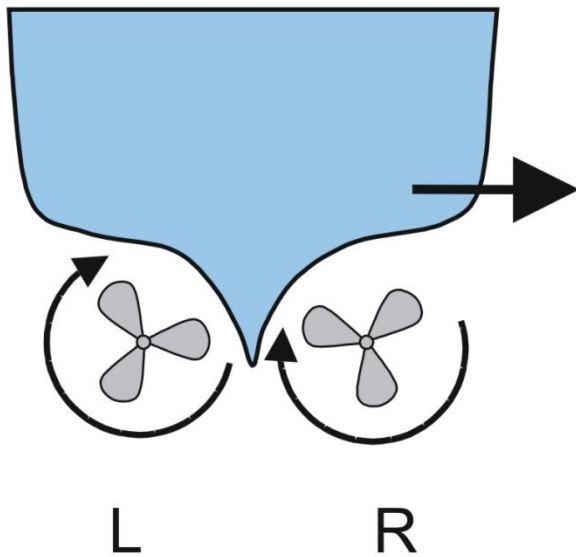
Strömungsmaschinen I

Prof. Dr. Hendrik Wurm
Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

Begriffe

- Strömungsmaschinen
- Turbomaschinen , im engl. Turbomachinery
- Fluidenergiemaschinen

Was sind Strömungsmaschinen? - Schiffspropeller



<http://www.eon.com/de/businessareas/35182.jsp>

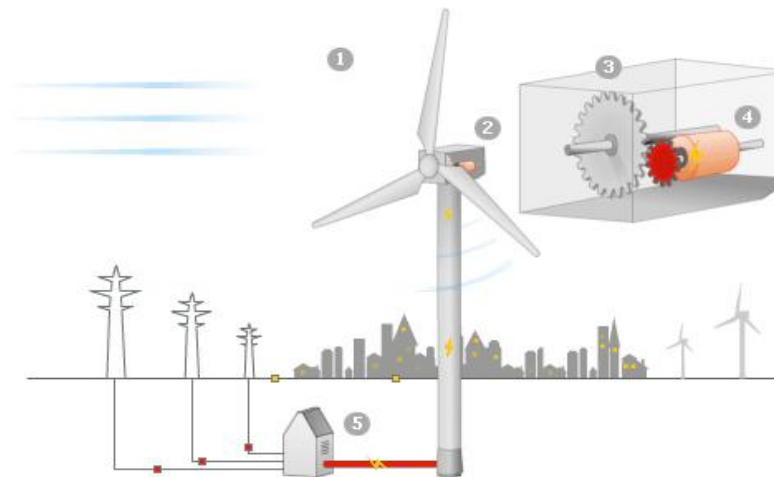
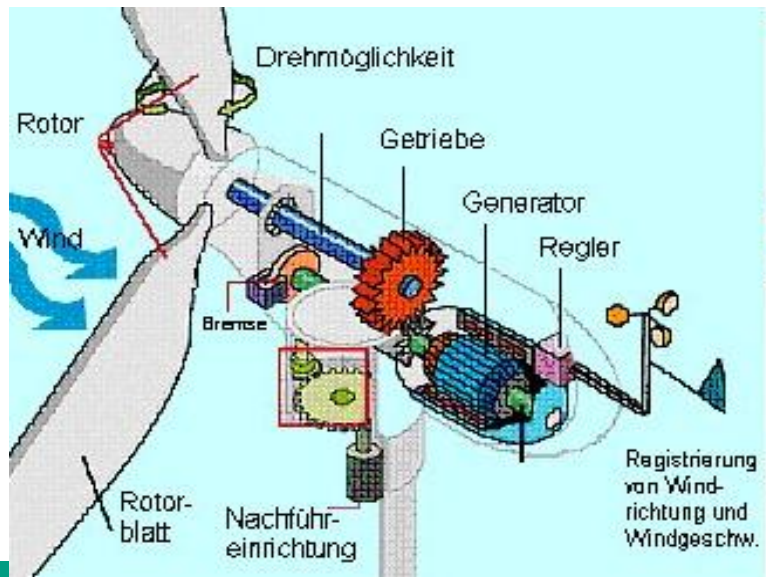
Was sind Strömungsmaschinen? - Windkraftanlage Rotor



<http://wiki.sonnenenertrag.eu/solarbegriffe:r:rotor>



<http://www.udo-leuschner.de/basiswissen/SB109-4.htm>



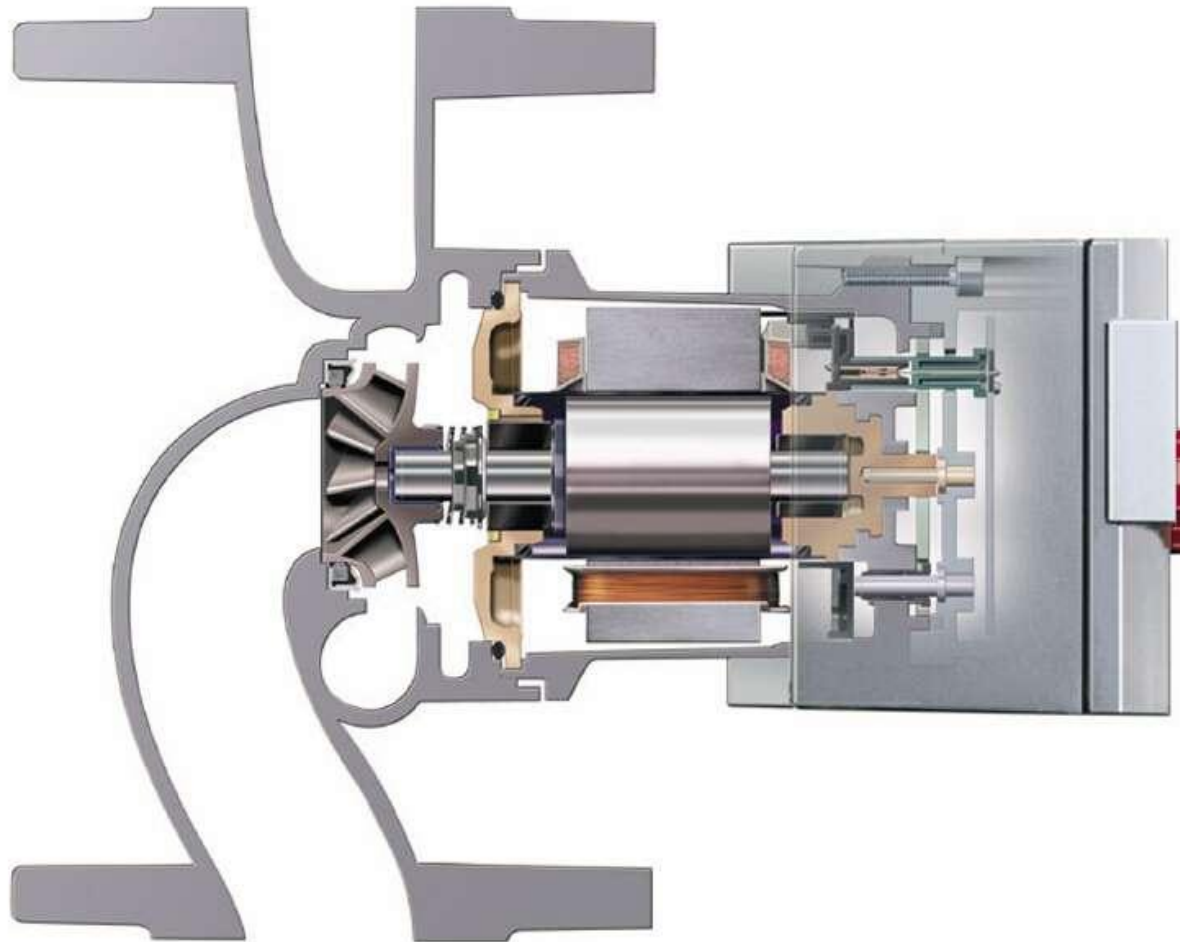
<http://www.eon.com/de/businessareas/35182.jsp>

Was sind Strömungsmaschinen? - Flugtriebwerk

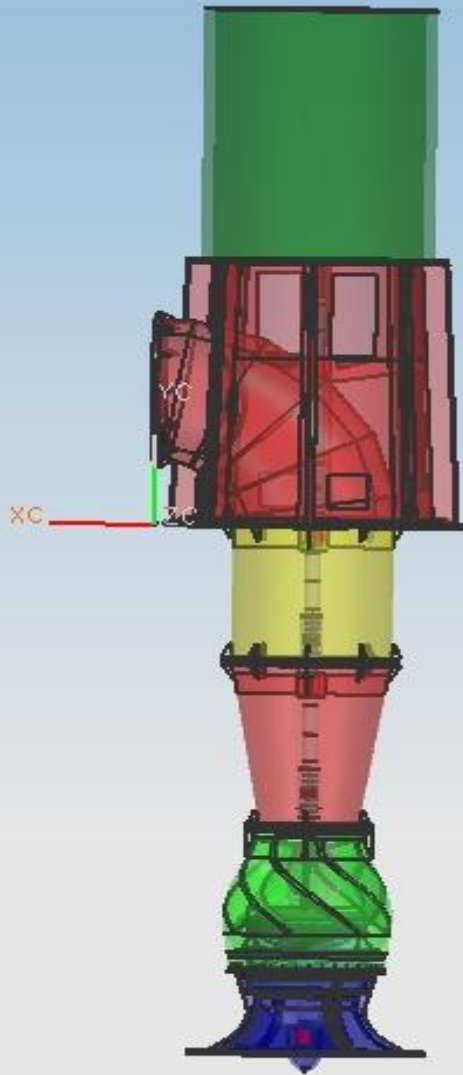


<http://de.wikipedia.org/wiki/Mantelstromtriebwerk>

Was sind Strömungsmaschinen? Pumpe mit Antrieb und Regelelektronik



Was sind Strömungsmaschinen? „Maßgeschneiderte“ Pumpe



Kühlwasserpumpe für konventionelles Kraftwerk

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

$H = 29 \text{ m}$

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

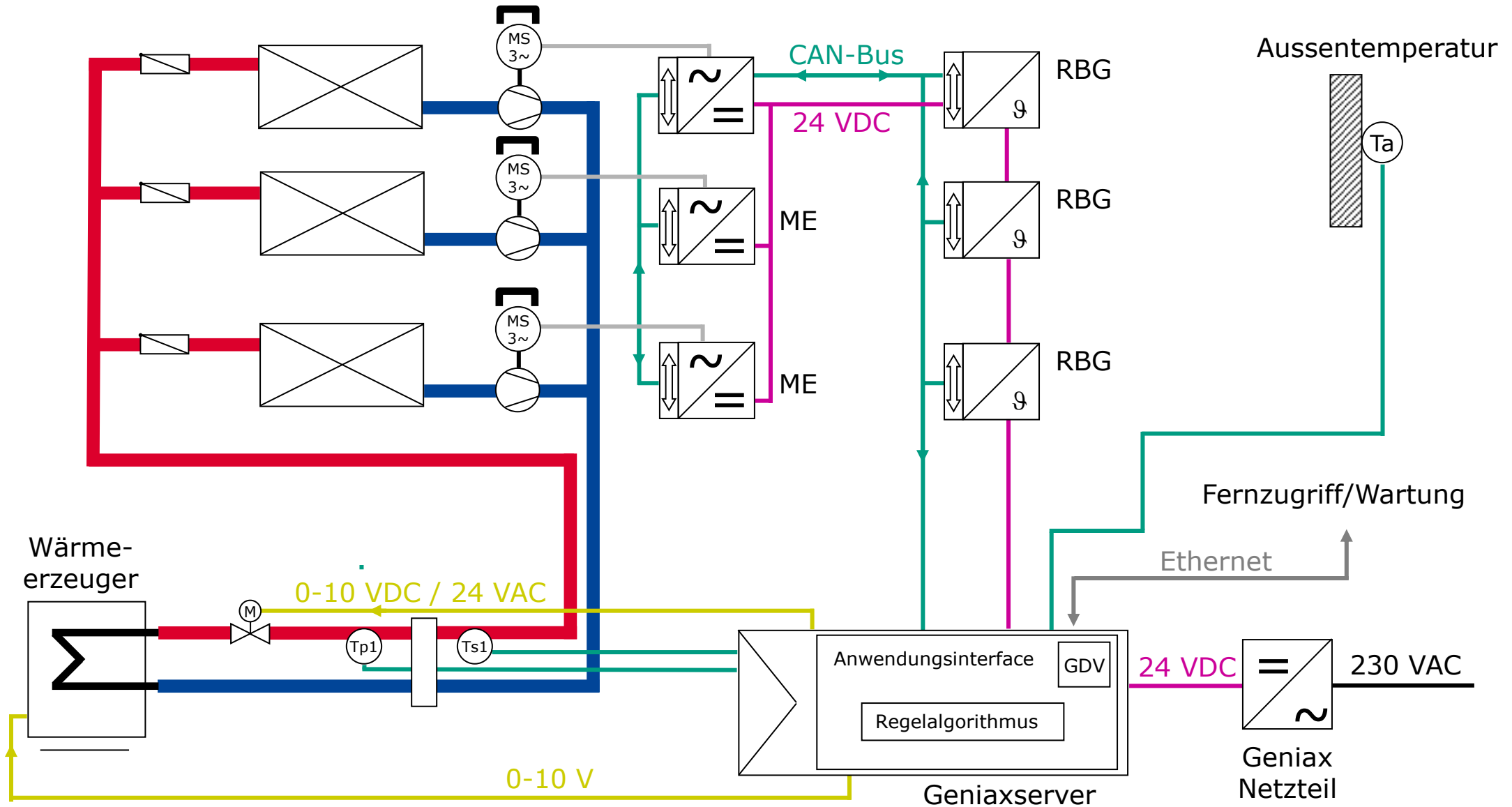
$l_{\text{Welle}} = 17,5 \text{ m}$

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

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

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

Geniax Systemübersicht



- Umwandlung von Energie

Energie eines Fluids in mechanische Energie – Kraftmaschine

mechanische Energie an Fluid zuführen - Arbeitsmaschine

- Strömungsmaschine als Arbeitsmaschine

Energieübertragung an

Wasser -- Pumpe (Kreiselpumpe)

Luft -- Verdichter (Kreisel-, Turboverdichter)

Ventilatoren

Gebläse

Kompressoren

- Strömungsmaschine als Kraftmaschine = Turbine

Energie aus	Wasser	--	Wasserturbine
	Wind	--	Windturbine
	Dampf	--	Dampfturbine
	Gas	--	Gasturbine

- Kolbenmaschinen

Kolbenpumpe – Kreiselpumpe

Kolbenverdichter – Kreiselverdichter

Verbrennungsmotor – Gasturbine

etc.

Strömungsmaschinen haben in der Regel Vorteile bei großen Volumenströmen und bei der Umsetzung großer Leistungen (geringeres Gewicht und geringere Baugröße).

Strömungsmaschinenindustrie in Deutschland

- Windkraftanlagen

ca. 100.000 Beschäftigte (z.B. Nordex, Suzlon)
sehr gut im Weltmarkt präsent

- Pumpen

ca. 30.000 Beschäftigte (z.B. KSB, WILO)
Weltmarktführer

- Flugtriebwerke

Beschäftigte? (z.B. MTU, Rolls Royce)
gut im Weltmarkt präsent

- Turbinen

ca. Beschäftigte? (z.B. Siemens, Voith)
sehr gut im Weltmarkt präsent

- Lüfter

ca. Beschäftigte? (z.B. Ziehl Abegg)
Weltmarktführer

- ▶ Strömungstechnik
- ▶ Antriebs- und Regeltechnik, Elektronik
- ▶ Werkstofftechnik / Beschichtungen
- ▶ Sensorik
- ▶ Systemtechnik (Gebäude, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung)

- Lehrstuhl Lehre

Kraft- und Arbeitsmaschinen
Strömungsmaschinen I
Strömungsmaschinen II
Ausgewählte Kapitel

- Lehrstuhl Forschung – siehe hinten

- Strömungsmaschinen Kompetenzzentrum

fakultätsübergreifende Forschung

- Turbo Technologies GmbH

Entwicklungs- und Beratungsprojekte für die Industrie

► **Europaweit führendes Forschungszentrum für hydraulische Strömungsmaschinen**

Hydraulik - Antrieb – Regelelektronik

Werkstofftechnik

Anwendungen der

Verfahrenstechnik

Wasserver- und Abwasserentsorgung

Gebäudetechnik

Produktion und Service

Koordination der interdisziplinären Zusammenarbeit

Inhalt der Vorlesung Strömungsmaschinen I

- Einführung / industrieller Hintergrund
- Strömungstechnische Grundlagen
 - Navier-Stokes-Gleichungen, Kontinuitätsgleichung
 - Turbulenzmodellierung
 - Grenzen der verschiedenen Modellierungsmöglichkeiten
- Kavitation
- Entwurf von Radialmaschinen und strömungstechn. Optimierung
- Kennlinien und Verluste
- Grundlagen der SM- Antriebstechnik
- Grundlagen der Regelung von Strömungsmaschinen und Sensorik
- Windkraftanlagen

Carbon Foodprint am Beispiel der Pumpen

- Definition:

Gesamtmenge an Treibhausgasen, die durch eine Produktgruppe emittiert wird. In der Regel wird zur Vereinfachung die Menge Kohlendioxid angegeben.

- Berechnung:

Treibhausgasemissionen entlang eines Lebenszyklus und Umrechnung in CO₂- Äquivalent.

- für Produkte werden PCF – Product Carbon Footprint – Angaben zum Wettbewerbsargument

Carbon Foodprint am Beispiel der Pumpen

- Abbau und Produktion der Werkstoffe
- Produktion der Pumpe (Energieverbrauch, weiterer environmental impact)
- Installation und Inbetriebnahme der Pumpe
- Betrieb der Pumpe
- Stilllegungs- und Entsorgungskosten

politisches Ziel: Schonung unserer natürlichen Ressourcen

(z.B. 20 20 oder Die Hightech- Strategie für Deutschland des BMBF)

- ▶ starker Fokus auf Energieeffizienz und „klares“ Wasser
- ▶ Pumpen: ca. 11% des Primärenergieeinsatzes in Europa

► ECO Design

Werkstoffe – geringster Materialensatz, Verschleißfestigkeit, Wiederverwertbarkeit etc.

Energieverbrauch – hoher Wirkungsgrad, Regelbarkeit bis zur Selbstadaption

► ECO Production – Enviromental Impact- Reduzierung

► ECO Use – Erkennung des tatsächlichen Bedarfs und effiziente Realisierung

Carbon Foodprint am Beispiel der Pumpen

- Analysen der gesamten Kette haben für Pumpen gezeigt, dass 95% des carbon footprint aus dem Betrieb von Pumpen resultieren.
- 11% des gesamten Energieverbrauchs in Europa werden durch den Betrieb aller Pumpen verursacht. Das sind 308 TWh.

Potenzial für die Energieeinsparung (EUROPUMP)

	ENERGY SAVING POTENTIAL			TOTAL ENERGY CONSUMP- TION
	PRODUCT APPROACH	EX. PRODUCT APPROACH	SYSTEMS APPROACH	
STAND-ALONE CIRCULATORS	13 (45 %)		-	29
WATER PUMPS	5	35	18	137
BOILER CIRCULATORS	11 (45 %)		-	24
OTHER PUMPS	-	-	41 (37%)	110
TOTAL SAVING	5	59	59	300
POTENTIAL	123			

Erhöhung der Energieeffizienz

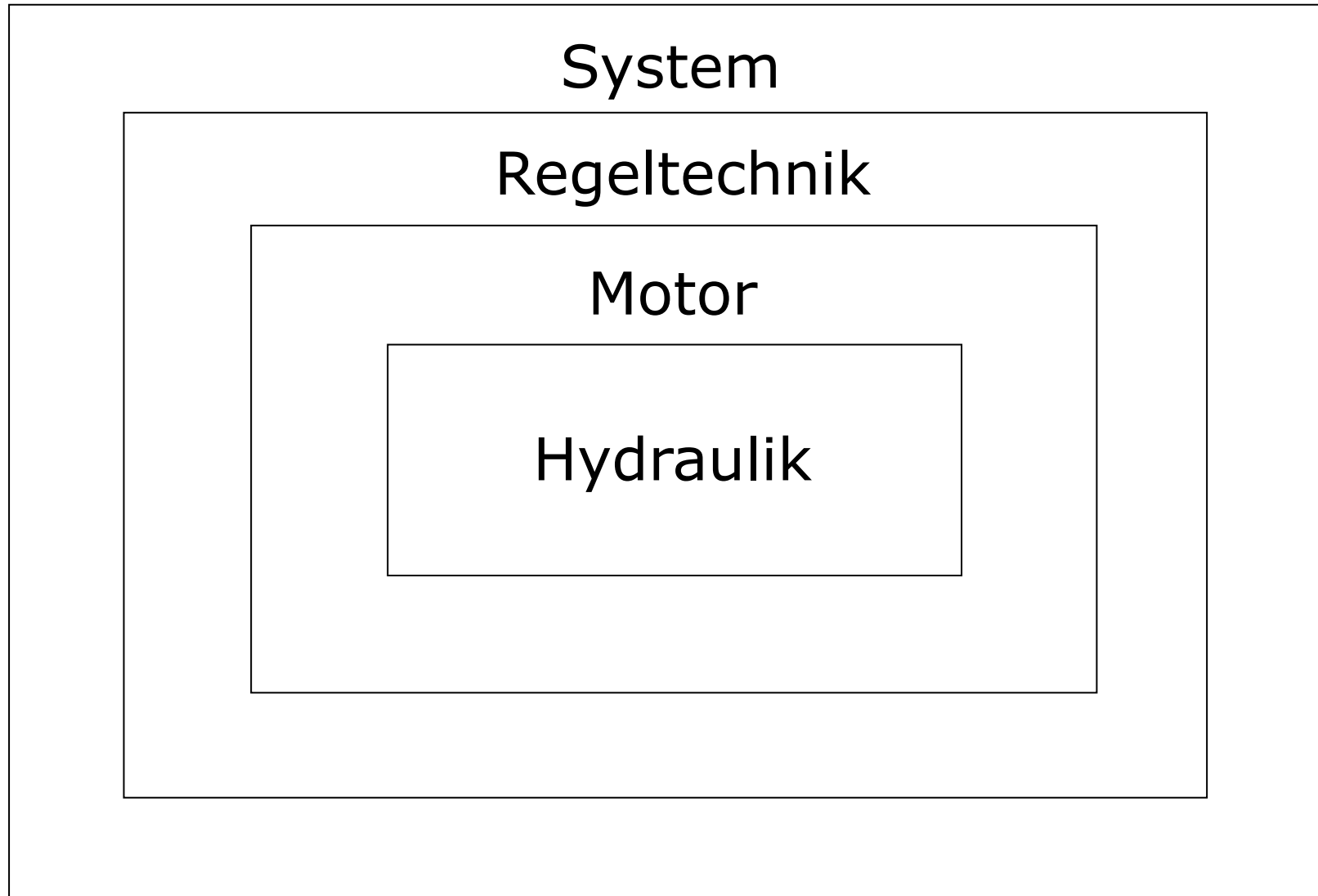
- ▶ Optimierung der Komponenten

 - Hydraulik

 - Antrieb incl. Regelung

- ▶ Optimierung des Systems

Von der Komponente zum System



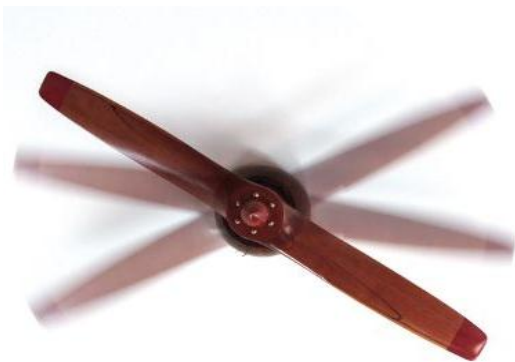
Strömungsmaschinen im System

Flugzeug mit Propeller



http://www.airventure.de/reno_races2003_04.htm

http://www.e-pics.ethz.ch/index/ETHBIB.Bildarchiv/ETHBIB.Bildarchiv_Dia_240-268_29398.html



<http://www.tischlerei-baumgartner.at/popup.php?n=29>



http://www.ipmsdeutschland.de/Flugzeuge/Schissau/P-47D_Arii.html

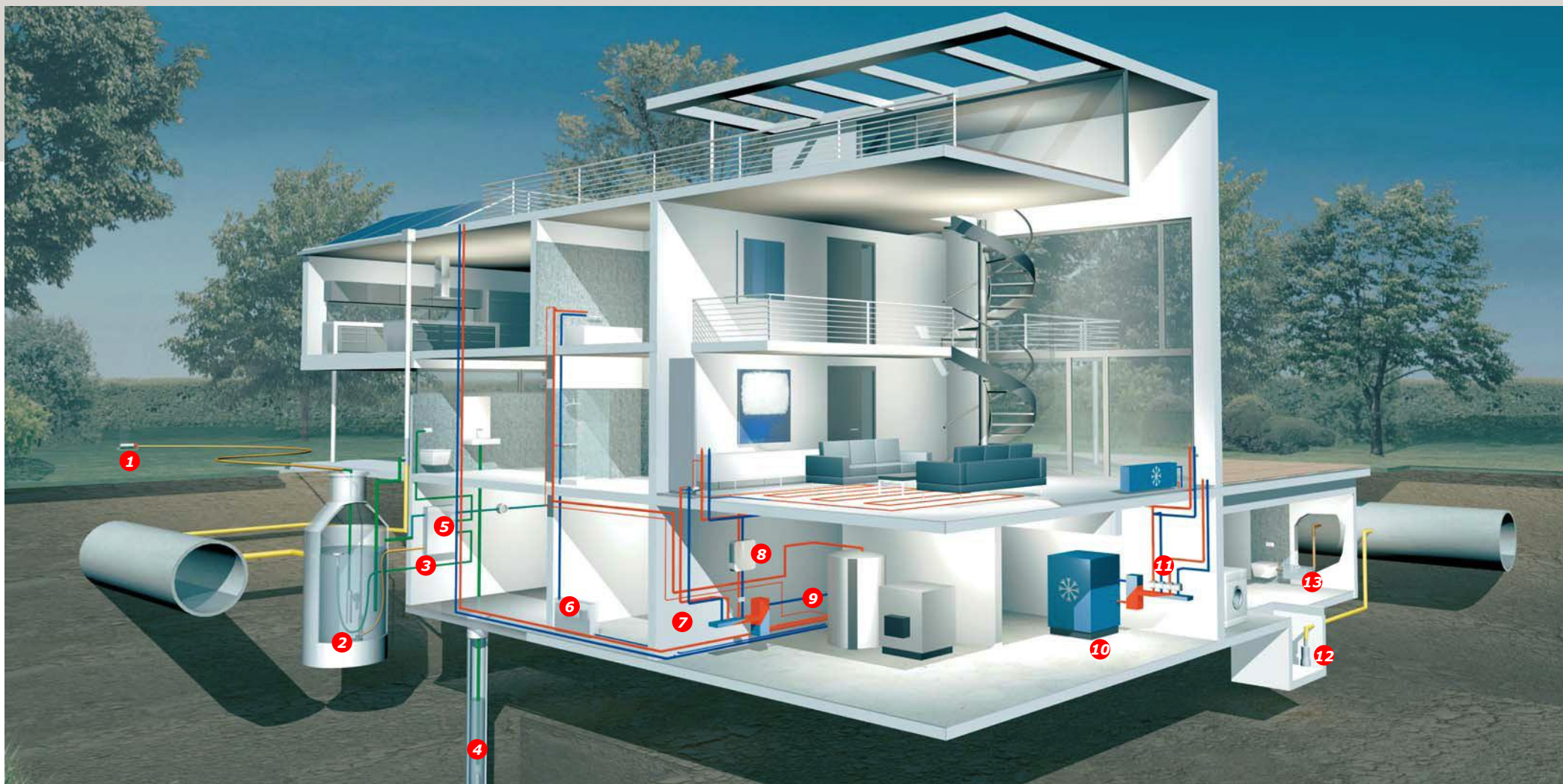


http://www.leifiphysik.de/web_ph07_g8/umwelt_technik/09dyn_auftrieb/propeller.htm



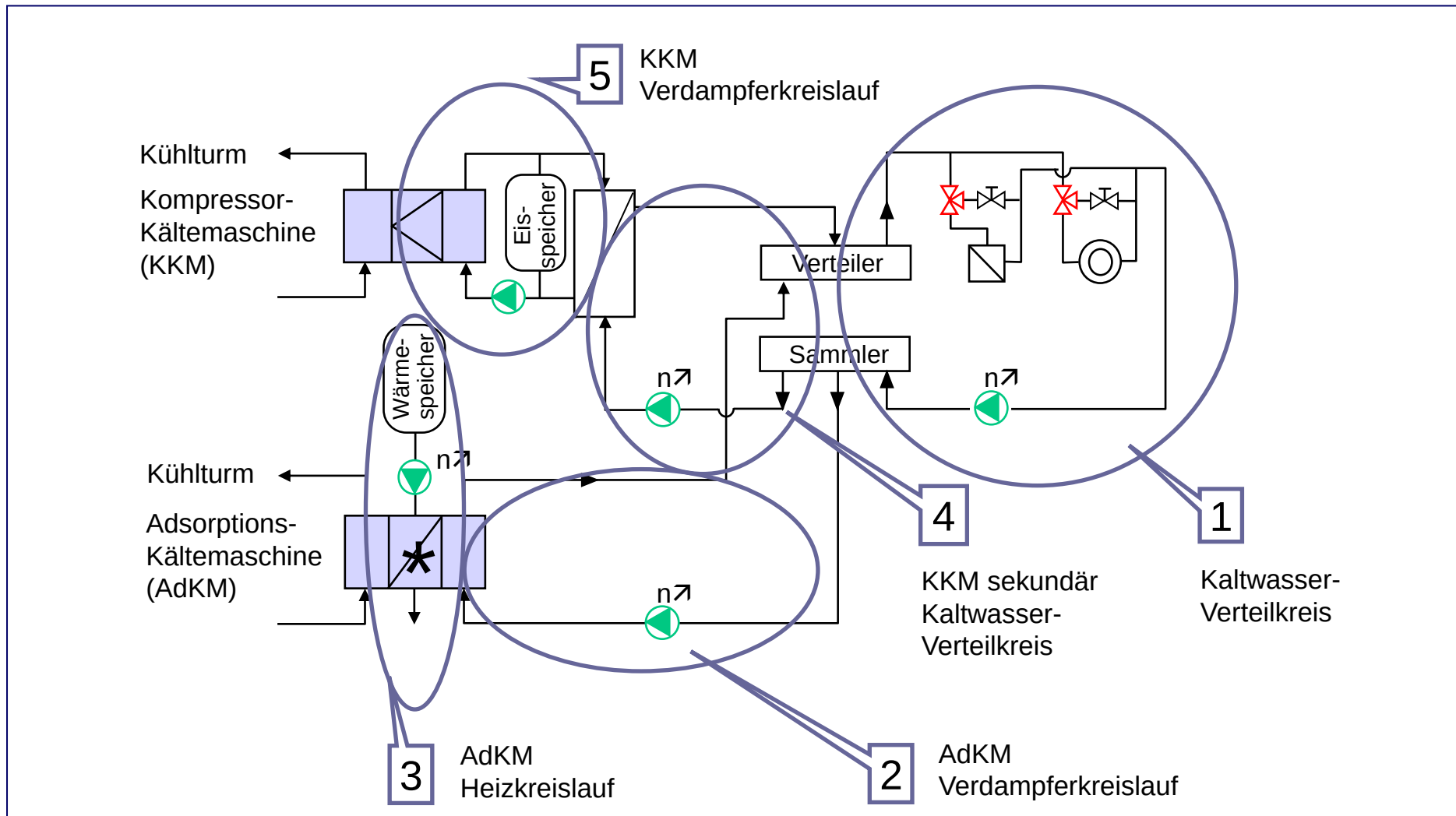
Municipal water management.





Building service.

Kühlkreisläufe eines Gebäudes



- Pumpen incl. Antrieb und Regelung
- Windkraftanlagen
- Schiffspropeller
- Energiesysteme

Reduzierung des Energieverbrauches von Pumpensystemen

- numerische Verfahren zum Entwurf und zur Optimierung der Bauteile hydraulischer Strömungsmaschinen und Modellierung instationärer Strömungsvorgänge
- **Systemintegration – von der Komponenten- zur Systemoptimierung**
 - numerische und experimentelle Systemanalysen
 - Umsetzen des dynamischen Systembedarfs
(systemangepasste adaptive Regelung,
dynamische geometrische Anpassung etc.)

► **Reduzierung der Schallemission von hydr. Strömungsmaschinen**

- numerische und experimentelle Verfahren

Alleinstellungsmerkmal des Lehrstuhls in D (für Pumpen)

- Integration bionischer Methoden in die Strömungsmaschinenforschung

- **Werkstofftechnik** (z.B. metallische Werkstoffe/Beschichtungen und/oder numerische Modellierung von Werkstoffeigenschaften und/oder Composit-Werkstoffe, ...)

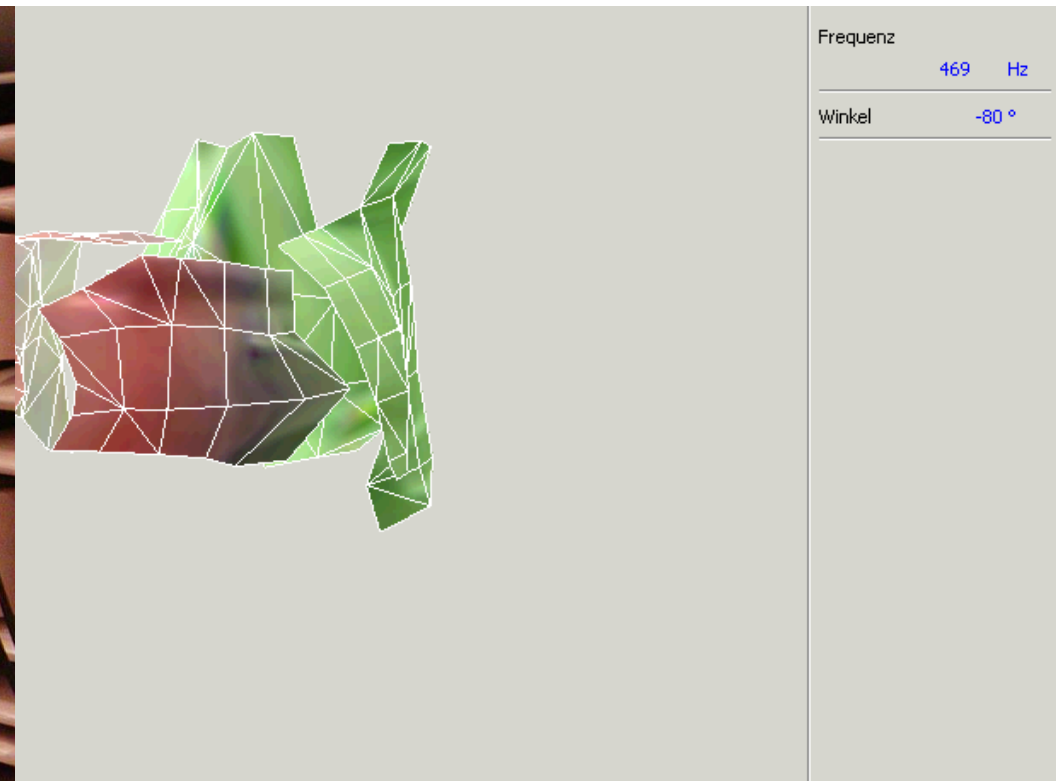
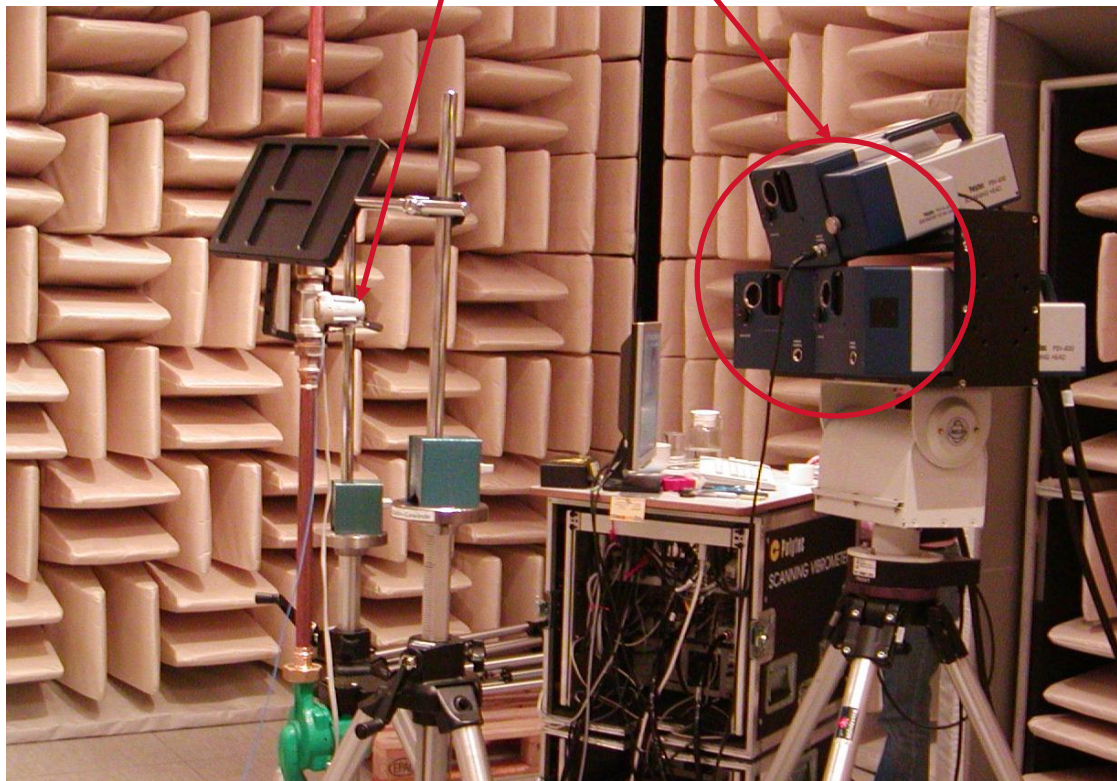
- ▶ **Kühlung von Motor- und Elektronikkomponenten**
- ▶ **Mechatronik / Regelungstechnik**
 - Entwicklung adaptiver Regler
 - Stabilität von Reglern
- ▶ **Produktionstechnik und Servicekonzepte**

- ▶ **Optimierung von Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungssystemen mit dem speziellen Augenmerk auf Pumpen**

Geniax mode shape measurement

Geniax

3D-Laservibrometer



Beispiel Rührwerke

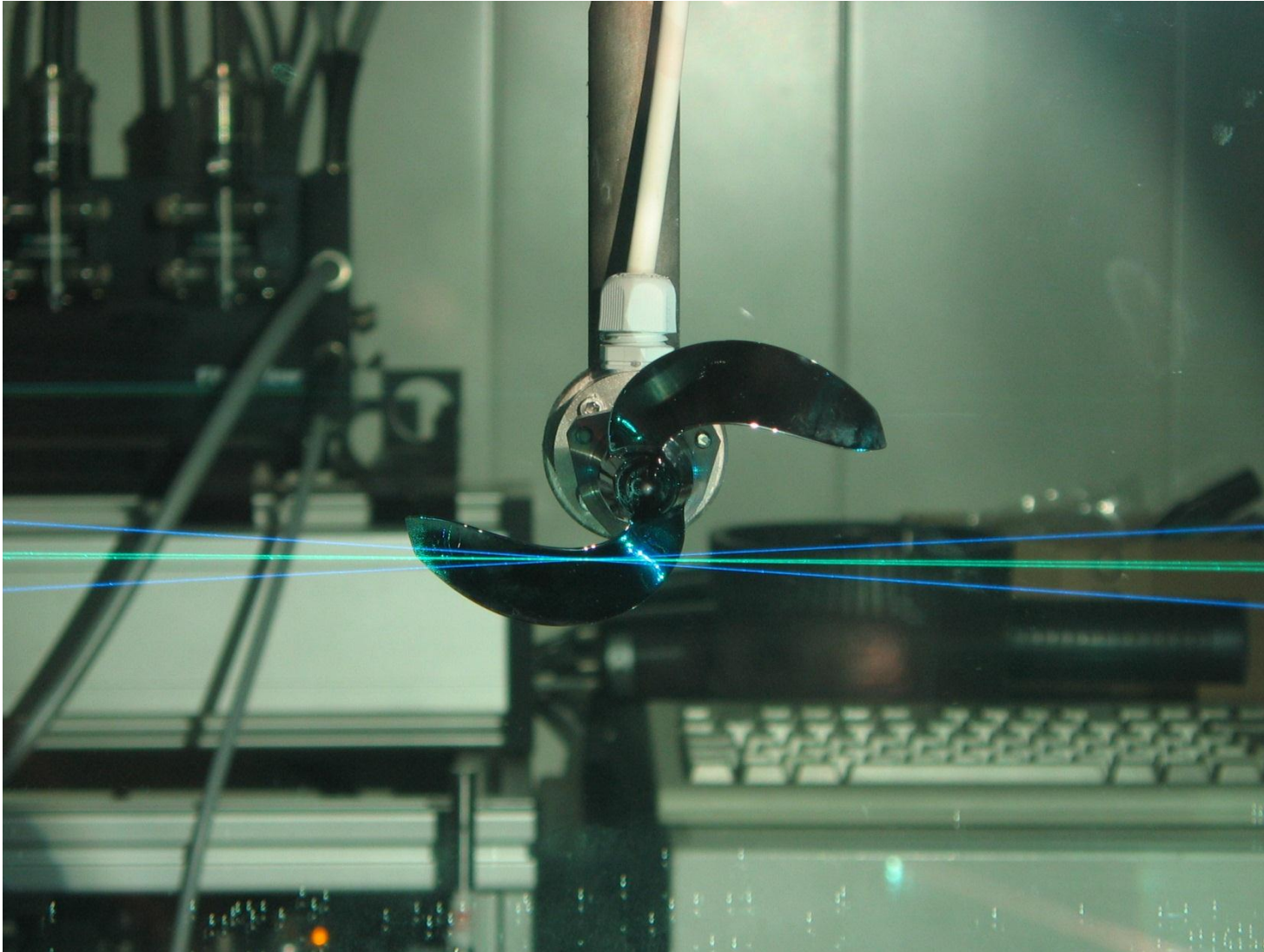


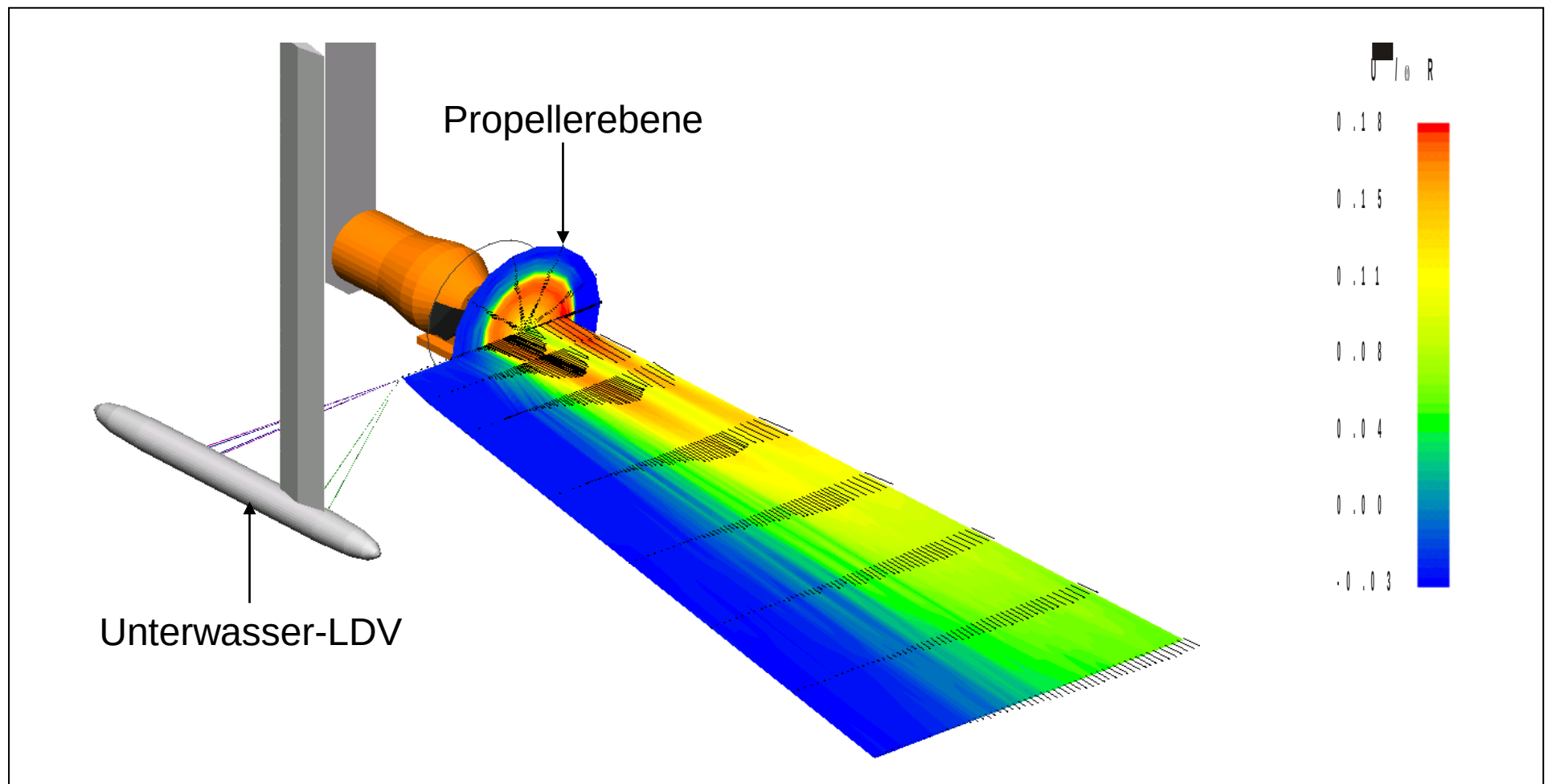


USA: R.M. Clayton sewage treatment plant, Atlanta

Wilo in municipal water management.

Research on Mixers





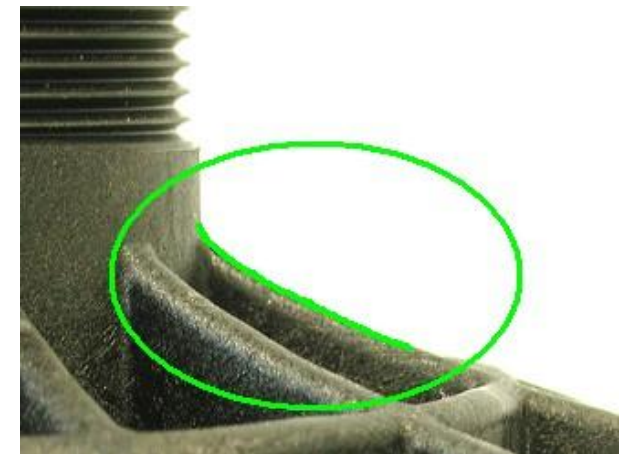
Leder, A.: Unveröffentlichter Bericht der Universität Rostock an die WILO AG
Freistrahle eines Propellerrührers

Lernen von der Natur



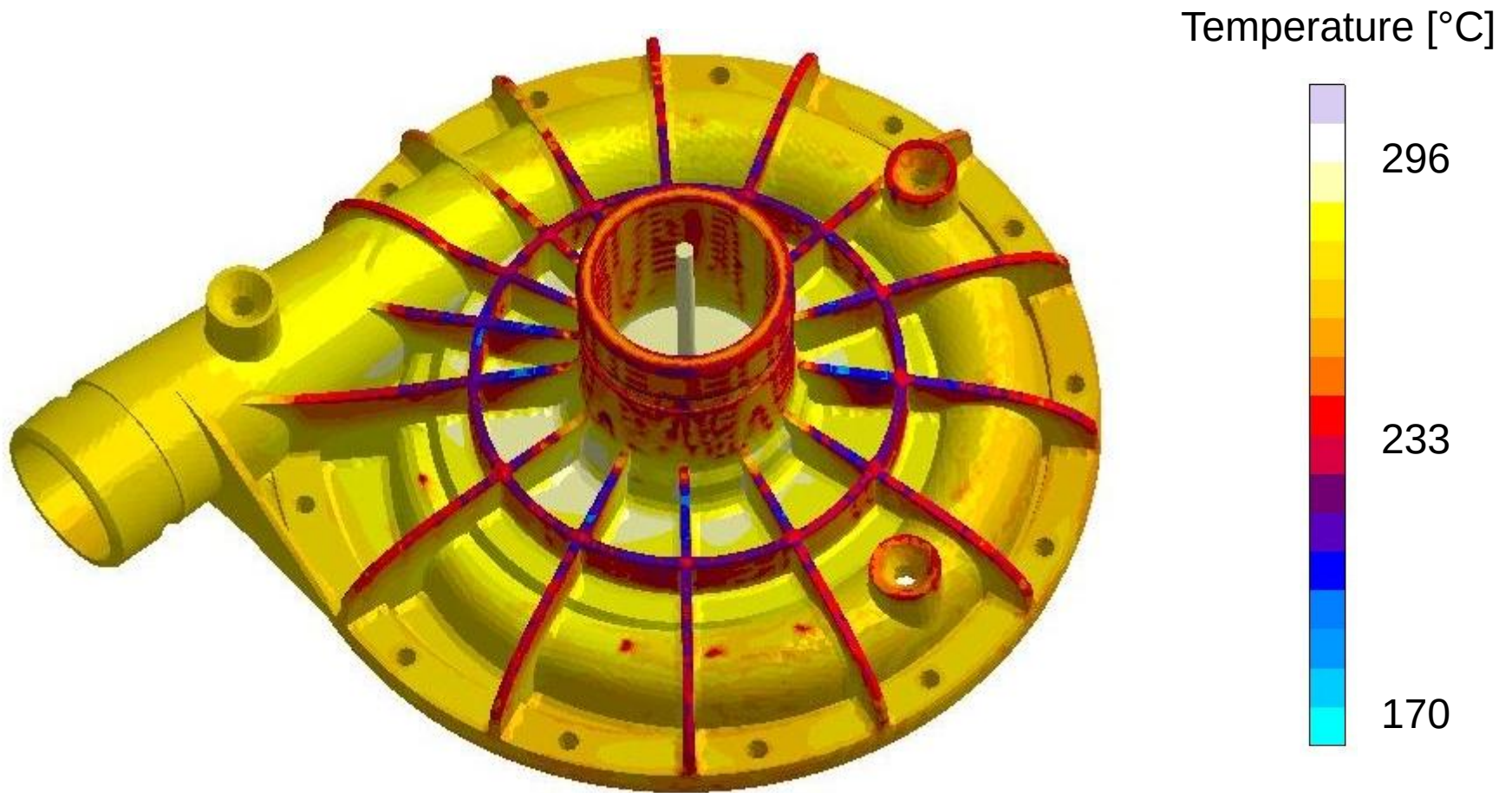
How trees cope with notch stress

Lernen von der Natur

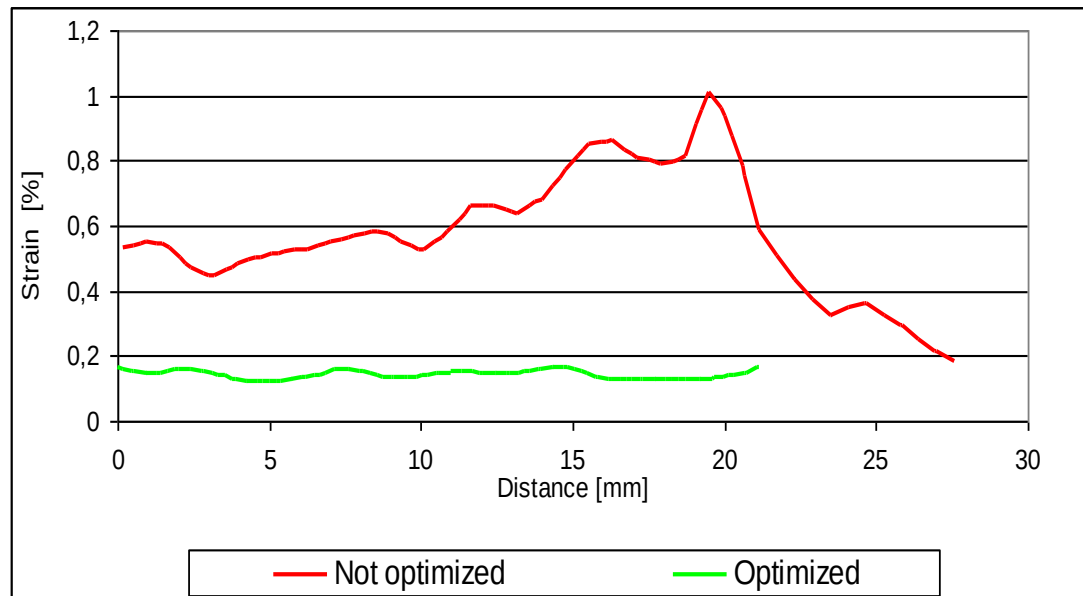
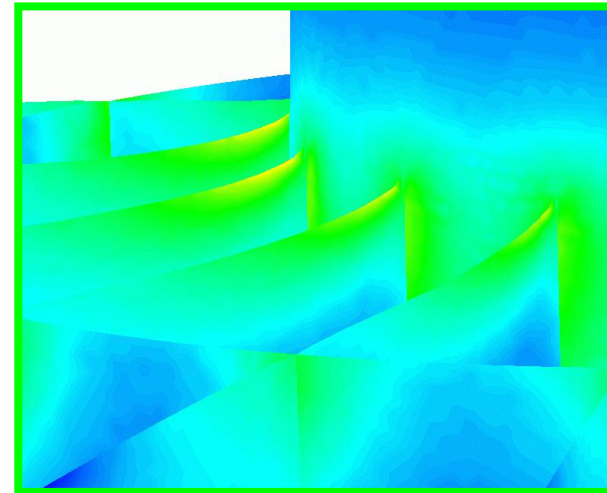
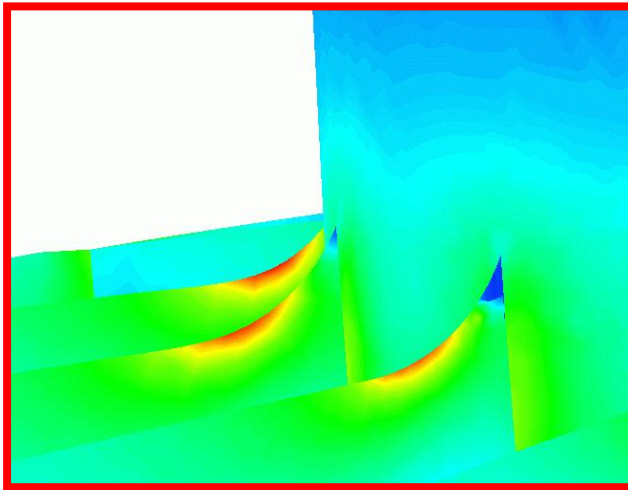


An engineering part grows like trees

3D Filling simulation of a pump housing



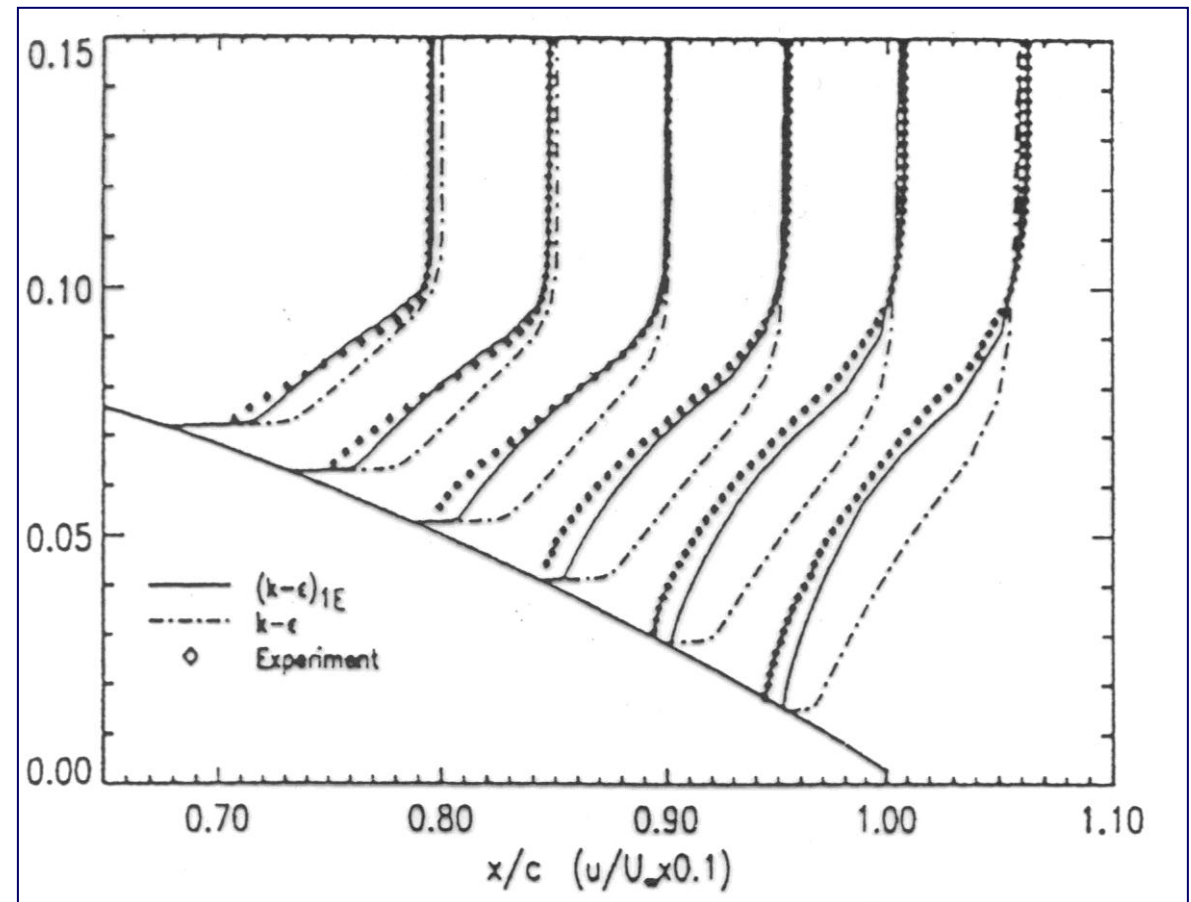
CAO Examples – PH BAC



Beispiel Strömungstechnik- Problem: Ablösung

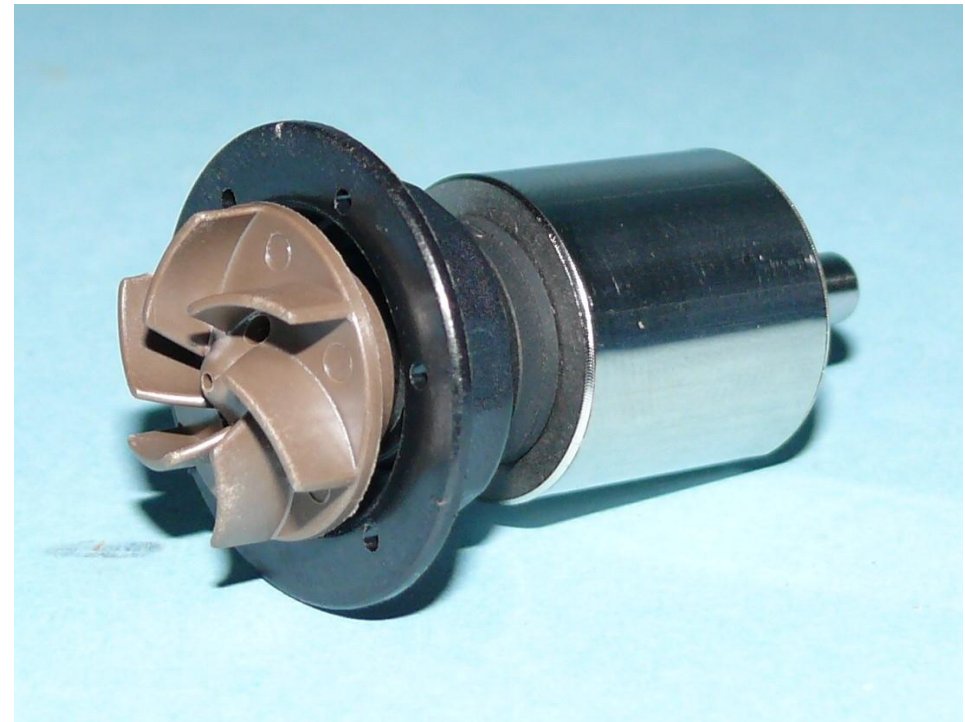
Velocity profiles for
NACA 4412 airfoil,
 $a=13.87$, $Re=1.7 \times 10^6$

y/c



F.R. Menter
Eddy Viscosity Transport Equations
and their relation to the $k-\epsilon$ model
NASA Technical Memorandum 108 854

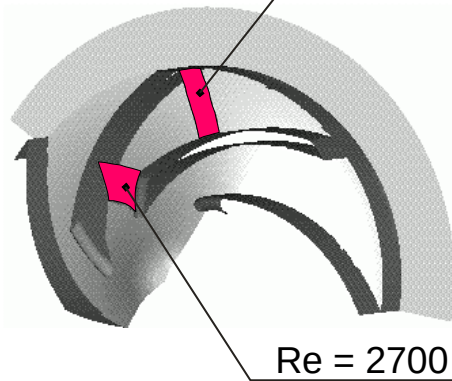
Laufblad mit und ohne Motor



Reynoldszahlen in verschiedenen Laufrädern

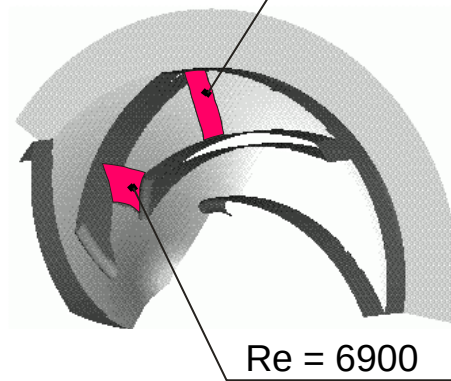
Kleinstpumpe: Drehzahl 1

Re = 2500



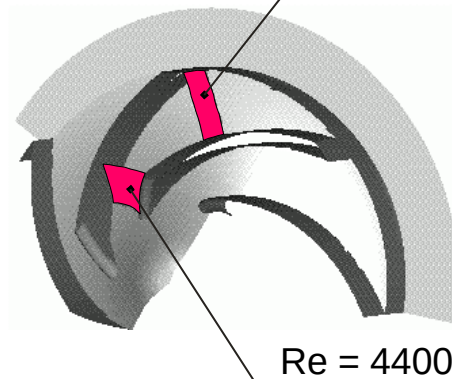
Kleinstpumpe: Drehzahl 2

Re = 6200



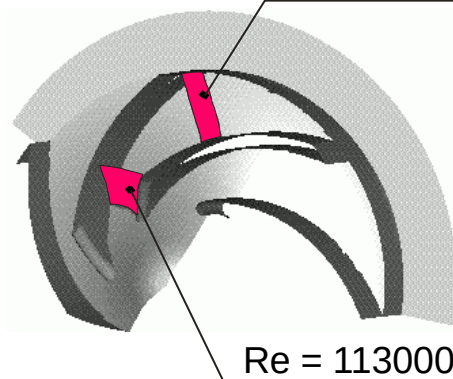
**Standard-Heizungspumpe:
n = 2900 1/min**

Re = 40000

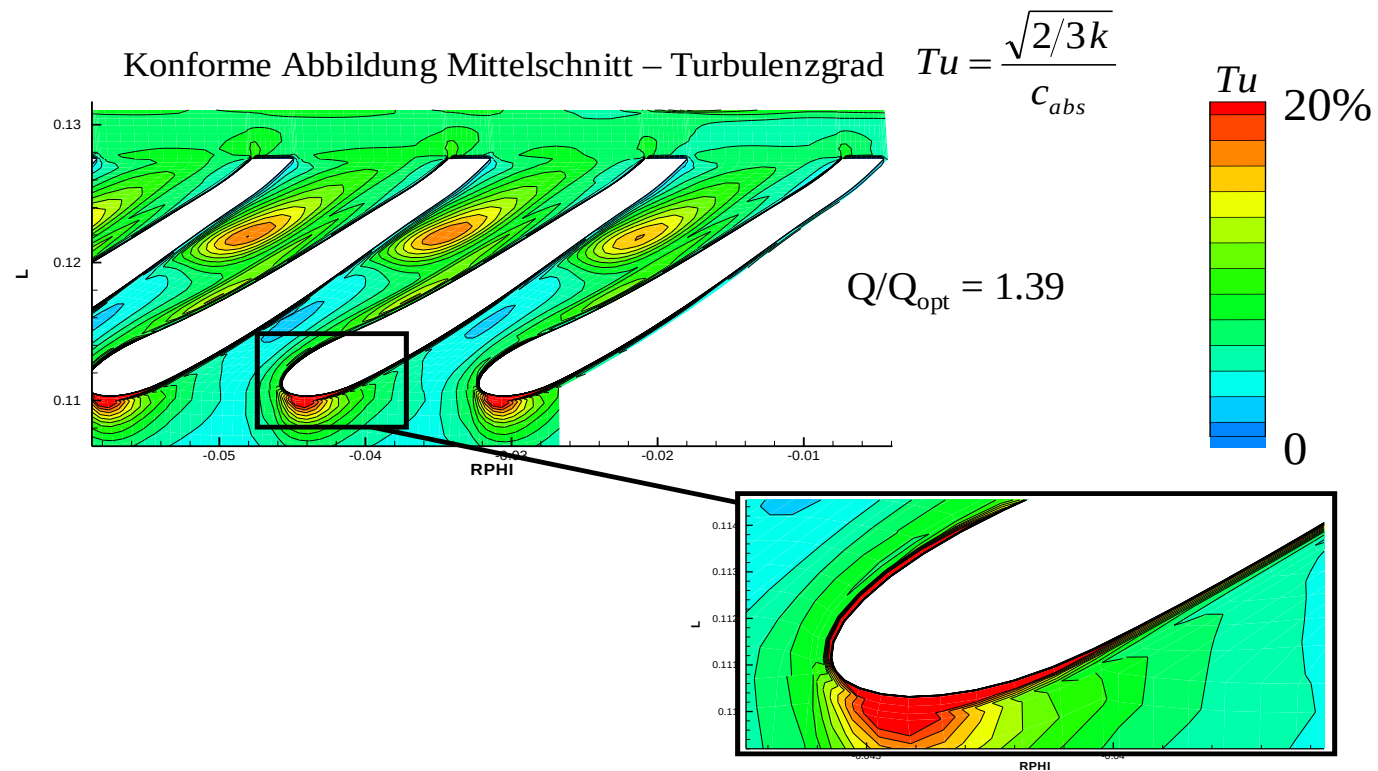


**Standardpumpe:
n = 2900 1/min**

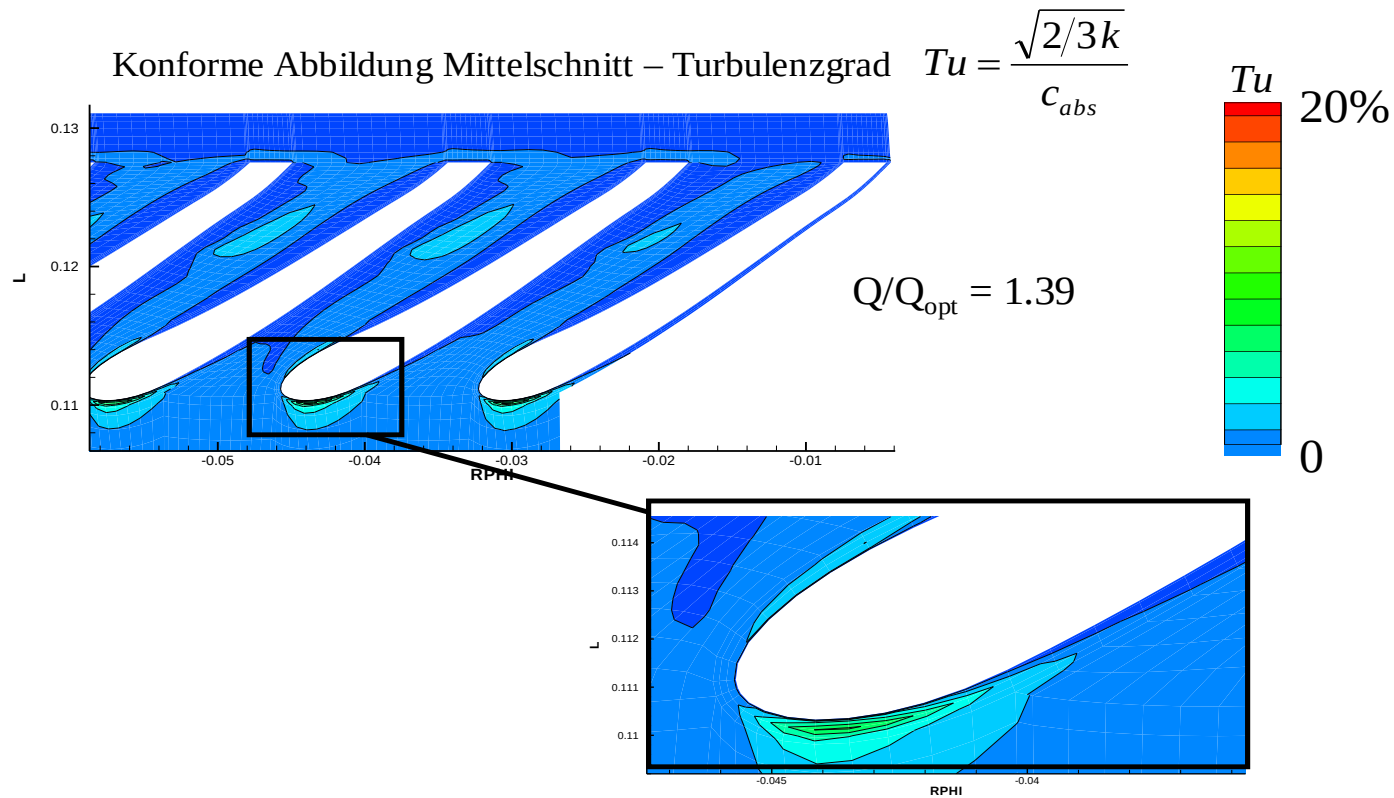
Re = 105000



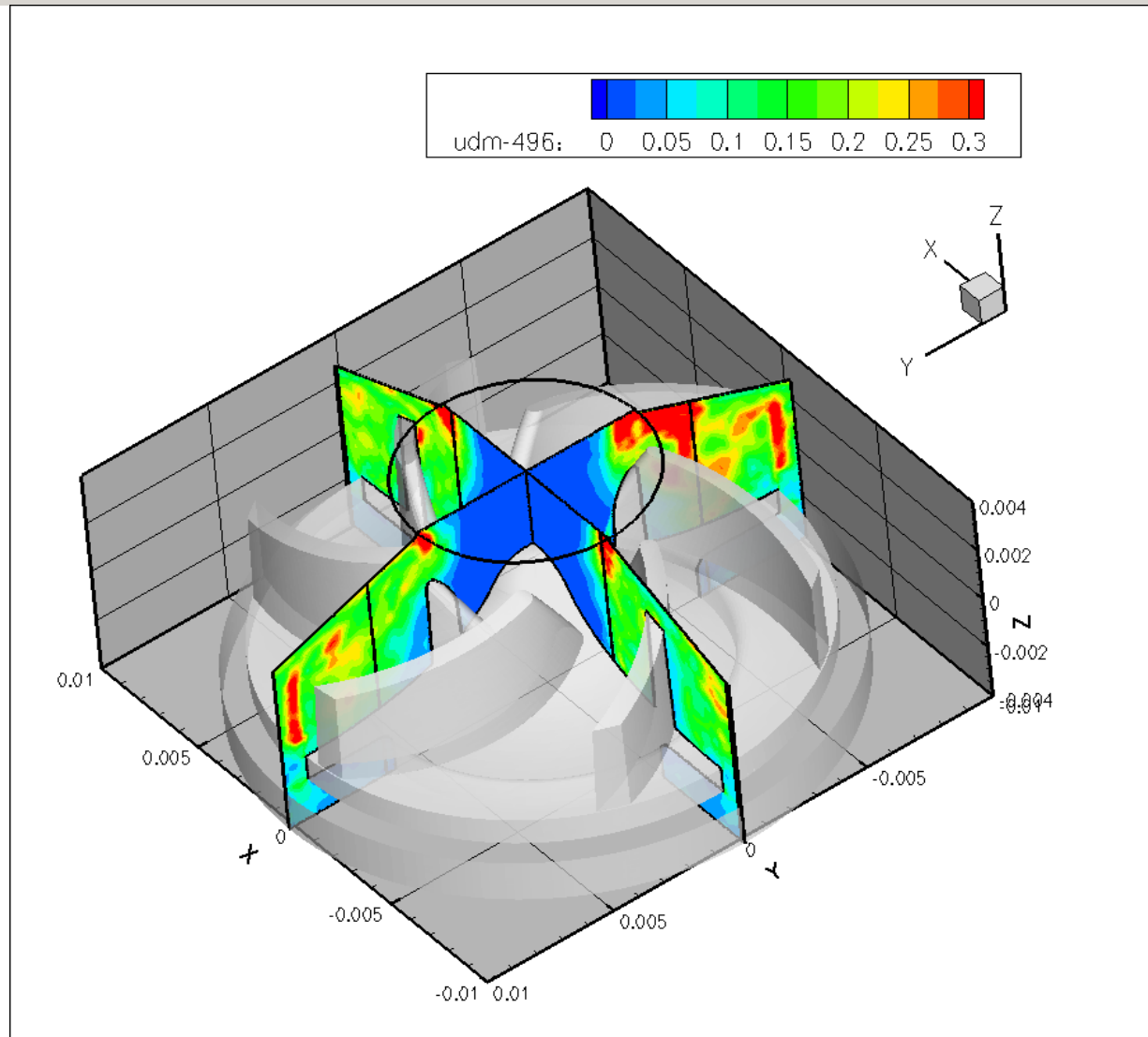
Simulationsverfahren: RANS; Turbulenzmodell: Standard- k - ε



Simulationsverfahren: RANS; Turbulenzmodell: V2F



Simulationsverfahren: LES



im Bild: turbulente kinetische Energie [m^2/s^2]

Unsicherheiten / offene Fragen

► Strömung mit starker Stromlinienkrümmung

SST- CC ?

LES ?

► Transitionsvorgänge

low Re- Modelle mit Korrekturen ?

LES ?

Ablösung und Wiederanlegen

DES (RANS in der Grenzschicht, LES in abgelösten Bereichen)?

LES ?

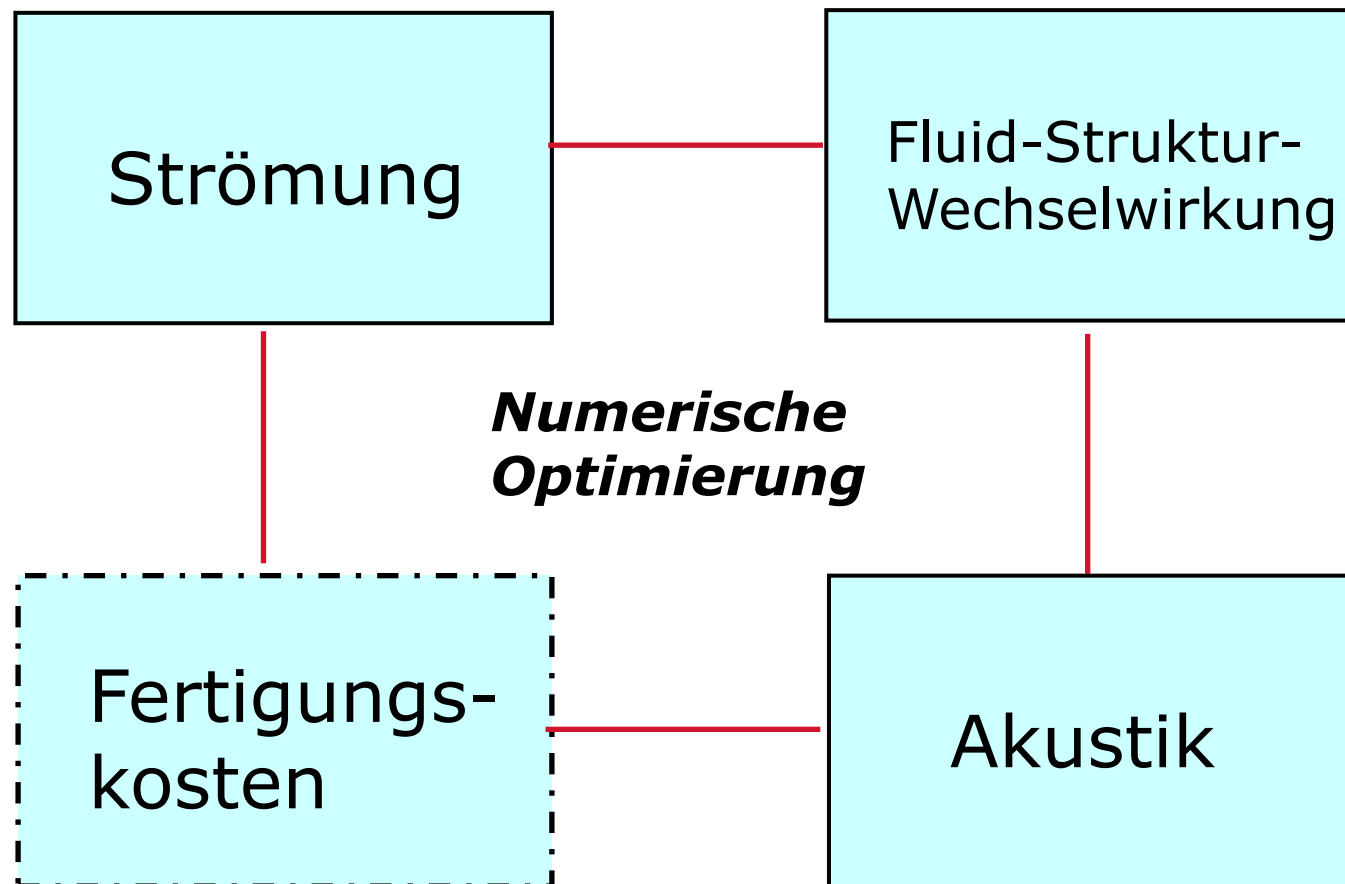
Unsicherheiten / offene Fragen

► Akustik

DES ?

LES ?

Forschungsziel : Numerische Optimierung von Komponenten mit/ohne Systemanbindung



Literatur

Strömungstechnik:

Truckenbrodt, E.:

Fluidmechanik, Springer Verlag

Oertel, H.:

Strömungsmechanik, Springer Verlag

Schneider, W.:

Mathematische Methoden der
Strömungstechnik, Vieweg

Schlichting, H.; Gersten, K.:

Grenzschicht Theorie, Springer Verlag

Iben, H.K.:

Strömungslehre in Fragen und Aufgaben,
Teubner Verlagsgesellschaft

Leder:

Abgelöste Strömungen

Literatur

Strömungsmaschinen:

Pfleiderer, C.; Petermann, H.: Strömungsmaschinen, Springer Verlag

Gülich, J.F.: Kreispumpen, Springer Verlag

Hau, E. Windkraftanlagen