

Klausur
Strömungsmaschinen I
WS 2010/11

08. März 2011, Beginn 13:00 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind:

- Vorlesungsskript (einschließlich handschriftlicher Notizen und Formelsammlung) und zugehörige Abbildungen
- Foliensatz
- Taschenrechner, Geodreieck, Zeichenmaterial

Nicht zugelassene Hilfsmittel sind:

- Alte Klausuren
- Übungen der Vorlesung
- Handy, Laptop, Fachbücher, programmierbarer Taschenrechner, sonstige Fachunterlagen
- Bleistift sowie rote Stifte!

Aufgabe	geschätzte Dauer	Punkte
1. Verständnisfragen	15 min	
2. Axialverdichter	30 min	
3. Radialturbine	15 min	
Gesamt	60 min	

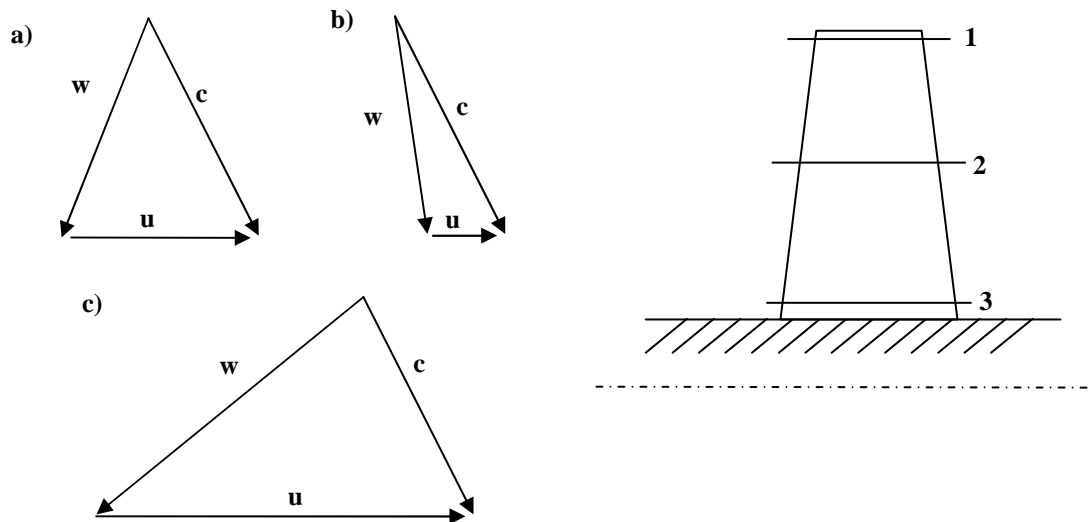
Name, Vorname:

Matrikelnummer:

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!
Prof. J. Seume
R. Adamczuk / C. Natkaniec

1. Verständnisfragen

- Nennen Sie die aerodynamisch bedingten Betriebsgrenzen im $m - \pi$ -Kennfeld eines Verdichters
- Skizzieren Sie eine saugseitige Inzidenz mit Hilfe eines Geschwindigkeitsvektors an einem Turbinenprofil.
- Skizzieren Sie einen verlustbehafteten und einen isentropen Kompressions- und Expansions-Prozess in ein h - s -Diagramm und leiten Sie anhand der Enthalpieänderungen die Beziehungen für den isentropen Wirkungsgrad η_s der Kompression bzw. der Expansion ab.
- Was ist der Unterschied zwischen dem Eulerradius und dem Radius im Mittenschnitt?
- Ordnen Sie die Geschwindigkeitsdreiecke den entsprechenden Schnitten der Turbinenschaufel zu



- Aus welchem Grund sind die Laufschaufelblätter von axialen Turbomaschinen häufig verjüngt?
- Skizzieren Sie den qualitativen Verlauf der Größen h , h_t , p_t , p , c und w in axialer Richtung einer Turbinenstufe.

2. Axialverdichter

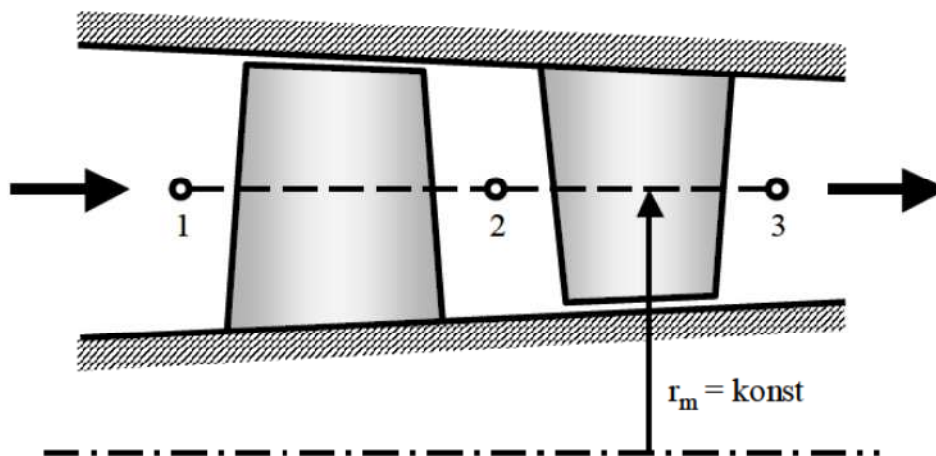


Abbildung 2.1: Axialverdichter

Die Abbildung 2.1 zeigt schematisch einen einstufigen Axialverdichter mit konstantem Radius im Mittenschnitt, drallfreier Zu- und Abströmung sowie den Betriebsdaten aus der nachfolgenden Tabelle.

statische Referenztemperatur (für Luft)	$T_{ref} = 288,15$	$[K]$
statischer Referenzdruck (für Luft)	$p_{ref} = 1,01325$	$[bar]$
statischer Druck am Stufeneintritt	$p_1 = 1,0$	$[bar]$
Druckverhältnis der Stufe	$\pi = 1,27$	$[-]$
Radius in der Schaufelmitte	$r_m = 140$	$[mm]$
Radialkomponente der Absolutgeschwindigkeit nach der Laufschaufel	$c_{u2} = 120$	$\left[\frac{m}{s}\right]$
Reaktionsgrad	$r = 0,7$	$[-]$
Massenstrom	$\dot{m} = 12$	$\left[\frac{kg}{s}\right]$
Axialgeschwindigkeit am Eintritt	$c_{ax,1} = 100$	$\left[\frac{m}{s}\right]$
Isentropenexponent	$\kappa = 1,4$	$[-]$
Druckzahl	$\Psi_D = -0,5$	$[-]$
Spezifische Wärmekapazität	$c_p = 1004,5$	$\left[\frac{J}{kg K}\right]$
Gaskonstante	$R = 287$	$\left[\frac{J}{kg K}\right]$

- Medium: Luft, angenommen als ideales Gas mit $c_p = konst.$
- Alle Berechnungen werden im Mittenschnitt durchgeführt.
- Für die Umrechnung zwischen reduzierten und realen Größen sind die Zustandsgrößen am Eintritt einzusetzen.
- Die axiale Geschwindigkeit sei in diesem Falle aufgrund der Thermodynamischen- sowie Querschnittsänderung konstant - $c_{ax,1} = c_{ax,2} = c_{ax,3}$
- Für den Reaktionsgrad soll die folgende Definition verwendet werden:
$$r_k = \frac{\text{statische Enthalpieänderung im Laufrad}}{\text{statische Enthalpieänderung in der Stufe}}$$
- Die Verdichtung erfolgt adiabat.

Aufgaben:

- a) Berechnen Sie die Leistung des Verdichters. (Hinweis: Skizzieren sie zunächst zum besseren Verständnis dieses Aufgabenteils die Geschwindigkeitsdreiecke. Verwenden Sie zur Herleitung den oben genannten Reaktionsgrad!)
- b) Berechnen Sie die Geschwindigkeiten c_1 , c_2 , w_1 und w_2 . Zeichnen Sie die Geschwindigkeitsdreiecke im Mittenschnitt in den Ebenen 1 und 2 mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$.
- c) Erfüllt die Laufschaufel das De-Haller-Kriterium?
- d) Berechnen Sie im Mittenschnitt die Durchflusszahl ϕ und die Leistungszahl Ψ sowie die Drehzahl n und den isentropen Wirkungsgrad $\eta_{s,v}$.
- e) Bestimmen Sie die statische Temperatur T_1 am Eintritt sowie \dot{m}_{red} und n_{red} . Skizzieren Sie schematisch ein Verdichterkennfeld mit den zugehörigen Kennfeldgrößen und tragen Sie den Betriebspunkt ein. Kennzeichnen Sie die aerodynamisch bedingten Betriebsgrenzen.

3. Radialturbine

Die Abbildung 3.1 zeigt das Laufrad einer einstufigen Radialturbine eines Abgasturboladers.

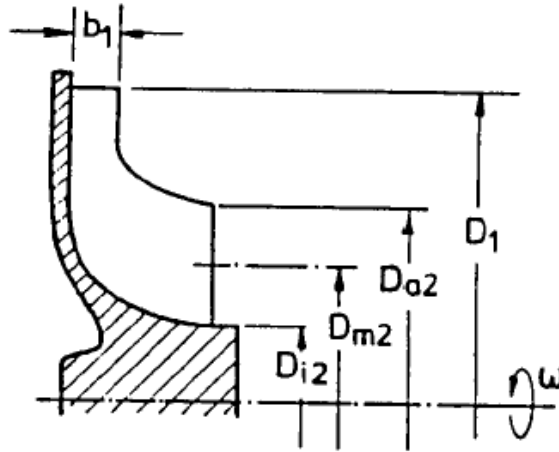


Abbildung 3.1: Laufrad einer Radialturbine

Mit Hilfe des in Abbildung 3.2 gegebenen Cordier-Diagramms ist die Berechnung des maximalen Laufraddurchmessers D_1 durchzuführen. Der Laufraddurchmesser ist aus folgender Standardreihe zu wählen ($D_1 = 50 / 70 / 90 / 110 / 130$ mm).

Die folgende Abmessungen und Strömungszustände sind gegeben:

Drehzahl	$n = 110.000 \text{ min}^{-1}$
Massendurchsatz	$\dot{m} = 0,22 \text{ kg/s}$
statischer Druck am Eintritt	$p_1 = 2,6 \text{ bar}$
statische Temperatur am Eintritt	$T_1 = 875 \text{ K}$
statische Temperatur am Austritt	$T_2 = 745 \text{ K}$
stat. polytroper Stufenwirkungsgrad	$\eta_r = 0,8$
Isentropenexponent	$\kappa = 1,34$
Gaskonstante des Verbrennungsgases (id. Gas)	$R = 288 \text{ J/kgK}$

Annahmen:

1. Das Verbrennungsgas kann als ideales Gas angenommen werden.
2. Die Zustandsänderung in der Turbine kann als adiabat und polytrop betrachtet werden.

Aufgaben:

- a) Bestimmen Sie die spezifische Stufenarbeit y und den Volumenstrom \dot{V} am Laufradeintritt.
- b) Berechnen Sie für die Drehzahl $n = 110.000 \text{ min}^{-1}$ die spezifische Drehzahl σ_M .
- c) Ermitteln Sie im Cordier-Diagramm den spezifischen Durchmesser δ_M . Wählen Sie einen geeigneten Laufraddurchmesser D_1 aus der gegebenen Standardreihe.

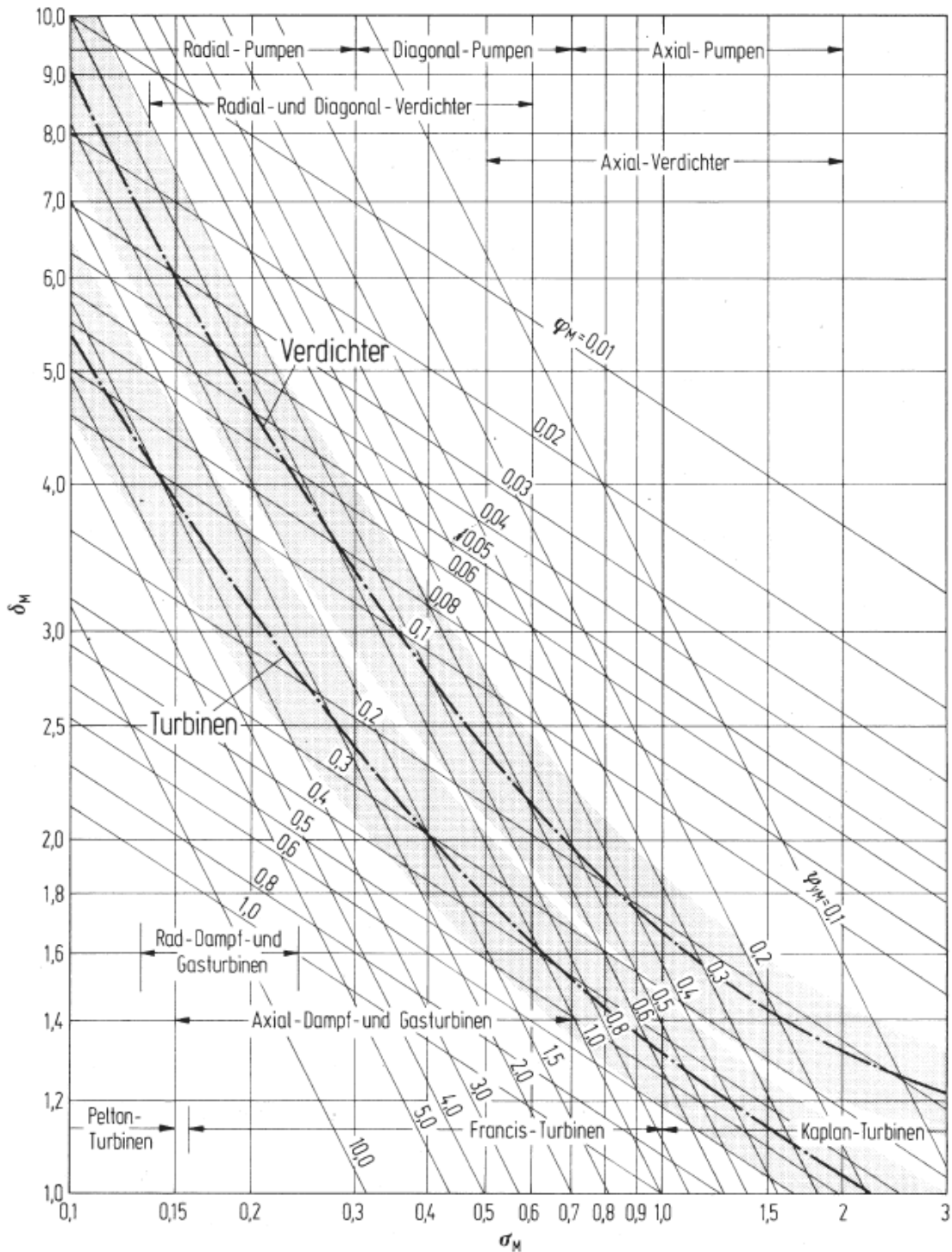


Abbildung 3.2: Cordier-Diagramm