

Einsendeaufgabe Typ B

Technische Thermodynamik und Fluidmechanik

Name:		Vorname:	Einsendeaufgabencode:
Straße:		PLZ, Ort:	Korrektor:
Matrikelnummer:		Studiengangsnummer:	Datum:
Name der B-Aufgabe:	Variante:	Auflage:	Note:
Bezogene Studienhefte:			Unterschrift:

Bitte reichen Sie Ihre Lösungen über StudyOnline ein. Falls Sie uns diese per Post senden wollen, dann fügen Sie bitte die Aufgabenstellung und den Einsendeaufgabencode hinzu.

1. Millikan-Versuch

Der Millikan-Versuch diente 1910 der Bestimmung der elektrischen Elementarladung. Dabei wird zu kleinsten Tröpfchen zerstäubtes Öl zwischen die parallel zur Schwerkraft orientierten Platten eines Kondensators gebracht und durch ein Mikroskop beobachtet. Beim Zerstäubungsvorgang werden geringe elektrische Ladungsmengen von den Öltröpfchen gerissen, deren Größe bestimmt werden sollen. Da die Öltröpfchen im Mikroskop bei Dunkelfeldbeleuchtung nur als Streuzentren erkennbar sind, lässt sich ihr Durchmesser nur indirekt bestimmen. Zur Bestimmung der elektrischen Ladung geht man daher in zwei Schritten vor:

1. Zunächst beobachtet man im spannungsfreien Fall ein herausgegriffenes Öltröpfchen und bestimmt dessen Sinkgeschwindigkeit $c = x/t$, indem man die in einer Zeit t zurückgelegte Strecke x mittels eines im Mikroskop sichtbaren Längenmaßstabs misst. Aus der Kräftebilanz lässt sich dann der Tröpfchendurchmesser $2r$ bestimmen.
2. Nun legt man eine elektrische Spannung U an den Kondensator an, die so eingestellt wird, dass das ins Auge gefasste sinkende Öltröpfchen zum Stillstand und in einen Schwebезustand gebracht wird. Die Kräftebilanz für diesen Fall erlaubt die Bestimmung der elektrischen Ladung q .

In Schritt 1 kann man von einer schleichenden Luftströmung um das Öltröpfchen ausgehen. In diesem Fall gilt für die Widerstandskraft die stokesche Formel $F_w = 6\pi\eta rc$ (η dynamische Viskosität der Luft). In Schritt 2 wirkt auf das elektrisch geladene Öltröpfchen die elektrische Kraft $F_e = qE$. Die elektrische Feldstärke E im Kondensator hängt mit der Kondensatorspannung U und dem Plattenabstand d über die Beziehung $E = U/d$ zusammen.

Aufgabe:

Ein Experimentator hat bei Durchführung des Millikan-Versuchs die folgenden Daten für Sinkgeschwindigkeit c und Haltespannung U ermittelt:

c [$\mu\text{m/s}$]	U [V]	$2r$ [μm]	Re	q/e
3,8	25,2			
5,3	20,1			
3,9	8,6			
3,2	18,7			
4,3	15,4			

Des Weiteren gelten für das Experiment folgende Randbedingungen und Stoffdaten:

Dichte des Öls $\rho_{\text{öl}} = 0,85 \text{ g/cm}^3$

Druck $p = 1 \text{ bar}$

Temperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$

kinematische Viskosität der Luft $\nu = 0,1 \text{ cm}^2/\text{s}$

Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Plattenabstand $d = 3 \text{ cm}$

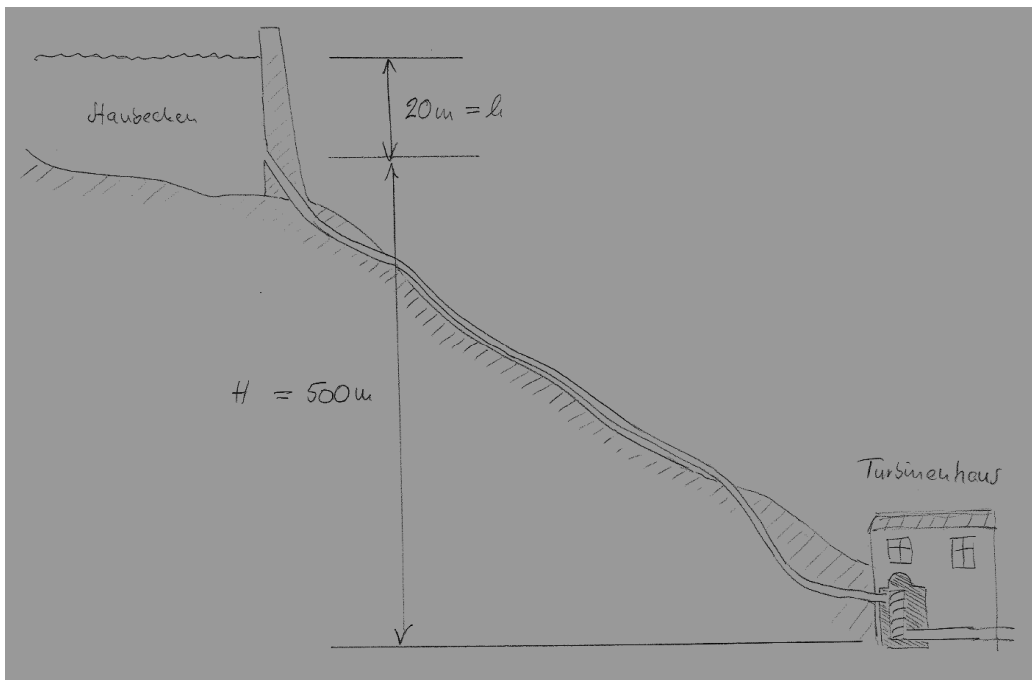
Vervollständigen Sie die obige Tabelle:

- Stellen Sie für den Versuchsschritt 1 die Kräftebilanz auf und ermitteln Sie für die Tabellenwerte c die zugehörigen Tröpfchendurchmesser $2r$. Beurteilen Sie, ob es nötig ist, die Auftriebskraft für das Öltröpfchen zu berücksichtigen.
- Berechnen Sie in allen Fällen die Reynolds-Zahl Re für die Luftströmung um das Öltröpfchen und prüfen Sie, ob das Kriterium $Re < 1$ für schleichende Strömungen erfüllt ist.
- Berechnen Sie für den Versuchsschritt 2 die jeweilige elektrische Ladung q . Zeigen Sie, dass es sich in guter Näherung um ganzzahlige Vielfache der Elementarladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ handelt ($1 \text{ C} = 1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ As} = 1 \text{ Ampèresekunde}$).

25 Pkt.

2. Leistung einer Turbine in einem Wasserspeicherkraftwerk

An der Innenseite der Staumauer eines Wasserspeichers befindet sich 20 m unterhalb des Wasserspiegels der Eintritt in die Fallrohrleitung. 500 Höhenmeter unterhalb davon befindet sich das Turbinenhaus. Die Rohrleitung besitzt einen Durchmesser von 1 m und bis zur Turbine eine Gesamtlänge von 4,0 km. Der Leitungsausgang zur Umgebung hinter der Turbine habe ebenfalls den Durchmesser 1 m. Im Folgenden ist anzunehmen, dass die Rohrleitung vollständig mit Wasser gefüllt ist.



(nicht maßstabsgetreue Skizze)

Aufgabe:

- a) Berechnen Sie die von einer mit 95 % Wirkungsgrad arbeitenden Turbine abgegebene Leistung P als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit c und skizzieren Sie die Funktion $P(c)$ grafisch. Bei welcher Strömungsgeschwindigkeit c_{opt} wird die Turbinenleistung maximal? Wie groß ist die maximale Turbinenleistung? Bei welcher Geschwindigkeit $c_{\text{max}} > 0$ wird die Turbinenleistung null (keine Leistungsentnahme aus dem Fluidstrom)? Vergleichen Sie diesen Wert mit demjenigen nach der torricellischen Ausflussformel.

Verwenden Sie zur Berechnung der Verlustziffer ζ (Wert bitte angeben!) der Einfachheit halber die Formel von Nikuradse für die Rohrreibungszahl λ :

$$1/\sqrt{\lambda} = 2 \log_{10}(3,71d/k)$$

Sie beschreibt das asymptotische, rauigkeitsdominierte Verhalten für große Reynolds-Zahlen. Überprüfen Sie durch Vergleich mit dem Colebrook-Diagramm, dass die Nikuradse-Formel in der Umgebung von $c = c_{\text{opt}}$ anwendbar ist, und geben Sie eine Beurteilung ab.

- b) Skizzieren Sie unter Voraussetzung der Anwendbarkeit der Nikuradse-Formel den Druckverlauf zwischen einem Punkt im Rohreinlaufbereich und einem Punkt unmittelbar vor Turbineneintritt als Funktion der Höhenkoordinate z für konstantes Gefälle (d. h. Rohrverlauf folgt der schiefen Ebene). Geben Sie in den Fällen $c = c_{\text{opt}}$ bzw. $c = c_{\text{max}}$ die Drücke an den Rohrendpunkten explizit an.

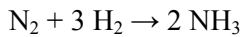
Rauigkeitshöhe der Rohrwandung $k = 2 \text{ mm}$

Stoffdaten: Dichte von Wasser $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, Viskosität $\nu_w = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$.

25 Pkt.

3. Teil A: **Ammoniak-Synthese**

Ein Gasgemisch aus molekularem Stickstoff N_2 (Spezies 1) und molekularem Wasserstoff H_2 (Spezies 2) ist infolge eines schnellen Verdichtungsprozesses auf einen Druck von $p = 300$ bar komprimiert worden. Die Temperatur betrage 450 °C bei einem Endvolumen von 4 Litern. Das Stoffmengenverhältnis sei $n_1 : n_2 = 1 : 3$. Unter isothermen Bedingungen laufe nun im stofflich abgeschlossenen System langsam die Ammoniak-Synthese-Reaktion



ab.

Aufgabe:

- Berechnen Sie die beteiligten Stoffmengen n_1, n_2 und die zugehörigen Partialdrücke p_1, p_2 zu Beginn der Reaktion.
- Was passiert mit dem Druck p im Zuge der Ammoniak-Bildung und warum?
- Auf welchen Wert kann der Druck des Gasgemisches im hypothetischen Fall einer vollständigen chemischen Umsetzung höchstens abfallen?

10 Pkt.

Teil B: **Taupunkt von Abgasen**

Das Abgas eines Motors oder einer Verbrennungsanlage besteht aus trockenem Mischgas und Wasserdampf. Die Analyse einer Abgasprobe habe die folgende Zusammensetzung ergeben: $m(H_2O) = 0,5$ kg, $m(CO_2) = 3,0$ kg, $m(SO_2) = 0,03$ kg, $m(N_2) = 12,5$ kg, $m(O_2) = 1,5$ kg. Im Betrieb wird das Abgas in eine Umgebung mit $p = 1$ bar Luftdruck entlassen. Bei welcher Temperatur liegt für dieses Gasgemisch der Taupunkt, an dem der Wasserdampf kondensiert?

Aufgabe:

- Berechnen Sie den Wassergehalt x des Abgases (z. B. in g Wasserdampf pro kg trockenes Abgas) und den zugehörigen Partialdruck p_D des Wasserdampfes. Am Taupunkt ist dieser gleich dem Sättigungsdruck p_S . Die zugehörige Temperatur t kann dann dem Mollier- h, x -Diagramm für feuchte Luft oder auch einer tabellierten Dampfdruckkurve entnommen werden.
- Die benötigten Atomgewichte betragen $M(H) = 1$ g/mol, $M(O) = 16$ g/mol, $M(C) = 12$ g/mol, $M(S) = 32$ g/mol, $M(N) = 14$ g/mol. Die allgemeine Gaskonstante hat den Wert $R_m = 8,314$ J/molK.

15 Pkt.

4. **Schub eines Strahltriebwerks**

Ein vierstrahliges Verkehrsflugzeug fliegt mit einer konstanten Reisegeschwindigkeit $U = 950$ km/h in 11 km Höhe. Aus den Triebwerken tritt die mit der Eintrittsgeschwindigkeit $U_1 = U_\infty = U$ angesaugte Luft (Fandurchmesser 2,95 m, effektiver Einströmquerschnitt = 0,7 x Fanquerschnitt, U_∞ Strömungsgeschwindigkeit der ungestörten Luft weit weg vom Flugzeug in dessen Ruhesystem) mit dem 2,65-fachen Wert der Schallgeschwindigkeit in der umgebenden

Luft aus. Die Austrittsdüse ist als Laval-Düse ausgeführt, so dass der Druck im austretenden Gasstrahl gleich dem Umgebungsdruck ist.

- a) Berechnen Sie mithilfe des Impulssatzes die zu erwartende Schubkraft pro Triebwerk. Rechnen Sie mit der ICAO-Normatmosphäre (siehe Heft TTF03, S. 44) und mit $R = 287 \text{ J/kgK}$ und $\kappa = 1,4$ für Luft.
- b) Wie groß ist bei einer Flugzeugmasse von $M = 570$ Tonnen (Airbus A380) die Größe F/Mg mit $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, wenn F die Gesamtschubkraft bezeichnet? Wie groß ist die effektive Widerstandsfläche $c_w A$? Wie groß ist der Widerstandsbeiwert c_w , wenn, wie in der Luftfahrttechnik üblich, als Bezugsfläche A die Flügelfläche verwendet wird? Sie beträgt beim Airbus A380 $A = 846 \text{ m}^2$. Berechnen Sie zum Vergleich auch den Widerstandsbeiwert unter Verwendung der in der Fahrzeugaerodynamik üblichen, in Bewegungsrichtung projizierten Stirnfläche als Bezugsfläche. Schätzen Sie dazu Letztere mittels der folgenden Informationen ab: Der Airbus 380 besitzt einen elliptischen Rumpf mit einem mittleren Durchmesser von ca. $7,7 \text{ m}$ und vier Triebwerke der o.g. Abmessungen.
- c) Um wie viel verringert sich der Schub, wenn bei gleichem Massenstrom anstelle der Laval-Düse eine konventionelle, konvergente Düse verwendet wird? Der Gaszustand am Düseneintritt werde charakterisiert durch $p_0 = 1,9 \text{ bar}$ und $t_0 = 393 \text{ }^\circ\text{C}$.

25 Pkt.