

Sommersemester 2011

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

Kraft- und Arbeitsmaschinen,
Teil Strömungsmaschinen

Prof. Dr. Hendrik Wurm
Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

- Einführung, Arten und grundsätzlicher Aufbau von Strömungsmaschinen
- Strömungsmaschinen in Anlagen
- Energieübertragung und Verluste
- Pumpen ; Kavitation
- Windkraftanlagen
- Zusammenfassung

- Umwandlung von Energie

Energie eines Fluids in mechanische Energie – Kraftmaschine
mechanische Energie an Fluid zuführen - Arbeitsmaschine



- Strömungsmaschine als Arbeitsmaschine

Energieübertragung an

Flüssigkeit -- Pumpe (Kreiselpumpe)

Gas -- Verdichter (Kreisel-, Turboverdichter)

Ventilatoren

Gebläse

Kompressoren



- Strömungsmaschine als Kraftmaschine

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



- Strömungsmaschinen
- Turbomaschinen , im engl. Turbomachinery
- Fluidenergiemaschinen

- Kolbenmaschinen

Kolbenpumpe – Kreiselpumpe

Kolbenverdichter – Kreiselveidichter

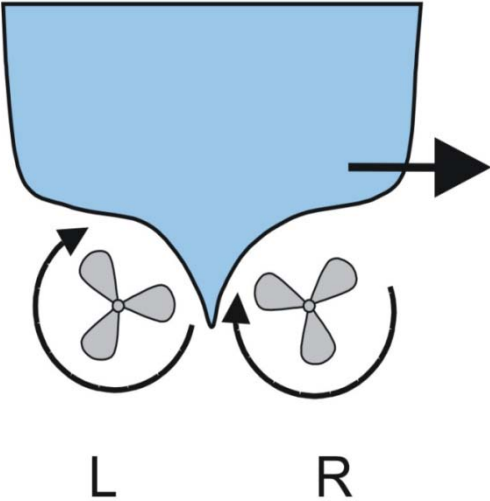
Verbrennungsmotor – Gasturbine

etc.

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

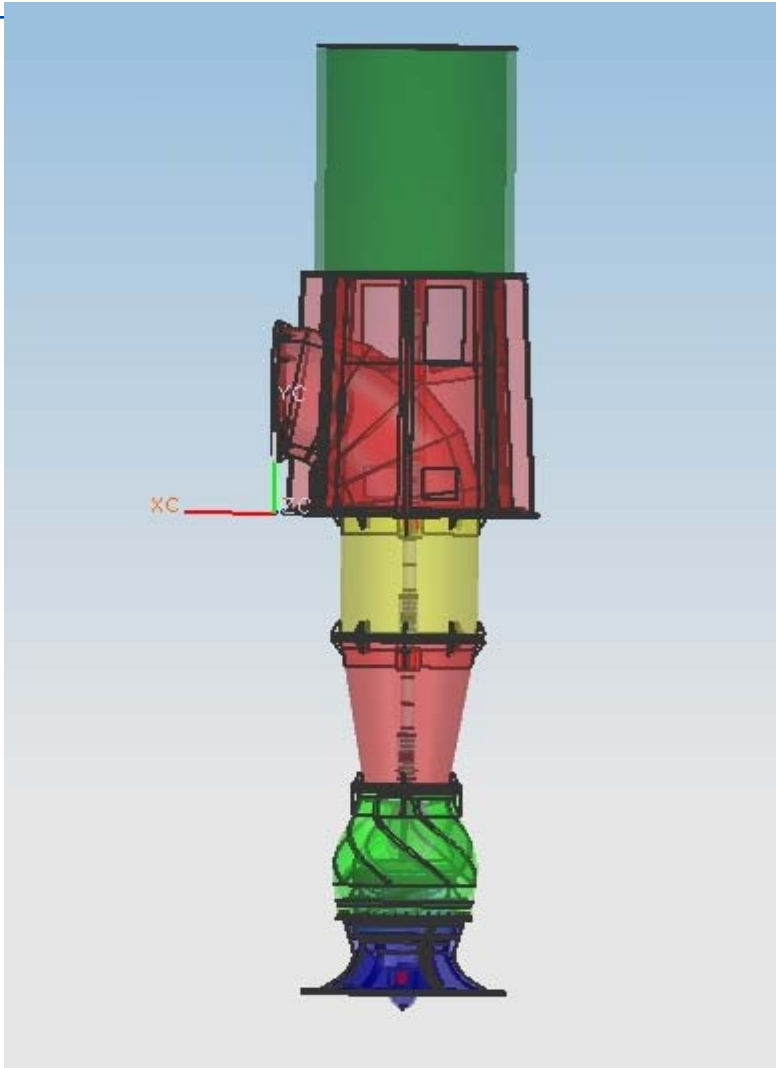
Was sind Strömungsmaschinen?

- Schiffspropeller -



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

Was sind Strömungsmaschinen? „Maßgeschneiderte“ Pumpe



Kühlwasserpumpe für konventionelles Kraftwerk

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

$H = 29 \text{ m}$

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

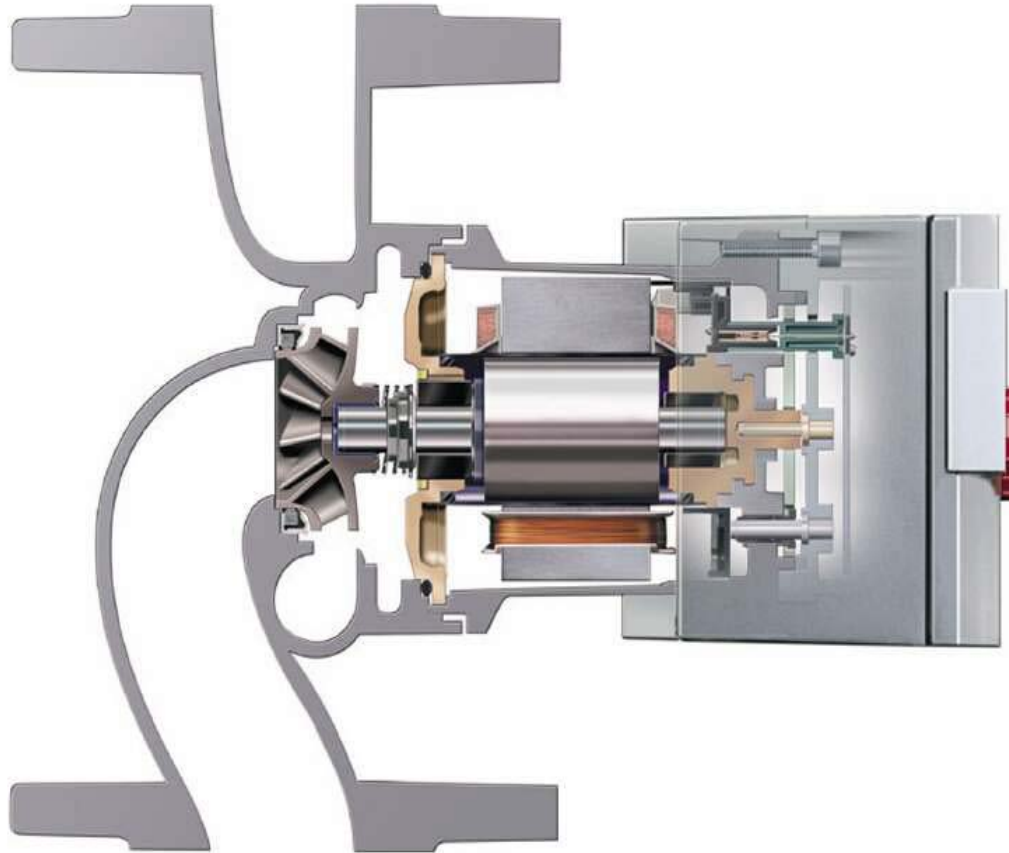
$l_{\text{Welle}} = 17,5 \text{ m}$

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

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

m ca. 115 t

Was sind Strömungsmaschinen? Pumpe mit Antrieb und Regelelektronik



Was sind Strömungsmaschinen?

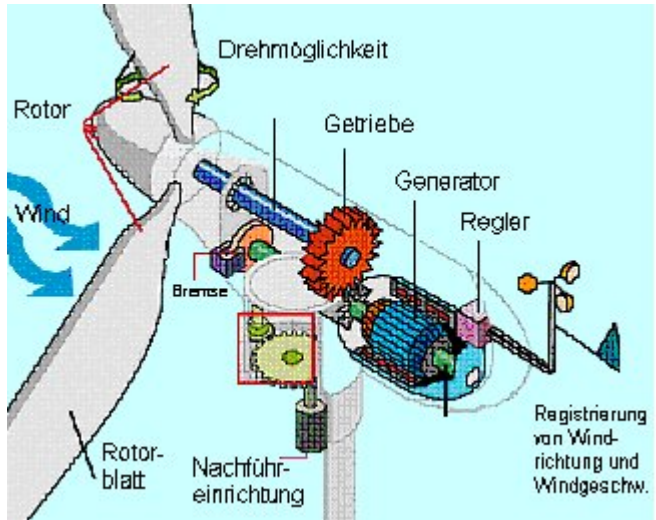
- Windkraftanlage -



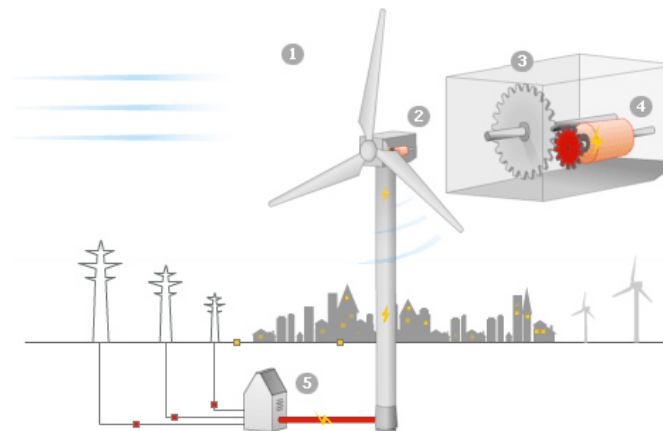
<http://wiki.sonnenertrag.eu/solarbegriffe:r:rotor>



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



<http://www.wallstreet-online.de/diskussion/1077587-51-60/gamesa-gam-nr-2-weltweit-in-windkraftanlagen-windparks-solarenergie>



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

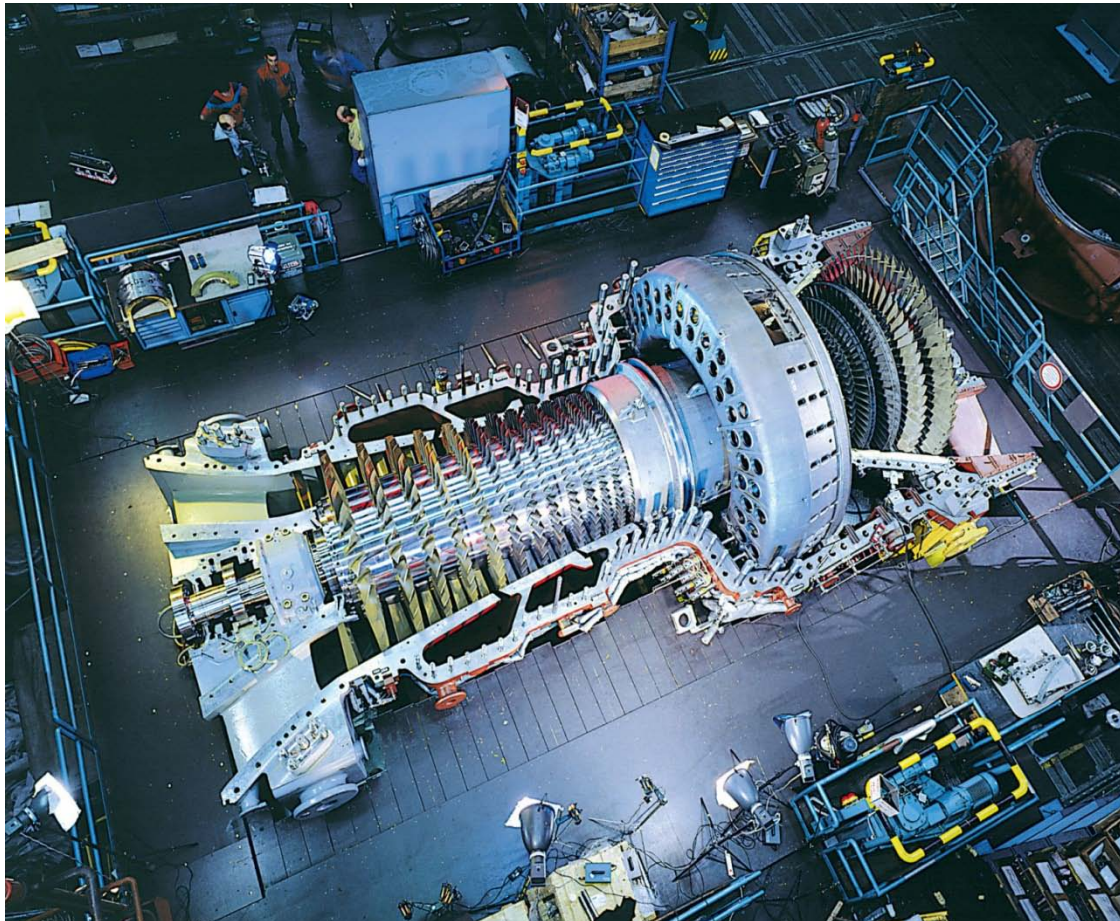
Was sind Strömungsmaschinen?

- Flugtriebwerk -



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

Beispiele für thermische Strömungsmaschinen: Alstom- Gasturb.



Quelle: www.dlr.de

Beispiele für thermische Strömungsmaschinen: Dampfturbine



www.wikipedia.org

- Rotor, Laufrad
- teilweise Stator, Leitrad
- teilweise Gehäuse
- Mechanik (Welle, Lager, Dichtungen etc.)

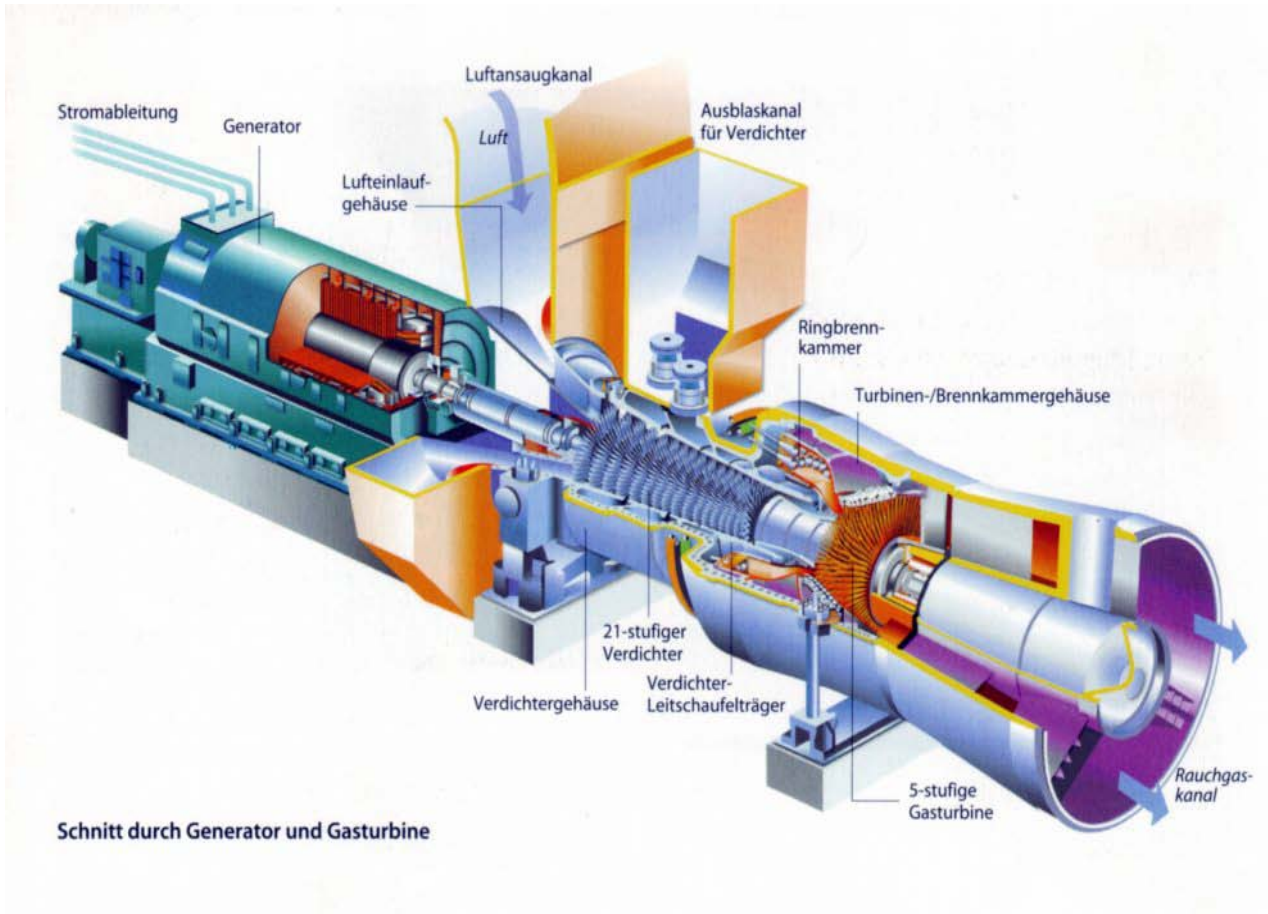
- nach den Eigenschaften des Fluids

inkompressibel
kompressibel

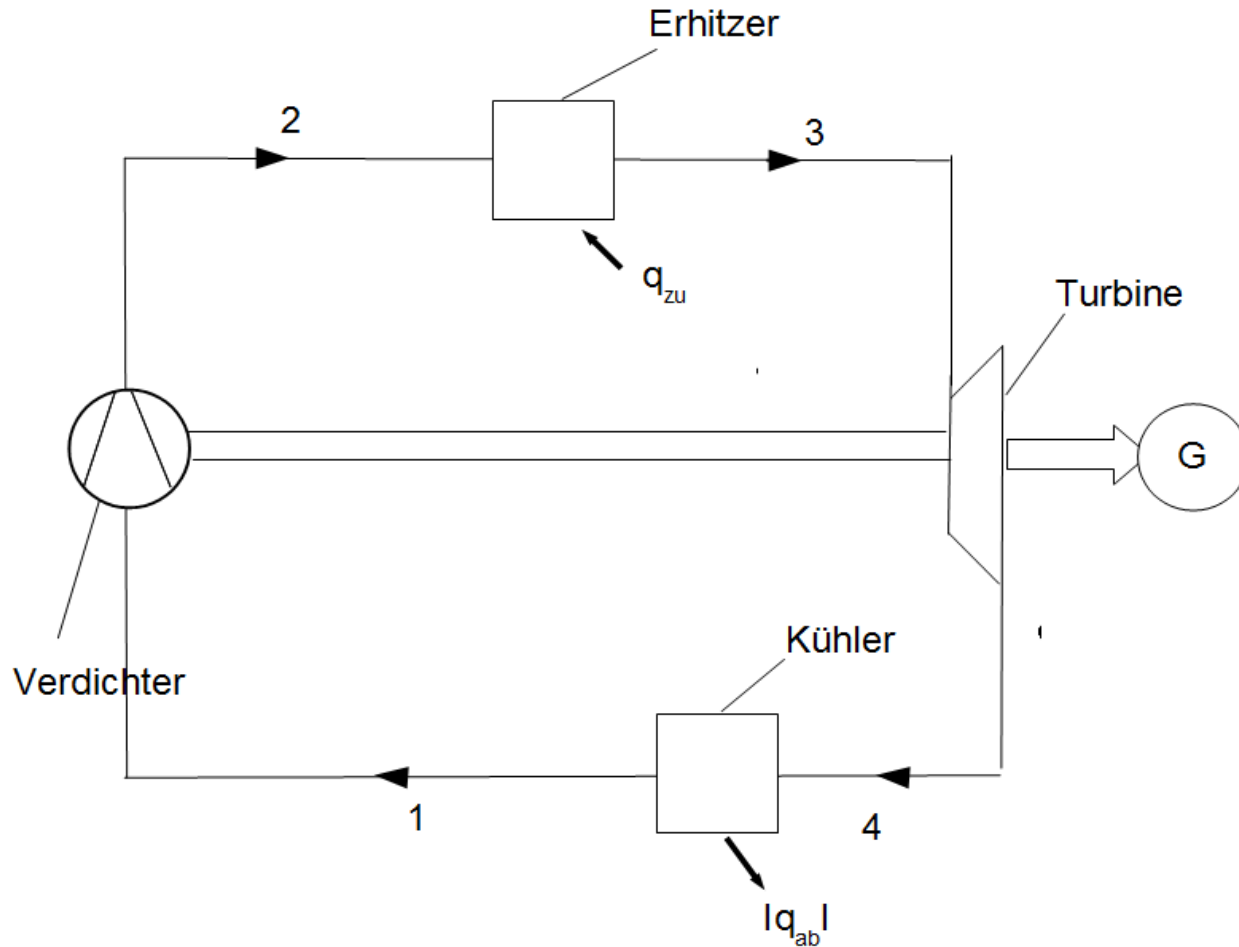
- nach der „Richtung“ der Energieübertragung

vom Fluid an den Rotor – Turbine
vom Rotor an das Fluid – Pumpe, Verdichter

Prinzipieller Aufbau einer Gasturbine



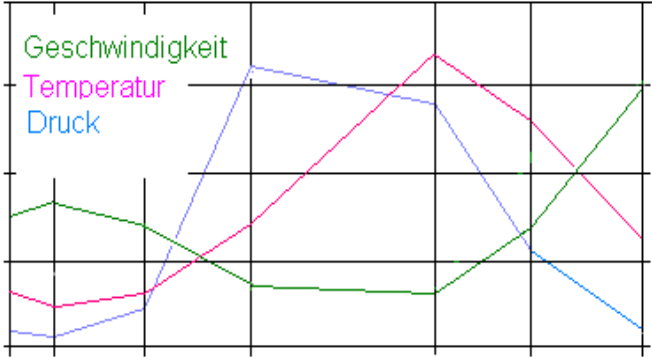
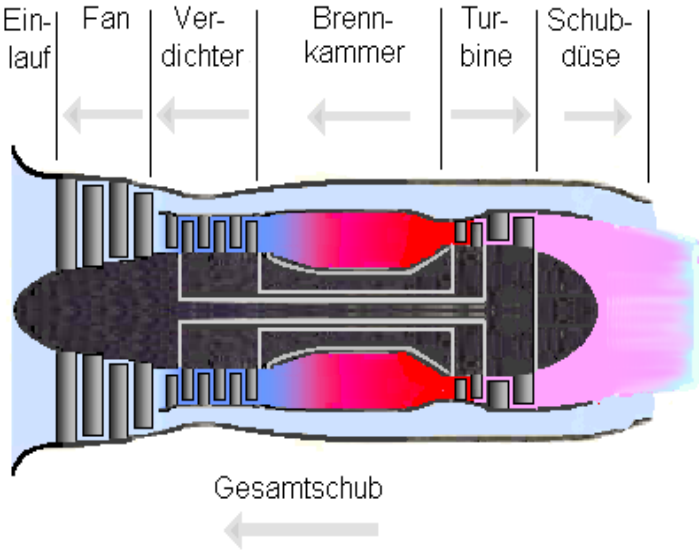
Quelle: www.hagelstein-consult.de



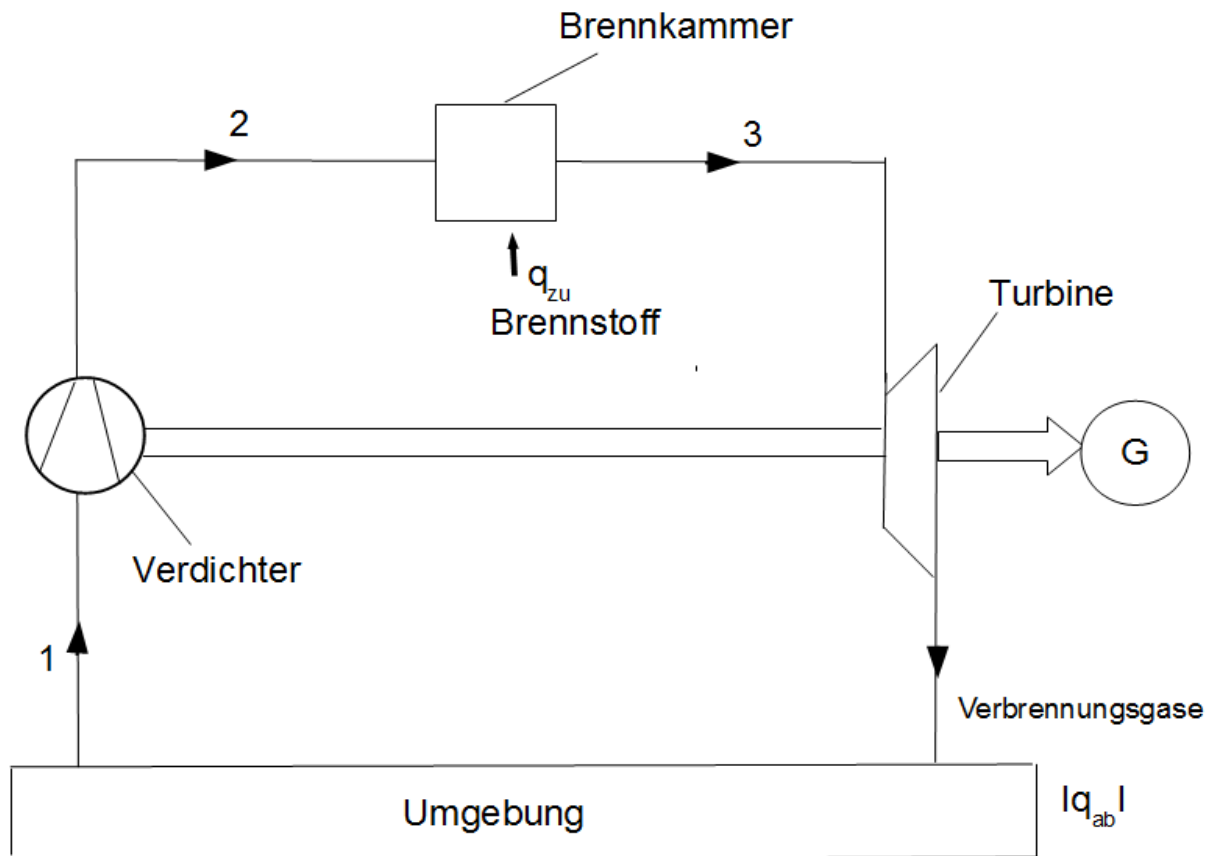
Schaltschema einer geschlossenen Gasturbinenanlage,
die nach dem Joule - Prozess arbeitet

- Turbine – Erzeugung der mechanischen Leistung
- Verdichter --- Druckerhöhung der angesaugten Luft vor der Turbine
- Brennkammer --- Temperaturerhöhung des resultierenden Verbrennungsgases

Prinzipieller Aufbau eines Flugtriebwerks

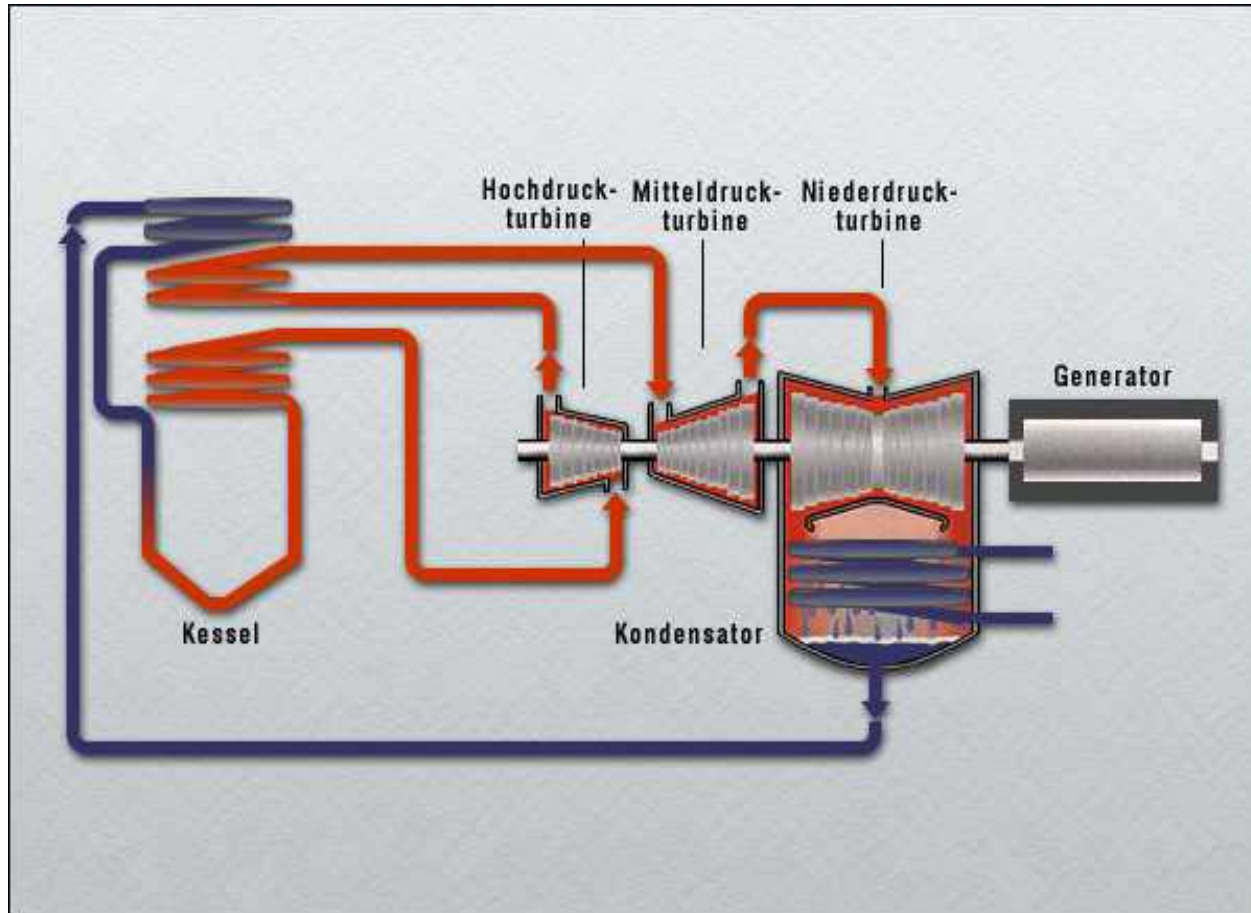


Quelle: Wikipedia



Schaltschema einer offenen Gasturbinenanlage,
die nach dem Joule – Prozess arbeitet

Prinzipieller Aufbau einer Dampfturbine



Quelle: www.bdew.de



- als Antrieb, z.B. von Pumpen
- zur Schuberzeugung in Flugtriebwerken
- zur Stromerzeugung (Antrieb eines Generators)



- Dampf- und Gasturbinen, z.B.

MAN Turbo AG (12.500 MA; ca. 4 Mrd.€ Umsatz)

Siemens Energy (88.000 MA; ca. 25 Mrd.€ Umsatz)

- Flugtriebwerke, z.B.

MTU (ca. 7.500 MA; ca. 2,6 Mrd.€ Umsatz)

Rolls Royce Deutschland (ca. 3.000 MA)



- 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



- 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

- 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 – Environmental Impact- Reduzierung

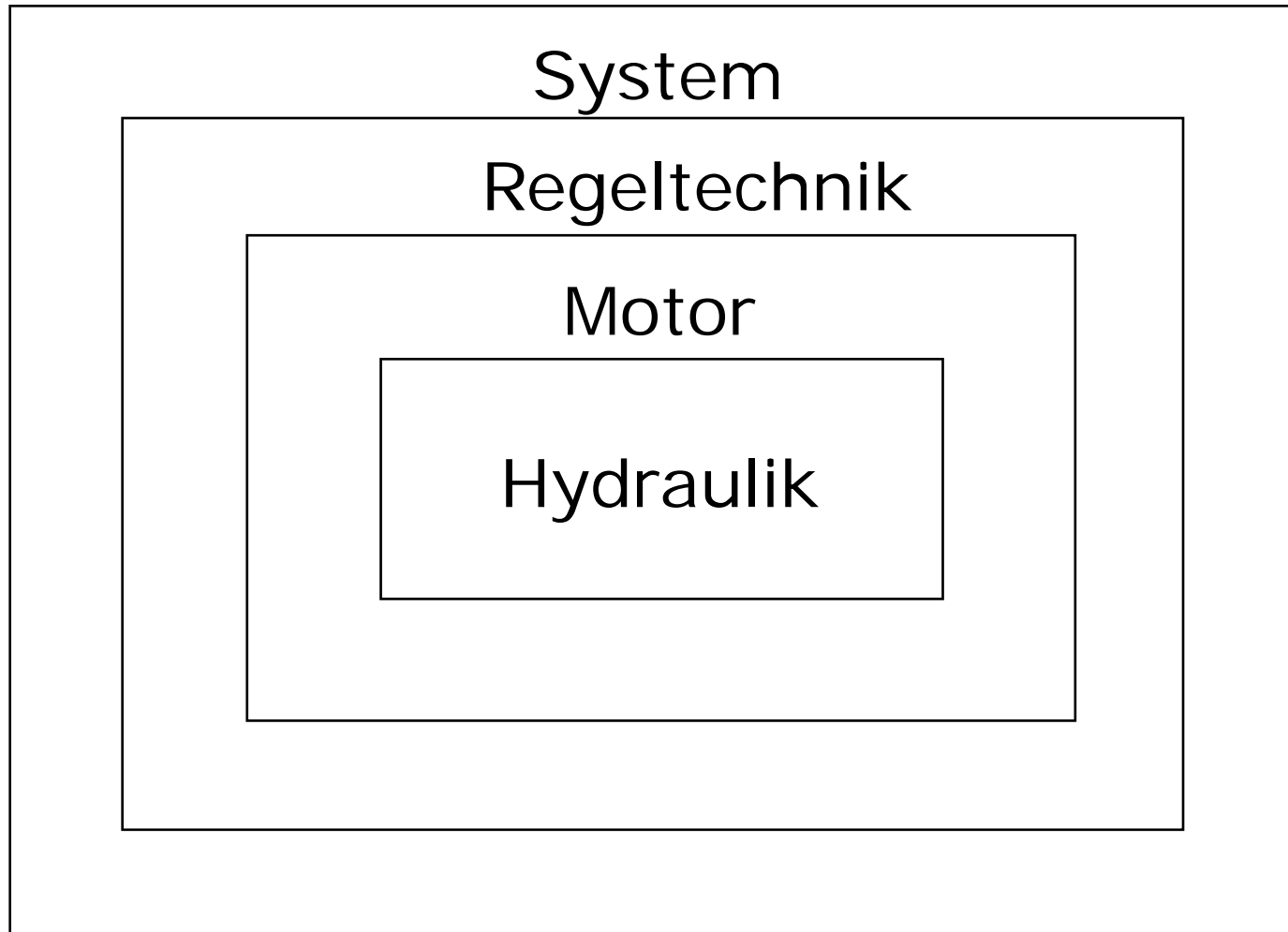
▶ ECO Use – Erkennung des tatsächlichen Bedarfs und effiziente Realisierung



- 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 c	ENERGY SAVING POTENTIAL			TOTAL ENERGY CONSUMPTION
	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			

- ▶ Optimierung der Komponenten
 - Hydraulik
 - Antrieb incl. Regelung
- ▶ Optimierung des Systems



Strömungsmaschinen im System

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

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>



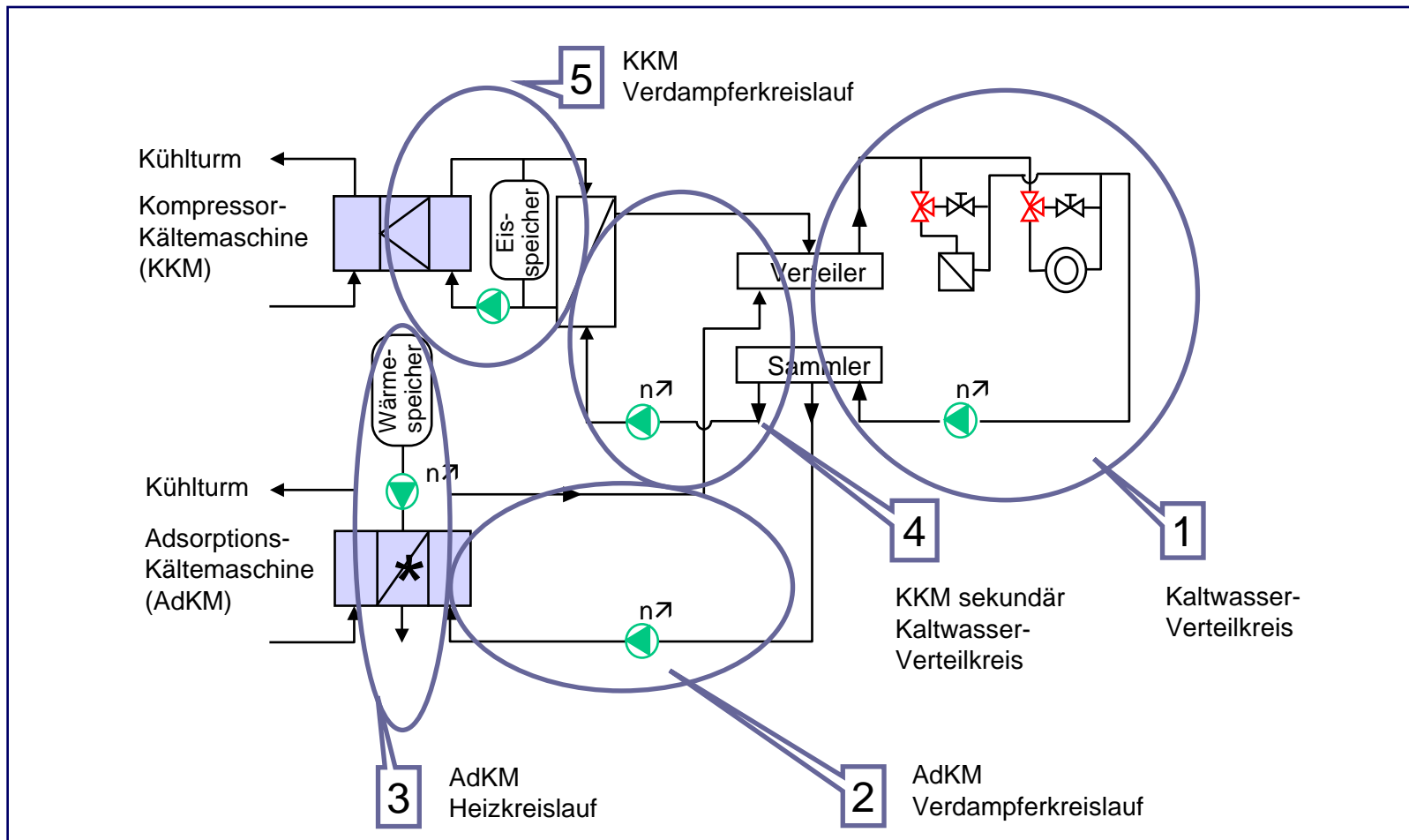
http://www.ipmsdeutschland.de/Flugzeuge/Schissau/P-47D_Arii.html



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



Quelle: WILO SE





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

Themenfeld Strömungsmaschinen

- **Lehrstuhl für Strömungsmaschinen**

 - Forschung

 - Lehre

- **Strömungsmaschinen Kompetenzzentrum (SMK)**

 - fakultätsübergreifende Forschung

- **Turbo Technologies GmbH**

 - Technologie- und Produktentwicklung

 - Prozesse für die Entwicklung mechatronischer Produkte

 - Aufbau von Entwicklungsgruppen im Ausland

- **Lehrstuhl für Strömungsmaschinen**

 - Forschung

 - Lehre

- **Strömungsmaschinen Kompetenzzentrum (SMK)**

 - fakultätsübergreifende Forschung

- **Turbo Technologies GmbH**

 - Technologie- und Produktentwicklung

 - Prozesse für die Entwicklung mechatronischer Produkte

 - Aufbau von Entwicklungsgruppen im Ausland

Reduzierung des Energieverbrauches von Strömungs- maschinen

- numerische Verfahren zum Entwurf und zur Optimierung der Bauteile von Strömungsmaschinen

Systemintegration– von der Komponenten- zur Systemoptimierung

- numerische und experimentelle Systemanalysen
- Umsetzen des dynamischen Systembedarfs
(systemangepasste adaptive Regelung,
dynamische geometrische Anpassung etc.)

Analyse der Zuverlässigkeit mechatronischer Produkte

- Ausfallursachen
- Ausfallwahrscheinlichkeit

Reduzierung der Schallemission

- numerische Verfahren zu Fluid- Struktur- Wechselwirkungen und experimentelle Untersuchung des akustischen Verhaltens

Integration bionischer Verfahren in die Strömungsmaschinenforschung

Fokus auf die Produkte

- Pumpen und Pumpensysteme
- Windturbinen
- Schiffsantriebe
- (stationäre Gasturbinen)

und deren Anwendungen



- ▶ Kraft- und Arbeitsmaschinen (Grundlagen der Strömungsmaschinen)

- ▶ Organisation internationaler Entwicklungsteams und –projekte

(Formen der Aufbauorganisation, Führung von Mitarbeitern, Innovations- und Entwicklungsprozess, Projektmanagement (Planung, Businessplan, Marktanalysen, Controlling, FreigabeprozEDUREN, Schutzrechte))

- ▶ **Strömungsmaschinen 1** (Physikalische Grundlagen: Strömungstechnik, Kavitation; Bauarten und Entwurf hydraulischer Strömungsmaschinen, Lebenszykluskosten (LCC), Grundlagen der Windkraftanlagen)
- ▶ **Strömungsmaschinen 2** (Physikalische Grundlagen: Akustik; Thermische Strömungsmaschinen, die Strömungsmaschine als mechatronisches System – Zusammenspiel Strömungsteil – Antrieb – Regelelektronik)
- ▶ **Windturbinen und alternative Energiequellen**
(Übersicht zu alternativen Energiequellen, Entstehung des Windes, aerodynamischer Entwurf, Fluid-Struktur-Wechselwirkungen, Solarenergie, Geothermie)
 - ▶ **Fluidsysteme und Regelung** (Analyse und Simulation von Anlagen; Erfassung von Messgrößen, Regelverfahren, bedarfsangepasste Regelung und Optimierung der LCC)
 - ▶ Grundlagen der Akustik

**Vertiefungsrichtung Strömungsmaschinen im
Masterstudiengang Maschinenbau seit SS 2011**

Literatur

Strömungstechnik:

Truckenbrodt, E.: Fluidmechanik, Springer Verlag

Oertel, H.: Strömungsmechanik, Springer Verlag

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.:

Kreiselpumpen, Springer Verlag

Hau, E.

Windkraftanlagen, Springer Verlag

Bräunling, W.J.G.:

Flugzeugtriebwerke, Springer Verlag