

Klausur

Strömungsmaschinen I

WiSe 2013/2014

4. März 2013, Beginn 14:00 Uhr

Prüfungszeit: 90 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel sind: Taschenrechner, Geodreieck, Zeichenmaterial, gestellte Formelsammlung

Andere Hilfsmittel, insbesondere:

- Alte Klausuren
- Übungsunterlagen, Skript, Folienumdruck, eigene Formelsammlung
- Handy, Laptop, Fachbücher

sind nicht zugelassen.

Aufgabe	geschätzte Dauer	Punkte
1. Verständnisfragen	15 min	23
2. Radialturbine, Cordier Diagramm	10 min	11
3. Axialturbine	15 min	19
4. Radialverdichter	20 min	24
5. Dimensionsloses Geschwindigkeitsdreieck	15 min	23
Gesamt	75 min	100

Name, Vorname:

Matrikelnummer:

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!

Prof. Dr.-Ing. J. Seume

S. Teichel, M.Sc.

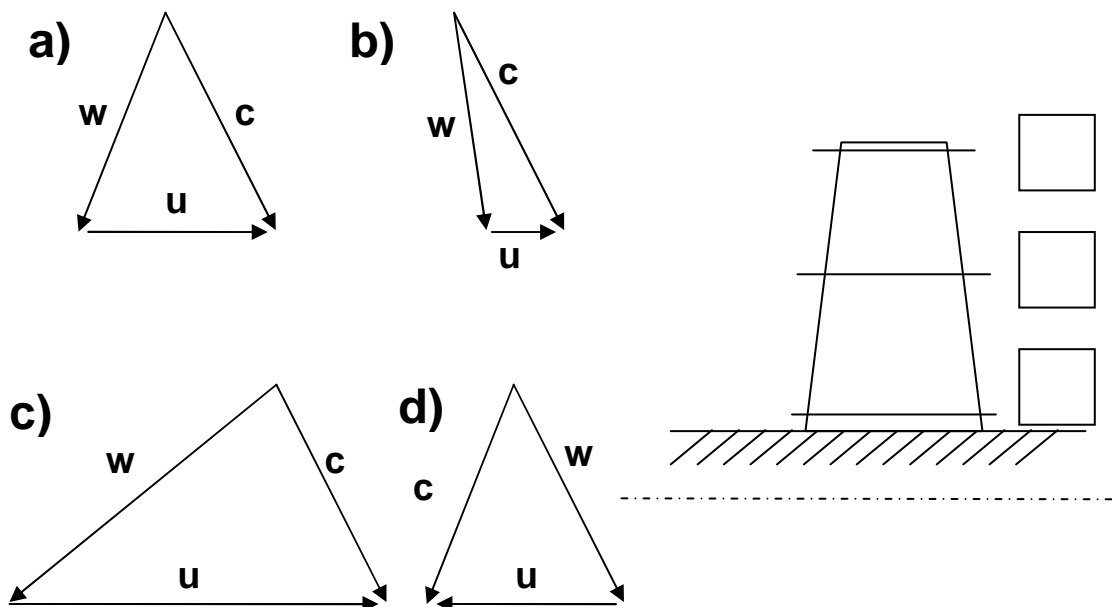
Dipl.-Ing. Lutz Schwerdt

Aufgabe 1 – Verständnisfragen

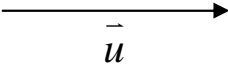
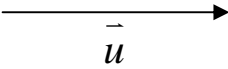
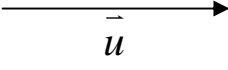
1.1 Was ist die wichtigste Eigenschaft einer Repetierstufe? (1 Punkt)

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

1.3 Ordnen Sie die drei richtigen Geschwindigkeitsdreiecke den entsprechenden Schnitten der Turbinenschaufel zu, indem Sie die Bezeichnungen in die vorgesehenen Felder eintragen: (4 Punkte)



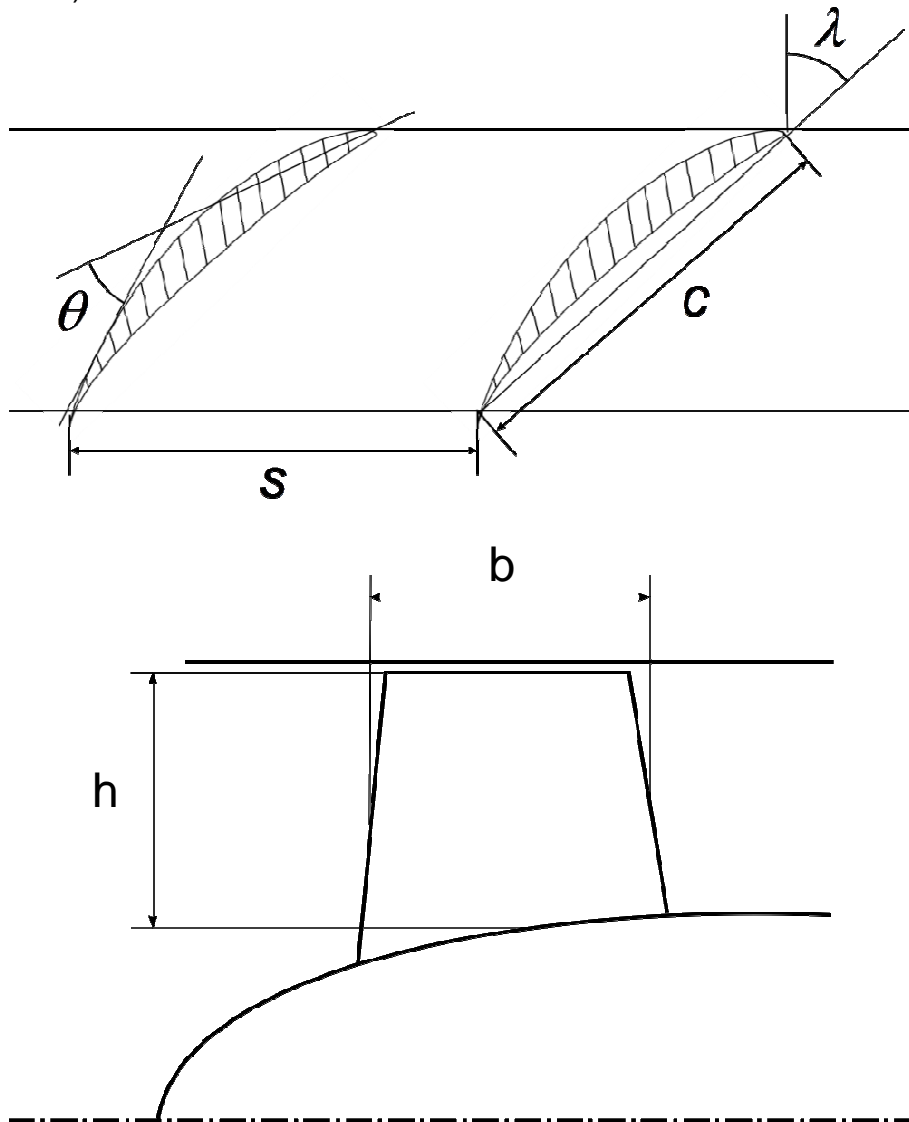
1.4 Zeichnen Sie qualitativ die Geschwindigkeitsdreiecke für die angegebenen Reaktionsgrade einer Turbinen-Laufschaufel in die dafür vorgesehenen Felder. Die Axialgeschwindigkeit ist in allen Fällen konstant. (6 Punkte)

Reaktionsgrad 0% $c_{u,2} + c_{u,1} = 2u$	
Reaktionsgrad 50% $c_{u,2} + c_{u,1} = u$	
Reaktionsgrad 100% $c_{u,2} + c_{u,1} = 0$	

1.5 Gegeben sind die Hauptströmungsrichtungen am Eintritt und Austritt verschiedener Strömungsmaschinen. Ordnen Sie den angegebenen Strömungsrichtungen den dazugehörigen Maschinentyp (Radialverdichter, Radialturbine, Axialmaschine, Diagonalturbine) zu. (4 Punkte)

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

1.6 Tragen Sie die Bezeichnungen der in den Abbildungen markierten Parameter (deutsch oder englisch) einer Verdichterschaufelreihe in die Tabelle ein. (6 Punkte)



λ	
c	
s	
θ	
b	
h	

Aufgabe 2 – Radialturbine, Cordier Diagramm

Die folgende Abbildung 1 zeigt das Laufrad einer einstufigen Radialturbine eines Abgasturboladers.

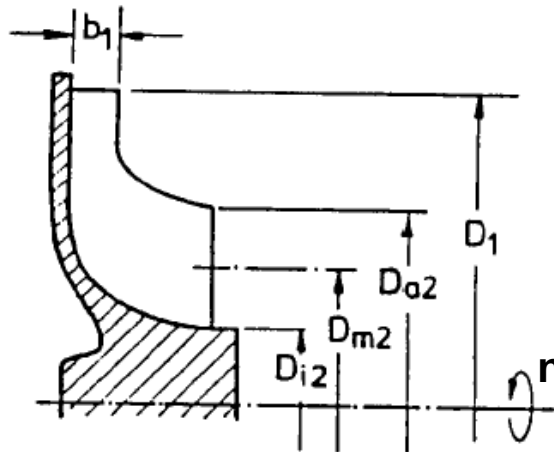


Abbildung 1: Laufrad einer Radial-Turbine

Mit Hilfe des in Abbildung 2 gegebenen Cordier-Diagramms ist die Berechnung des maximalen Laufraddurchmessers D_1 durchzuführen. Für die Wahl des Laufraddurchmessers steht eine Standardreihe zur Verfügung:
($D_1 = 50 / 55 / 65 / 80 / 100 \text{ mm}$)

Die folgende Abmessungen und Strömungszustände sind gegeben:

Drehzahl n	98.300 min^{-1}
Massendurchsatz \dot{m}	$0,2 \text{ kg/s}$
Statischer Druck am Eintritt p_1	$2,1 \text{ bar}$
Statische Temperatur am Eintritt T_1	864 K
Leistung $ P $	$45,0 \text{ kW}$
Gaskonstante des Verbrennungsgases R	$288 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Polytroper Wirkungsgrad η_p	$0,9$

Mittlerer Durchmesser: $D_m = \frac{D_a + D_i}{2}$

Spezifische Stufenarbeit: $y = \Delta h_{\text{polytrop}}$

Annahmen:

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

Aufgaben:

- Bestimmen Sie die spezifische Stufenarbeit y und den Volumenstrom \dot{V} am Laufradeintritt. (5 Punkte)
- Berechnen Sie die spezifische Drehzahl σ_M . (1 Punkt)
- Bestimmen Sie im Cordier-Diagramm den spezifischen Durchmesser δ_M . Wählen Sie einen geeigneten Laufraddurchmesser D_1 aus der gegebenen Standardreihe. (5 Punkte)

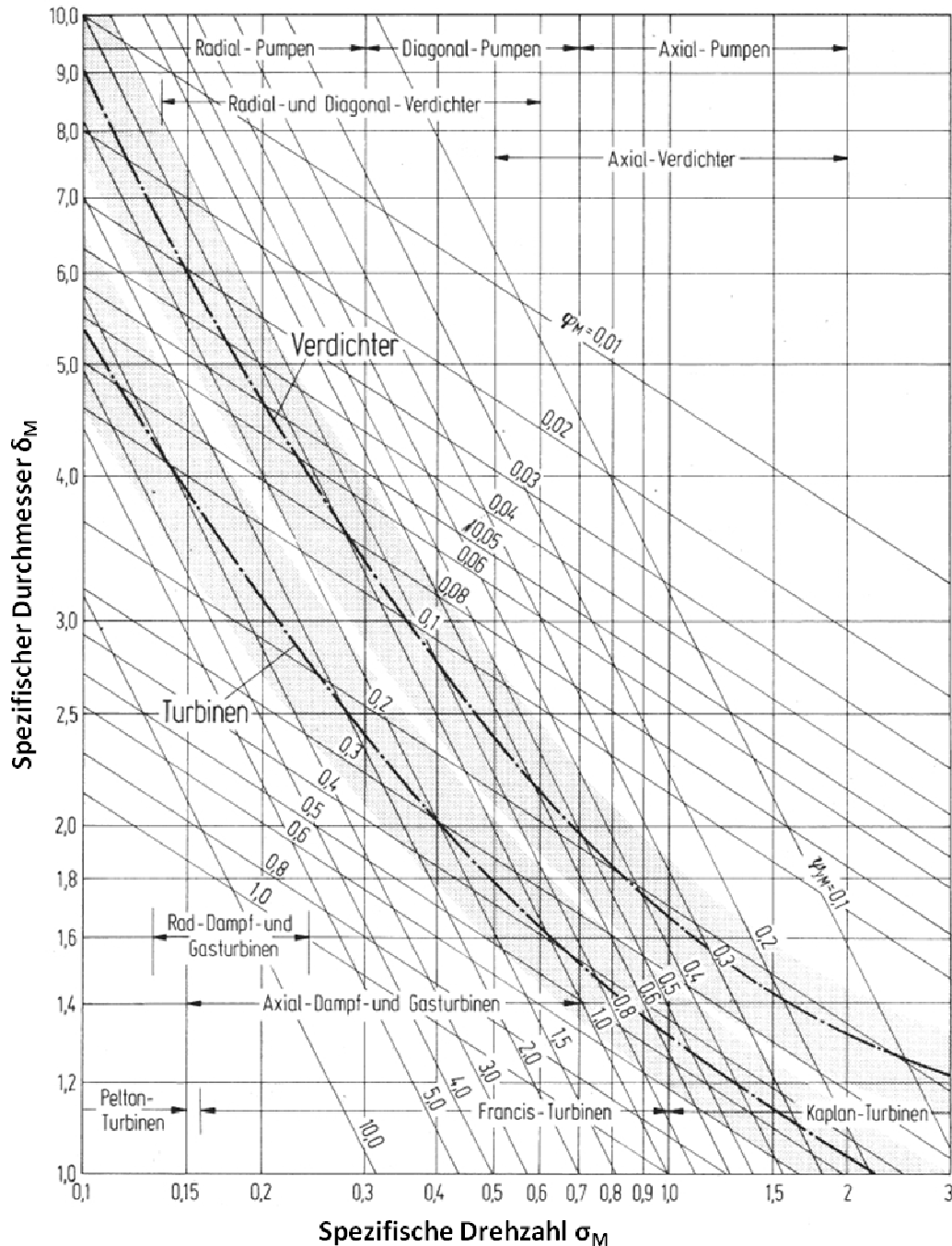


Abbildung 2: Cordier Diagramm für einstufige Turbomaschinen (Dubbel, 22. Aufl.)

Aufgabe 3 – Axialturbine

Eine einstufige Gasturbine wird im Auslegungs-Betriebspunkt rein axial angeströmt, die Abströmung im Absolutsystem ist ebenfalls rein axial. Die Stufe hat einen konstanten Durchmesser im Mittenschnitt. Die folgenden Größen sind gegeben:

Statischer Druck am Laufradeintritt p	311 kPa
Statische Temperatur am Laufradeintritt T	850°C
Umfangsgeschwindigkeit im Mittenschnitt u	500 m/s
Leistung $ P $	5 MW
Massenstrom \dot{m}	19 kg/s
Nabenverhältnis am Rotoreintritt ν	0,5162
Mittlerer Durchmesser D_m	0,3134 m
Spez. Gastkonstante R	287 J/(kg·K)

Mittlerer Durchmesser: $D_m = \frac{D_a + D_i}{2}$

Aufgaben

Bestimmen Sie:

- a) Den Innen- und Außendurchmesser (D_i und D_a), die Schaufelhöhe h und die Axialgeschwindigkeit am Rotoreintritt c_{ax} . (15 Punkte)
- b) Den Abströmwinkel α der Leitschaufel, für die Winkeldefinition gilt die Maschinenachse als Referenz. (4 Punkte)

Aufgabe 4 – Radialverdichter

Verdichter werden nicht nur für die Kompression von Luft eingesetzt, sondern auch andere Fluide werden für unterschiedliche Prozesse auf ein höheres Druckniveau gebracht. In der folgenden Aufgabe wird ein und derselbe Radialverdichter einmal für Luft und einmal für ein Kältemittel verwendet.

Annahmen:

- 1) Die Fluide können als ideale Gase betrachtet werden
- 2) Die Anströmung ist rein axial.
- 3) Anströmung α_1 ist relativ zur Maschinenachse.
- 4) Abströmung α_2 ist relativ zur radialen Richtung.
- 5) Die Zustandsänderungen werden als adiabat und isentrop betrachtet.
- 6) Die Gaskonstante und der Isentropenexponent sind über den betrachteten Temperaturbereich konstant.

Gegeben:

Randbedingungen:

Totaltemperatur am Eintritt $T_{t,1}$	293 K
Umfangsgeschwindigkeit am Austritt U_2	300 m/s
Strömungswinkel am Austritt α_2	75°
Isentroper Totalwirkungsgrad $\eta_{t,is}$	0,82
Leistungszahl ψ_2	0,9
Universelle Gaskonstante R_m	8314,46 J/(kmol·K)

Fluideigenschaften:

	Luft	Kältemittel
Molare Masse M_m	Keine Angabe	120 kg/kmol
Isentropenexponent κ	1,4	1,12
Spez. Gaskonstante R	287 J/(kg·K)	Keine Angabe

Formeln:

$$R = \frac{R_m}{M_m} \quad \text{und} \quad \psi_2 = \frac{-\Delta h_t}{U_2^2}$$

Aufgabe:

- a) Berechnen Sie die Totalenthalpiedifferenz Δh_t , die Komponenten c_u und c der absoluten Strömungsgeschwindigkeit am Austritt des Radialverdichters mit Hilfe der Euler'schen Turbinen Hauptgleichung und der Leistungszahl. (Für beide Fluide gleich). (7 Punkte)
- b) Bestimmen Sie die Totaltemperatur T_t , die statische Temperatur T , die Schallgeschwindigkeit a und die Machzahl Ma am Austritt des Radialverdichters für beide Fluide. (13 Punkte)
- c) Berechnen Sie mit Hilfe des isentropen Totalwirkungsgrades $\eta_{t,is}$ (siehe Formelsammlung) das Totaldruckverhältnis π_t für beide Fluide. (4 Punkte)

Aufgabe 5 – Dimensionsloses Geschwindigkeitsdreieck

Abbildung 3 zeigt das Geschwindigkeitsdreieck einer Verdichter-Laufschaukel mit allen relevanten Geschwindigkeitskomponenten. Eine dimensionslose Darstellung des Geschwindigkeitsdreieckes alleine durch den Reaktionsgrad R , die Durchflusszahl ϕ und die Leistungszahl ψ ist möglich, indem die Geschwindigkeitskomponenten mit der Umfangsgeschwindigkeit U normiert werden.

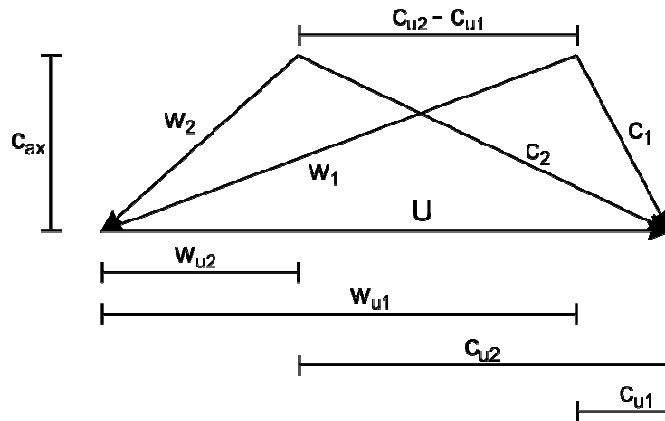


Abbildung 3: Geschwindigkeitsdreieck

Annahmen

- Die Verdichter-Laufschaukel ist Teil einer Repetierstufe.
- Keine Totalenthalpie-Änderung im Stator.
- Die Axialgeschwindigkeit ist in der gesamten Stufe konstant.

Gegeben:

Folgende Gleichungen sind gegeben:

$$\text{Gl. 1: } R = 1 - \frac{(c_{u2} + c_{u1})}{2U} \quad \left| \quad \text{Gl. 2: } \psi = \frac{(c_{u2} - c_{u1})}{U} \quad \left| \quad \text{Gl. 3: } \phi = \frac{c_{ax}}{U} \right. \right.$$

Folgende Zusammenhänge sind gegeben:

$R = \frac{\text{Statischer Enthalpieaufbau im Rotor}}{\text{Statischer Enthalpieaufbau in der Stufe}} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_1}$	
$h_{tot} = h + \frac{c^2}{2}$	$c^2 = c_{ax}^2 + c_u^2$
$(c_{u2} - c_{u1}) = \frac{(h_{tot,3} - h_{tot,1})}{U} = \psi \cdot U$	

Aufgaben

- a) Leiten Sie Gl. 1 aus diesen Zusammenhängen unter Berücksichtigung der gegebenen Annahmen her. (10 Punkte)
- b) Normieren Sie die Geschwindigkeitskomponenten U , c_{ax} , c_{u1} , c_{u2} , w_{u1} , w_{u2} und $(c_{u2} - c_{u1})$ mit der Umfangsgeschwindigkeit U und stellen Sie diese normierten Geschwindigkeitskomponenten unter Verwendung der gegebenen Gleichungen (Gl. 1 – Gl. 3) nur mit Hilfe des Reaktionsgrads R , der Durchflusszahl ϕ und der Leistungszahl ψ dar. (10 Punkte)
- c) Tragen Sie die auf diese Weise formulierten Geschwindigkeitskomponenten in Abbildung 4 ein. (3 Punkte)

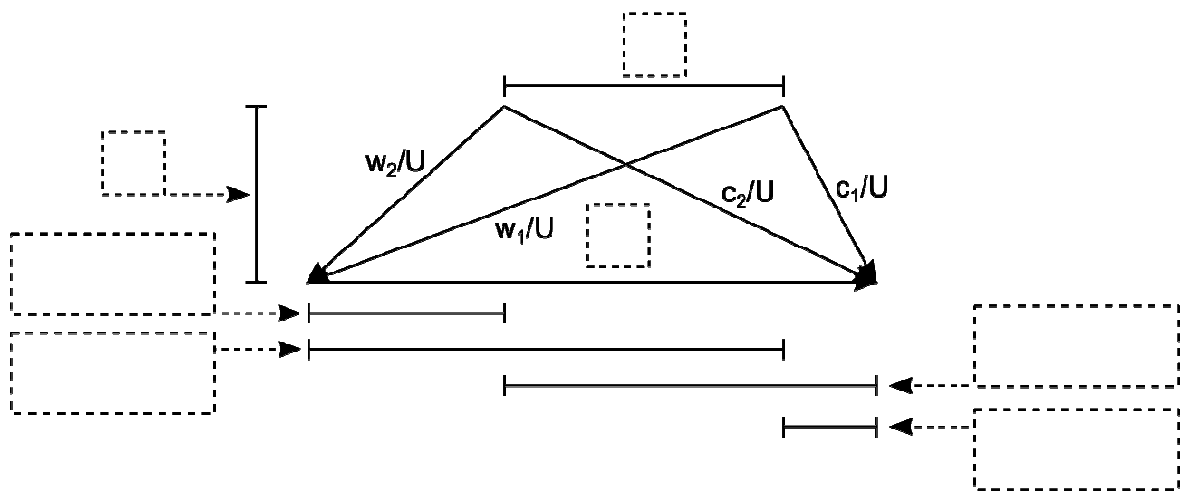


Abbildung 4: Dimensionsloses Geschwindigkeitsdreieck mit Feldern für die Formulierungen der dimensionslosen Geschwindigkeitskomponenten