

**Universität Hannover**  
**Institut für Strömungsmaschinen**  
**Prof. Dr.-Ing. J. Seume**

Klausur  
Strömungsmaschinen  
SS 2004

24. August 2004, Beginn 13:00 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind:

- das Vorlesungsskript (einschließlich handschriftlicher Notizen) und die zugehörigen Abbildungen bzw. Folien
- Taschenrechner, Geodreieck, Zeichenmaterial.

Andere Hilfsmittel, insbesondere Handys, PCs, Fachbücher und auch die Übungsmaterialien sind nicht zugelassen.

<b>Aufgabe</b>	<b>geschätzte Dauer</b>	<b>Punkte</b>
1. Schaufelgittertypen	2 min	3
2. Verluste im Axialverdichter	10 min	18
3. Turbinenschaufel	16 min	29
4. Radialverdichter (ohne Teil 4e)	27 min	50
<hr/>		
Gesamt	55 min	100
<hr/>		
Zusatzaufgabe 4e)	8 min	15

Hinweis:

Die Zusatzaufgabe 4e) ermöglicht das Erlangen zusätzlicher Punkte. Die Bestnote 1,0 kann auch ohne die Bearbeitung der Teilaufgabe 4e) erreicht werden.

*Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!*

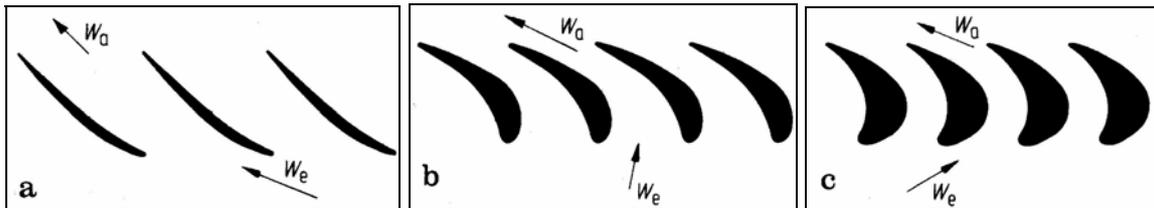
*Prof. J. Seume  
und A. Griebel*

## 1) Schaufelgittertypen

Die drei Skizzen unten zeigen drei verschiedene Typen von Schaufelgittern. Ordnen Sie die Begriffe

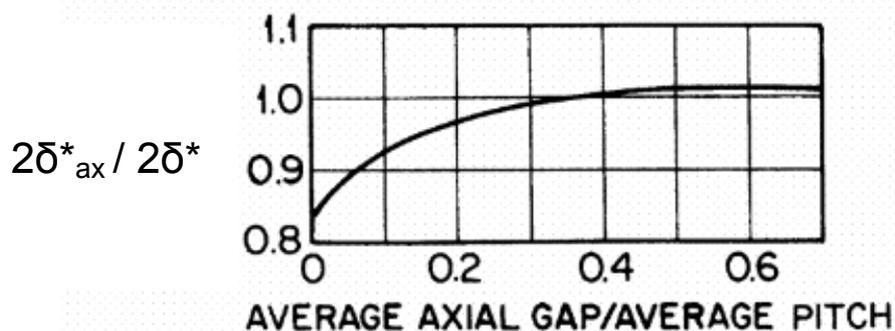
- 1) Beschleunigungsgitter
- 2) Umlenk-Gitter
- 3) Verzögerungsgitter

jeweils der richtigen Abbildung zu und geben Sie jeweils zusätzlich an, ob es sich um eine Turbinen- oder um eine Verdichterbeschaufelung handelt.



## 2) Verluste im Axialverdichter

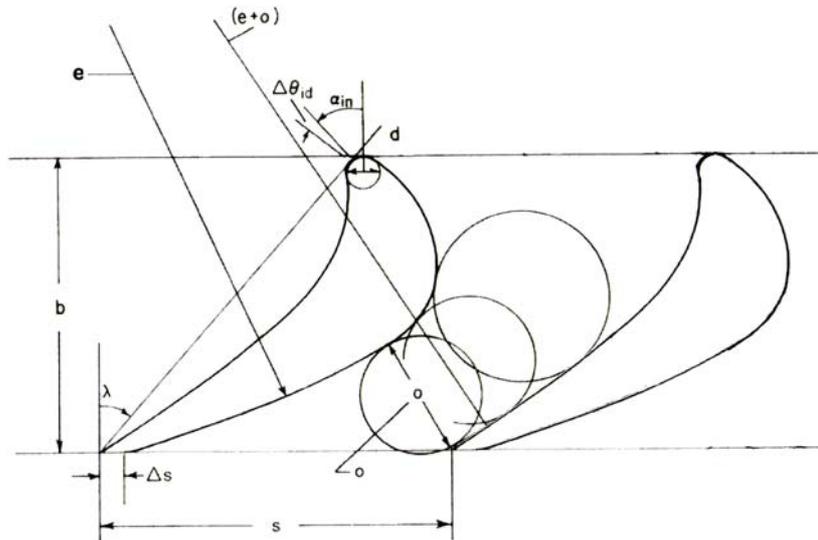
Das Diagramm unten zeigt den Verlauf eines Korrekturfaktors zur Verlustabschätzung in Axialverdichtern in Abhängigkeit vom normierten Axialspalt zwischen den Schaufelkränzen.



- a) Was wird in dem Diagramm dargestellt? Erklären Sie stichwortartig Abszissen- und Ordinatenbezeichnung.  
Beschreiben Sie kurz welches Strömungsphänomen bzw. welcher Verlustmechanismus gemeint ist und wo dieser in der Maschine auftritt.
- b) Wie lässt sich die Tendenz der Kurve vereinfacht physikalisch erklären?
- c) Warum hat das unter a) beschriebene Phänomen einen Einfluss auf die Gesamtverluste eines Axialverdichters?

### 3) Turbinenschaufel

Es wird Ihnen die Konstruktionsskizze eines neuen Turbinenschaufelprofils für einen Rotor vorgelegt (siehe unten).



Folgende Daten werden dazu gegeben:

Teilung	$s =$	80,0 mm
Kreisbogen der Saugseite	$e =$	240,0 mm
engster Strömungsquerschnitt	$o =$	28,0 mm
Sehnenlänge	$c =$	90,0 mm
axiale Sehnenlänge	$b =$	69,0 mm
Zuströmwinkel	$\alpha_{in} =$	+42,3 °
maximale Strömungs-Machzahl	$Ma =$	0,4

- Schätzen Sie mit geeigneten Mitteln den Betrag des relativen Abströmwinkels  $\alpha_{ex}$  ab und tragen Sie diesen in die Skizze ein.
- Was kann mit der Strömung passieren, wenn der Kreisbogen „e“ bei der Auslegung des Schaufelprofiles viel (!) zu klein gewählt wird?
- Wie groß wird der zu erwartende Inzidenzwinkel  $\Delta\theta_{id}$  sein?
- Ihnen wird gesagt, dass die Schaufeln des stromaufwärts stehenden Stators (also des vorhergehenden Leitrades) sehr empfindliche Hinterkanten besitzen. Darum ist eine Schwingungsanregung des stromaufwärts stehenden Stators so weit wie möglich zu vermeiden. Gleichzeitig ist die hier betrachtete Rotorvorderkante relativ stabil und dick ausgeführt.

Wie groß sollte man die Teilung  $s_{sr}$  des stromaufwärts stehenden Stators wählen, damit die oben beschriebene Anforderung erfüllt wird?

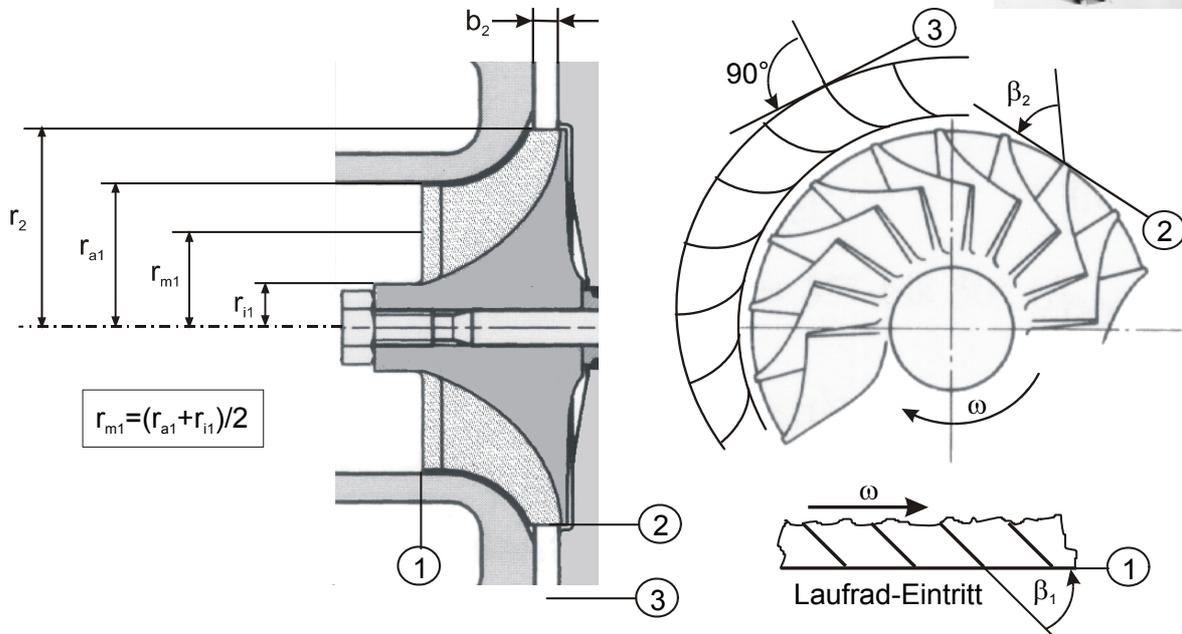
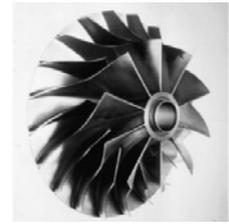
- Welches Strömungsphänomen bezüglich der Wahl des Teilungsabstandes in d) würde bei einer Teilung des stromaufwärts stehenden Stators von  $s_{sr} = 205\text{mm}$  überwiegen? Wie könnte sich dieser Effekt auf die empfindliche Hinterkante des Stators auswirken?

#### 4) Radialverdichter

Ein Radialverdichter wird nahe der Schluckgrenze betrieben.

Das Laufrad besitzt am Austritt radial rückwärts gekrümmte Schaufeln.

Das folgende Schema zeigt den prinzipiellen Aufbau und Maßdefinitionen.



Die Zuströmung des Impellers darf als drallfrei angenommen werden und das Fluid wird als ideales Gas behandelt.

Folgende Versuchsdaten sind gegeben:

Drehzahl	$n = 13765 \text{ U/min}$
Laufraddurchmesser, Nabe	$d_{i1} = 0,09 \text{ m}$
Laufraddurchmesser, Gehäuse	$d_{a1} = 0,28 \text{ m}$
Laufraddurchmesser, Austritt	$d_2 = 0,4 \text{ m}$
Schaufelhöhe am Austritt	$b_2 = 0,026 \text{ m}$
Eintrittsdruck	$p_{1, \text{stat}} = 97168 \text{ Pa}$
statisches Druckverhältnis	$\Pi_{\text{stat}, 1-2} = 1,384$
Temperatur, Eintritt	$T_{1, \text{stat}} = 279 \text{ K}$
Temperatur, Austritt	$T_{2, \text{stat}} = 326 \text{ K}$
Massenstrom	$\dot{m} = 7,218 \text{ kg/s}$
Metallwinkel der Schaufel am Eintritt	$\beta_{1, \text{blade}} = 47,5^\circ$
Schaufelwinkel (gegen Drehrichtung), Austritt	$\beta_{2, \text{blade}} = 60^\circ$
Gaskonstante	$R = 287,22 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
spezifische Wärmekapazität	$c_p = 1005 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Isentropenexponent	$\kappa = 1,4$
lokale Schallgeschwindigkeit	$a = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T}$

- a) Bestimmen Sie das vollständige Geschwindigkeitsdreieck für den Eintritt am Mittenschnitt  $r_{m1}$  und für den Austritt des Laufrades.  
Geben Sie alle von Ihnen ermittelten Größen auch als Zahlenwerte an.
- b) Werden die Schaufeln des Laufrades eher druck- oder eher saugseitig angeströmt?  
Begründen Sie Ihre Aussage durch ein Rechenergebnis bzw. einen Zahlenwert.
- c) Welche Leistung wird zum Antrieb des Impellers benötigt, vorausgesetzt dass die Strömung den idealen Geschwindigkeitsdreiecken folgt?
- d) Überprüfen Sie, ob am Laufradaustritt mit Verdichtungsstößen zu rechnen ist.

Zusatzaufgabe:

- e) Der Druckaufbau der gesamten Baugruppe soll verbessert werden.  
Dazu wird dem Impeller ein idealer Radialdiffusor mit rein radial endenden Leitschaufeln nachgeschaltet (Skizze: Zustand 2-3).  
Es wird angenommen, dass die Strömung am Austritt (3) ideal den Leitschaufeln folgt.  
Zur Vereinfachung sei angenommen, dass sich der Radialdiffusor nach außen hin genau so verengt, dass die radiale Strömungskomponente konstant bleibt.  
Des Weiteren sollen Verluste vernachlässigt werden.

Wie groß ist der statische Druck nach dem Radialdiffusor, der im idealen Fall erreicht werden kann, wenn durch die Leitbeschaufelung die gesamte Drallkomponente der originalen Laufradabströmung abgebaut wird?