

Klausur
Strömungsmaschinen I
WiSe 2012/2013

5. März 2013, Beginn 14:00 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind: Taschenrechner, Geodreieck, Zeichenmaterial

Andere Hilfsmittel, insbesondere:

- Alte Klausuren
- Übungen der Vorlesung, eigenes Skript, Folienumdruck
- Handy, Laptop, Fachbücher

sind nicht zugelassen.

| Aufgabe | geschätzte Dauer | Punkte |
|---------------------------|-------------------------|---------------|
| 1. Verständnisfragen | 15 min | 17 |
| 2. Cordier Diagramm | 15 min | 19 |
| 3. Axialverdichter | 15 min | 32 |
| 4. Radiales Gleichgewicht | 15 min | 14 |
| 5. Axialverdichter | 15 min | 20 |
| Gesamt | 75 min | 102 |

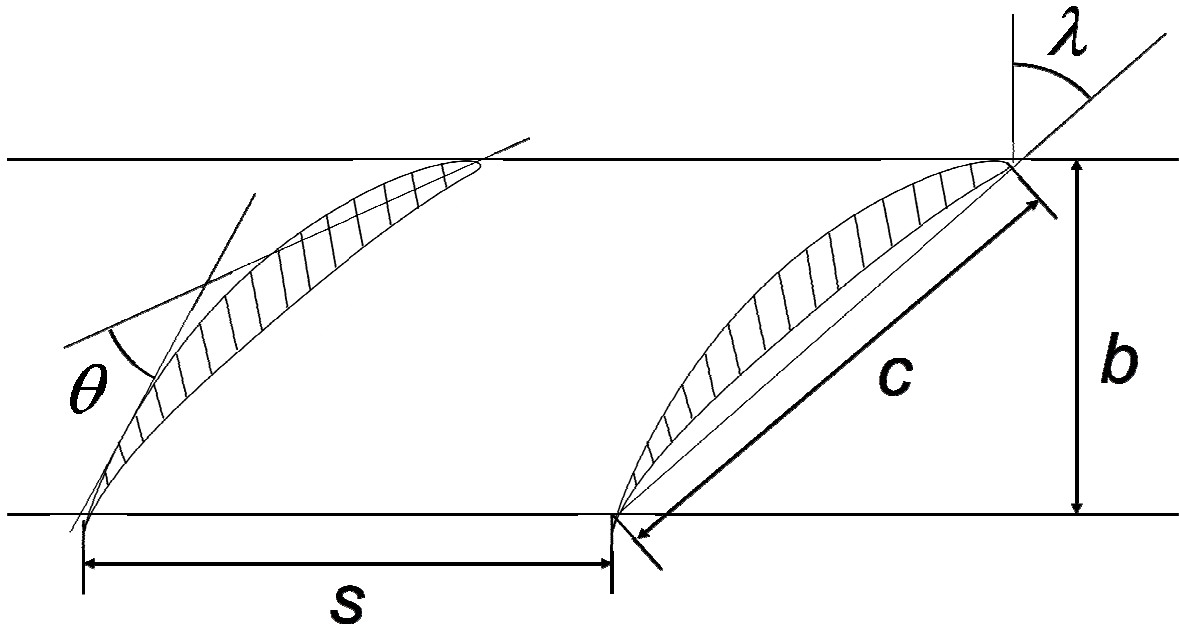
Name, Vorname:

Matrikelnummer:

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!
Prof. Dr.-Ing. J. Seume
Dipl.-Ing R. Adamzcuk
M.Sc. S. Teichel

Aufgabe 1 – Verständnisfragen:

1.1 Tragen Sie die Bezeichnungen der, in der Abbildung, markierten Parameter (deutsch oder englisch) einer Verdichterschaufelreihe in die Tabelle ein.
(5 Punkte)



| | |
|-----------|--|
| λ | |
| b | |
| c | |
| s | |
| θ | |

1.2 Nennen Sie den Reaktionsgrad einer Impulsturbinenstufe. In welcher Schaufelreihe findet der statische Druckabbau in einer Impulsturbinenstufe statt, im Stator oder im Rotor? (2 Punkte)

1.3 Nennen Sie zwei der drei wichtigsten Annahmen die einen Stromfaden/Stromröhre charakterisieren? (2 Punkte)

1.4 Gegeben sind die Hauptströmungsrichtungen am Eintritt und Austritt verschiedenen Strömungsmaschinen. Ordnen Sie den angegebenen Strömungsrichtungen den zugehörigen Maschinen-typ (Radialverdichter, Radialturbine, Axialmaschine, Diagonalverdichter) zu. (4 Punkte)

| Maschinentyp | Strömungsrichtung am Eintritt | Strömungsrichtung am Austritt |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | axial | axial |
| | axial | radial |
| | radial | axial |
| | axial | diagonal/radial |

1.5 Für welchen Strömungsgeschwindigkeitsbereich werden transsonischen Strömungsmaschinen ausgelegt? (1 Punkt)

1.6 Der Betriebsbereich eines Verdichters ist durch a) einen minimalen und b) einen maximalen Massenstrom begrenzt. Benennen Sie diese Betriebsgrenzen. (2 Punkte)

a) Minimaler Massenstrom:

b) Maximaler Massenstrom:

1.7 Bei welchem Reaktionsgrad spricht man von einem „symmetrischen Geschwindigkeitsdreieck“? (1 Punkt)

1.8 Welche Kräfte sind beim Radialen Gleichgewicht im Gleichgewicht? (2 Punkte)

Aufgabe 2 – Cordier Diagramm:

Um einen Teil der Energie des heißen Abgases eines großen Schiffdieselmotors zu nutzen soll eine einstufige Turbine ausgelegt werden. Nutzen Sie das Cordier Diagramm um zu entscheiden ob eine Axial- oder Radialturbine für diesen Zweck besser geeignet ist. Bestimmen Sie den idealen Bezugsdurchmesser der Maschine.

| | |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Stufenzahl | 1 |
| Massenstrom | $\dot{m} = 18 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ |
| Turbineneintrittstemperatur | $T_0 = 800 \text{ K}$ |
| Druckverhältnis über Turbine | $\frac{p_0}{p_2} = 2,3$ |
| Austrittsdruck | $p_2 = 100 \text{ kPa}$ |
| Turbinendrehzahl | $n = 18000 \text{ min}^{-1}$ |
| Gaskonstante | $R = 292 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ |
| Isentropenexponent | $\kappa = 1,34$ |

Gegeben:

- **Spezifische Drehzahl:** $\sigma_M = \left(2\pi^2\right)^{1/4} \cdot \frac{n\sqrt{\dot{V}_0}}{|y|^{3/4}}$
- **Spezifischer Durchmesser:** $\delta_M = \left(\frac{\pi^2}{8}\right)^{1/4} \cdot \frac{D_B |y|^{1/4}}{\sqrt{\dot{V}_0}}$
- **Stufenarbeit:** $y = \Delta h_{\text{Stufe, isentrop}}$

Stellen Sie den kompletten Berechnungsweg dar!

Aufgaben:

Bestimmen Sie:

- 2.1 isentrope Stufenenthalpie (4 Punkte)
- 2.2 spezifische Drehzahl (6 Punkte)
- 2.3 optimalen Maschinentyp mit Hilfe des Cordier Diagramms (Linie besten Wirkungsgrades) und markieren Sie den entsprechenden Punkt. (2 Punkte)
- 2.4 spezifischen Durchmesser aus dem Cordier Diagramm und den maximalen Maschinendurchmesser (3 Punkte).

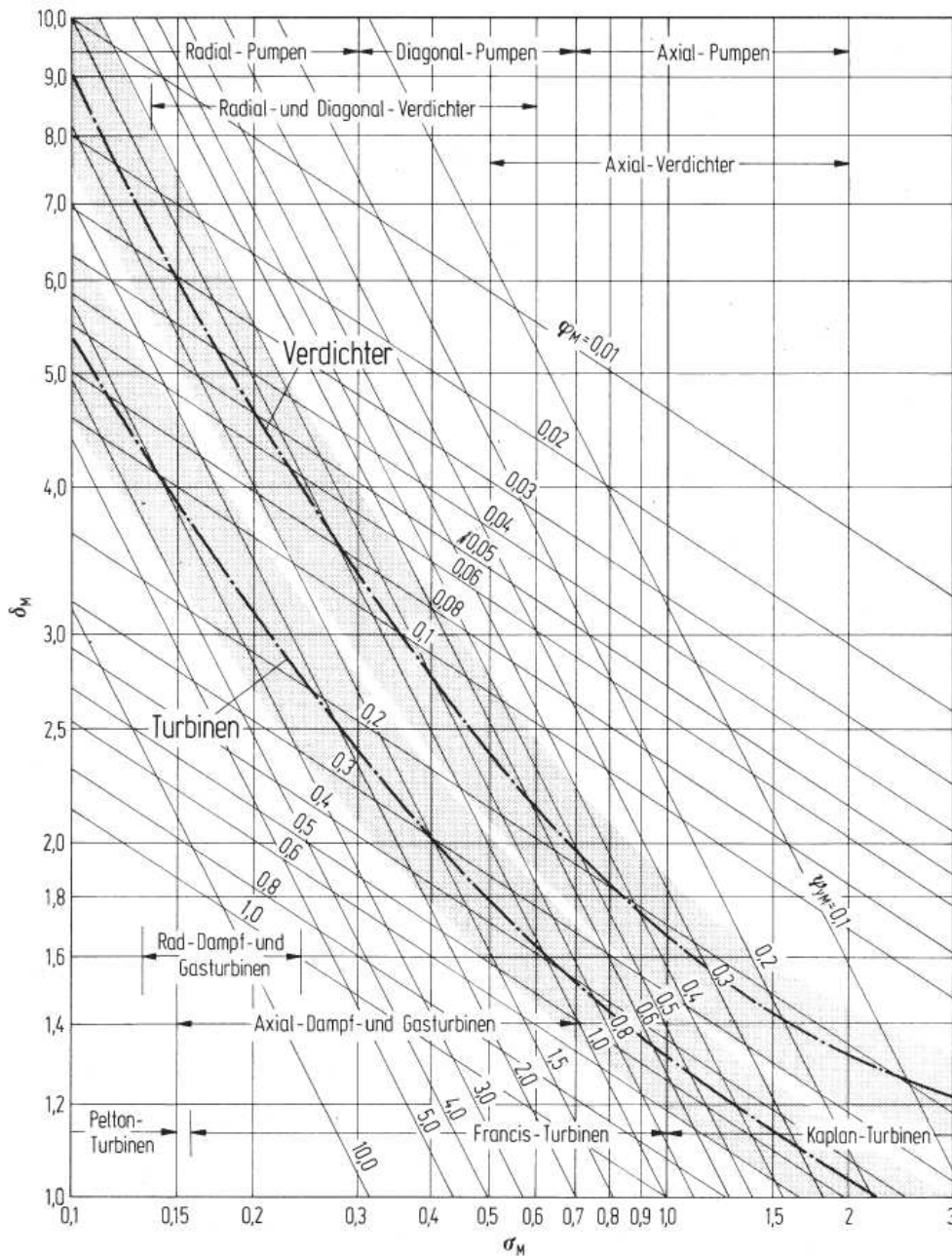


Bild 31. Durchmesser-Kenngröße δ_M in Funktion der spezifischen Drehzahl σ_M für einstufige Turbomaschinen (Cordier-Diagramm)

Quelle: Dubbel, Auflage 22

Aufgabe 3 – Axialverdichter

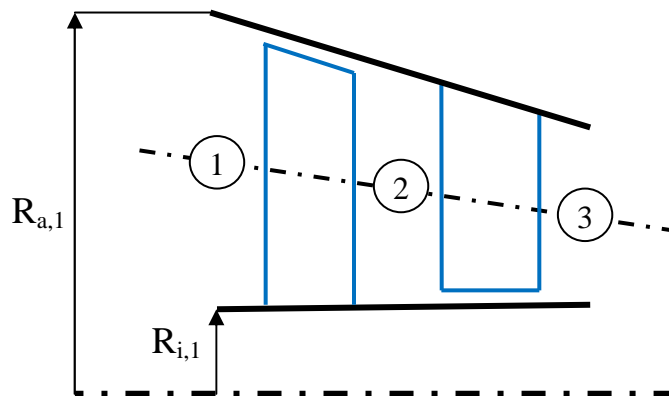


Abbildung 3.1: Axialverdichter

Ihre Aufgabe ist es die grundlegenden Strömungsgrößen des Laufrads eines einstufigen Axialverdichters (Abbildung 3.1) mit konstantem Nabenradius zu bestimmen.

Die Werte in der nachfolgenden Tabelle spezifizieren die Strömung im Laufrad der Maschine.

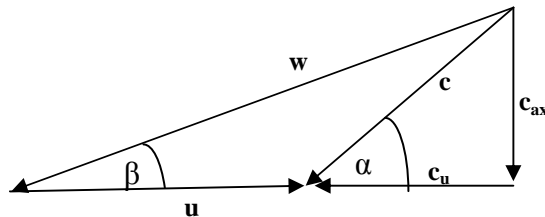
| | | |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Allgemeine Maschine: | Massenstrom | $\dot{m} = 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ |
| | Drehzahl | $n = 20000 \text{min}^{-1}$ |
| Ebene 1: | Mittenschnitt Radius | $R_{m,1} = 0,12 \text{ m}$ |
| | Schaufelhöhe | $h_1 = 0,08 \text{ m}$ |
| | Dichte des Mediums | $\rho_1 = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ |
| Ebene 2: | Mittenschnitt Radius | $R_{m,2} = 0,10 \text{ m}$ |
| | Durchflusszahl (flow coefficient) | $\Phi_{m,2} = \frac{c_{m,ax,2}}{u_{m,2}} = 0,5$ |
| | Leistungszahl (work coefficient) | $\Psi_{m,2} = \frac{-(u_{m,2} \cdot c_{m,u,2} - u_{m,1} \cdot c_{m,u,1})}{u_{m,2}^2} = -0,3$ |

Annahmen:

- Alle Berechnungen werden für den Mittenschnitt durchgeführt.
- Die absolute Zuströmung der Laufschaufel erfolgt drallfrei.
- Der Schaufelspitzenspalt ist vernachlässigbar klein.

Winkeldefinition:

- Alle Winkel sind relativ zur Umfangsgeschwindigkeit definiert. Die Abbildung soll die Definition des Winkels α und β verdeutlichen und macht keine Aussagen über Richtung und Betrag der Geschwindigkeiten!
- Umfangsgeschwindigkeiten werden in Drehrichtung positiv angenommen.



Aufgaben:

3.1 Bestimmen sie die Eintrittsfläche und die Axialgeschwindigkeit in Ebene 1 (4 Punkte)

3.2 Berechnen Sie die folgenden Größen: $c_{m,1}, u_{m,1}, w_{m,1}, \alpha_{m,1}, \beta_{m,1}, c_{m,2}, u_{m,2}, w_{m,2}, \alpha_{m,2}, \beta_{m,2}$ und tragen sie diese in die Tabelle ein: (22 Punkte)

| | Ebene 1 | Ebene 2 |
|------------|---------|---------|
| c_m | | |
| u_m | | |
| w_m | | |
| α_m | | |
| β_m | | |

3.3 Zeichnen Sie die vollständigen Geschwindigkeitsdreiecke im Mittenschnitt in den Ebenen 1 und 2 ($\pm 20\%$, rechte Winkel bitte kennzeichnen). (6 Punkte)

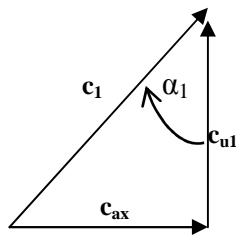
4. Radiales Gleichgewicht (14 Punkte)

Für eine Axialturbinenstufe sollen an der Leitschaufelhinterkante (Ebene 1) die Geschwindigkeitsdreiecke an der Schaufelspitze sowie an der Nabe bestimmt werden.

| | |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| Abströmwinkel | $\alpha_1 = 25^\circ$ |
| Radius an der Nabe | $r_N = 0,5 \text{ m}$ |
| Radius an der Spitze | $r_S = 0,7 \text{ m}$ |
| Axialgeschwindigkeit im mittleren Radius | $c_{ax1,m} = 150 \text{ m/s}$ |

Annahmen

- $\alpha_1(r) = \text{const.}$
- Keine Krümmung der Meridianstromlinie d.h. $c_m = c_{ax}$
- Die Strömung ist kompressibel und isentrop
- Das Geschwindigkeitsdreieck ist wie folgt definiert. Die Abbildung soll die Definition des Winkels α verdeutlichen und macht keine Aussagen über die Geschwindigkeiten!



Aufgaben:

- a) Leiten Sie die Beziehungen für die Verteilung von c_{u1} sowie c_{ax1} über die Schaufelhöhe her. Verwenden Sie hierfür die vereinfachte Beziehung, die aus dem radialen Kräftegleichgewicht und der Bernoulli-Gleichung (3.11 im Skript) hergeleitet wurde.

$$\frac{c_u^2}{r} + c \frac{dc}{dr} = 0$$

Die Integrationskonstante muss dabei nicht berechnet werden! (8 Punkte)

- b) Berechnen Sie am Eintritt in die Laufschaufel die Umfangs- und Axialkomponenten (c_{ax1} und c_{u1}) der Absolutgeschwindigkeit an der Schaufelspitze sowie an der Nabe mit den in Aufgabenteil a) hergeleiteten Beziehungen. Sollten Sie Aufgabenteil a) nicht gelöst haben verwenden Sie die Beziehungen:

$$c_{ax1} = \frac{b_1}{r^{0,5}} \qquad c_{u1} = \frac{b_2}{r^{0,5}}$$

Die Beziehungen sind **nicht** die Lösung von Aufgabenteil a) (6 Punkte)

5. Axialverdichter (21 Punkte)

In einer Industrieanlage soll Prozessluft in einer Rohrleitung durch eine einstufige Axialmaschine verdichtet werden. Der Außendurchmesser des Verdichters ist dabei durch den Außendurchmesser des Rohres definiert. Der Strömungsquerschnitt, der Innen- sowie Außenradius bleiben über der Stufe konstant. Die Zuströmung erfolgt drallfrei.

| | | | | |
|-----------------------------------------|-----------|---|--------|------------------|
| Massenstrom | \dot{m} | = | 50 | $\frac{kg}{s}$ |
| Drehzahl | n | = | 200 | $\frac{1}{s}$ |
| Druckverhältnis | π | = | 2 | |
| Temperatur am Eintritt | T_1 | = | 300 | K |
| Druck am Eintritt | p_1 | = | 100737 | Pa |
| Dichte am Eintritt | ρ_1 | = | 1,17 | $\frac{kg}{m^3}$ |
| Dichte am Austritt des Laufrads | ρ_2 | = | 1,53 | $\frac{kg}{m^3}$ |
| Isentropenexponent | κ | = | 1,4 | |
| Gaskonstante | R | = | 287 | $\frac{J}{kg K}$ |
| Polytroper Wirkungsgrad des Verdichters | η_p | = | 0,9 | |
| Strömungsquerschnitt im Verdichter | A | = | 0,5 | m^2 |
| Mittlerer Durchmesser | r_M | = | 0,2 | m |

Annahmen

- Die Strömungsfläche A in axialer Richtung ist konstant
- Die Berechnungen in Aufgabenteil b) und c) sollen für den mittleren Durchmesser erfolgen.

Aufgaben

- Bestimmen Sie, die für die Verdichtung notwendige Leistung P . Hierbei soll die Änderung in der Absolutgeschwindigkeit vernachlässigt werden. (7 Punkte)
- Bestimmen sie die Axialgeschwindigkeiten c_{ax1} am Eintritt sowie c_{ax3} am Austritt der Stufe (5 Punkte)
- Um welchen Winkel α müsste die Strömung durch das Leitgitter stromab des Laufrads umgelenkt werden um eine drallfreie Abströmung zu erreichen? (9 Punkte)