

# Übungsbeispiele zu Kapitel 11

**Ü 46** Für das Wasserangebot, Gefälle 662 m, Durchsatz  $10,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (Mittelwerte), soll eine PELTON-Turbine eingesetzt werden. Der Entwurf der Anlagenanordnung ergibt einen Freihang von 3 m und der Rohrleitungswirkungsgrad wird auf 92 % geschätzt.

Gesucht:

- a) Drehzahl
- b) Hauptabmessungen
- c) Maximale Strahlkraft
- d) Leistung

**Ü 47** Von einer ausgeführten PELTON-Turbine sind folgende Werte bekannt:  
Gefälle 783,5 m, Freihang 3,5 m, Volumenstrom  $19\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ , Drehzahl  $500 \text{ min}^{-1}$ , Leistung 37,8 MW, Strahlkreisdurchmesser 2,23 m, Düsenanzahl 2.

Die Maschine ist nachzurechnen:

- a) Wirkungsgrad
- b) Spezifische Drehzahl
- c) Strahlgeschwindigkeit
- d) Strahldurchmesser
- e) Strahlverhältnis
- f) Laufzahl
- g) Strahlkraft
- h) Becherzahl

**Ü 48** Die Hauptwerte einer Wasserturbine für 420 m Gefälle,  $18,45 \text{ m}^3/\text{s}$  Durchsatz sind für die Drehzahl  $600 \text{ min}^{-1}$  überschlägig festzulegen. Aufstellung 1 230 m über Meereshöhe, Wassertemperatur im Mittel  $20^\circ\text{C}$ .

- a) Turbinentyp
- b) Leistung und Anlagenwirkungsgrad
- c) Raddurchmesser
- d) Radeintrittsbreite
- e) Druckkantenwinkel des Laufrades
- f) Reaktionsgrad
- g) Saugmunddurchmesser
- h) Laufschaufelzahl
- i) Schaufelverengungsfaktor an Druckkante bei 46 mm Schaufeldicke
- j) Zulässige Saughöhe

**Ü 49** Für das Wasserangebot, Fallhöhe 118,5 m, Durchsatz  $8,25 \text{ m}^3/\text{s}$  (Maximalwert), ist eine Turbine vorgesehen, die mit einem Drehstromgenerator (Frequenz 50 Hz) möglichst hoher Drehzahl unmittelbar gekuppelt werden soll. Nach der Kraftwerksvorplanung ist eine Saughöhe von 2,6 m notwendig. Die Saugleitungsverluste betragen  $12,5 \text{ m}^2/\text{s}^2$  (rechnerisch überschlagen). Die geographische Höhenlage des Kraftwerksaufstellungsortes beträgt 460 m über dem Meeresspiegel. Die Wassertemperatur liegt im Mittel bei  $15^\circ\text{C}$ .

Die Hauptwerte der Turbine sind festzulegen:

- a) Drehzahl
- b) Spezifische Drehzahl
- c) Turbinenleistung
- d) Anlagenwirkungsgrad
- e) Radumriss (Meridianschnittabmessungen) und Schaufelwinkel

**Ü 50** Eine Flusstaustufe, Gefälle 7,95 m, Wasserstrom  $256 \text{ m}^3/\text{s}$ , soll mit einer Turbinenanlage ausgerüstet werden. Die Wassertemperatur beträgt  $20^\circ\text{C}$ , der Umgebungsdruck 980 mbar (Mittelwerte).

Gesucht: Hauptdaten der Turbine

- a) Turbinentyp
- b) Drehzahl
- c) Radumriss
- d) Schaufelwinkel
- e) Gefälleaufteilung
- f) Reaktionsgrad
- g) Leitschaufelhöhe (-breite)
- h) Turbinenleistung
- i) Laufradkräfte

**Ü 51** Von einer KAPLAN-Turbine sind bekannt:

<b>Laufrad:</b>	Außendurchmesser	1 480 mm
	Nabendurchmesser	620 mm
	Reaktionsgrad	0,65
	Drallfreie Abströmung	
<b>Betriebsdaten:</b>	Gefälle	4,5 m
	Drehzahl Generator	34-polig

**Verluste** (aus Abnahmeversuch):

Leitrad 2,5 %, Laufrad 2,5 %, Austritt 3 %, Radreibung 1 %, Saugrohr 22 %, Spalte 4 %, mechanische 1,5 % der umgesetzten Energie.

Gesucht:

- a) Geschwindigkeitspläne in Radmitte
- b) Prüfen des Reaktionsgrades
- c) Effektiver Wirkungsgrad
- d) Volumendurchsatz
- e) Turbinenleistung (effektive Leistung)
- f) Schnellläufigkeit

**Ü 52** Ein Braunkohlenkraftwerk von 800 MW elektrischer Leistung benötigt  $8\,700 \text{ kJ/kWh}$  spezifischen Wärmebedarf. Der untere Heizwert der Braunkohle beträgt  $7\,500 \text{ kJ/kg}$  (vergleiche auch DUBBEL).

Gesucht:

- a) Anlagenwirkungsgrad
- b) Täglicher Kohlebedarf bei Volllastbetrieb
- c) Abschätzen von Dampf-, Kühlwasser- und Luftbedarf

**Ü 53** Eine zweikränzige CURTIS-Turbine (2C-Rad), die bei optimalem Energieumsatz mit der Umfangsgeschwindigkeit  $180 \text{ m/s}$  arbeitet, ist auf den Frischdampfzustand 160 bar,  $540^\circ\text{C}$  ausgelegt und setzt stündlich 27 t Dampf durch. Die Drehzahl beträgt  $7\,200 \text{ min}^{-1}$ .

Gesucht:

- a) Abdampf-Zustand, wenn der innere Wirkungsgrad zu 60 % geschätzt wird
- b) Turbinenleistung
- c) Beaufschlagungsgrad

**Ü 54** Eine volltourige Kondensations-Dampfturbine von 8 MW effektiver Leistung arbeitet zwischen Frischdampf 20 bar, 380 °C und Abdampf 0,1 bar, Steinkohlenfeuerung.

Gesucht:

- a) Abschätzen des Raddurchmessers der ersten und letzten Stufe der vollbeaufschlagten sowie bei optimalem Energieumsatz arbeitenden Turbine:
  - $\alpha$ ) Für Gleichdruckwirkung
  - $\beta$ ) Für Überdruckwirkung
- b) Brennstoffbedarf
- c) Thermischer Wirkungsgrad

**Ü 55** Von einer volltourigen Dampfturbine mit Zwischenüberhitzung und 4-flutigem Niederdruckteil sind bekannt:

*Betriebswerte:*

Frischdampfzustand	160 bar, 540 °C
Abdampfzustand	0,05 bar, $x = 0,88$
Gesamtes isentropes Wärmegefälle	1 820 kJ/kg
Effektiver Turbinenwirkungsgrad	85 %

*Erste Stufe:* Umfangsgeschwindigkeit 165 m/s. Voll beaufschlagt bei 60 m/s Dampfzuströmgeschwindigkeit zur Beschauelung.

*Letzte Stufe:* Umfangsgeschwindigkeit 330 m/s. Schaufelerstreckungsverhältnis  $b/D = 0,3$ , Dampfabströmgeschwindigkeit 180 m/s (drallfrei).

Gesucht:

- a) Anlagenwirkungsgrad (Abschätzung)
- b) Dampfdurchsatz
- c) Turbinenleistung
- d) Kühlwasserbedarf bei 5 °C Temperaturerhöhung
- e) Schaufellänge der ersten Stufe

**Ü 56** Eine auf optimalen Wirkungsgrad ausgelegte Gleichdruckdampfturbine verarbeitet 5 kg/s Dampf. Der Zustand des Zuströmdampfes beträgt 480 °C, 30 bar. Von der ersten Maschinen-Stufe (vollbeaufschlagt) mit Umfangsgeschwindigkeit 250 m/s sind gesucht:

- a) Umfangskraft
- b) (Umfangs-)Leistung
- c) Theoretisch und tatsächlich umgesetztes Enthalpiegefälle
- d) Schaufelungsverluste
- e) Schaufelungswirkungsgrad ohne und mit Nutzung der Ausströmenergie in der folgenden Stufe
- f) Ausströmzustand des Dampfes

**Ü 57** Von einer normalen Überdruckstufe sind bekannt: Beschauflungsdurchmesser 1,25 m (Schaufelmitte) und Drehzahl 3 000 min<sup>-1</sup>. Die sonstigen Größen sollen entsprechend den Richtwerten (Mittelwerte) ausgeführt werden.

Gesucht:

- a) Ideales Stufengefälle
- b) Geschwindigkeitsplan
- c) Tatsächliches Stufengefälle
- d) Schaufelungsverluste
- e) Schaufelungswirkungsgrad
- f) Volumendurchsatz
- g) Leistung bei geschätzt: Spezifisches Volumen 0,2 m<sup>3</sup>/kg
- h) Abschätzen der Radreibungsverluste

**Ü 58** Zum Antrieb eines Turbogebläses soll eine Kleindampfturbine eingesetzt werden. Die Turbine, die bei folgenden Betriebsverhältnissen arbeitet, ist zu berechnen:

Frischdampfzustand	280 °C, 10 bar
Abdampfdruck	1,5 bar
Drehzahl	180 s <sup>-1</sup>
Kupplungsleistung	90 kW

**Ü 59** Zu einer einstufigen Gegendruck-Gleichdruckdampfturbinen-Anlage gehören folgende Betriebsdaten:

Turbinenabgabeleistung	$P_e = 5 \text{ MW}$
Drehzahl	$n = 7\,200 \text{ min}^{-1}$
Speisewassertemperatur	$t_{\text{Wa}} = 20 \text{ °C}$

Dampfzustand am

Turbineneintritt	Absolut-Druck	$p_e = 20 \text{ bar}$
	Temperatur	$t_e = 310 \text{ °C}$
Turbinenaustritt	Absolut-Druck	$p_a = 3 \text{ bar}$
	Temperatur	$t_a = 200 \text{ °C}$
Wirkungsgrade	Kessel	$\eta_{\text{Ke}} = 0,88$
	Mechanischer	$\eta_m = 0,98$
	Generator	$\eta_G = 0,96$

Dampfzuströmgeschwindigkeit zur Turbine vernachlässigbar.

Gesucht:

- Spezifische innere Stufenarbeit
- Innerer Turbinenwirkungsgrad
- Anlagenwirkungsgrad
- Dampfdurchsatz
- Schaufelwinkel (gleichschenkelig, reibungsfrei)
- Spezifische theoretische Stutzenarbeit
- Spezifische Stutzenarbeit
- Schauflungsverluste
- Schauflungswirkungsgrade
- Zusammenhang zwischen spezifischer theoretischer Stutzenarbeit und isentropem Enthalpiegefälle
- Zusammenhang zwischen spezifischer Stufenarbeit und Enthalpiegefälle
- Laufreddurchmesser bei Drehzahl 7 200 min<sup>-1</sup>
- Schaufelhöhe (-breite) bei Vollbeaufschlagung

**Ü 60** Eine „offene“ Gasturbine ohne Wärmetauscher arbeitet mit dem Druckverhältnis 8,5 und setzt 28 kg/s Luft durch. Die maximal zulässige Prozess-Temperatur beträgt 900 °C. Ansaugzustand 1 bar, 20 °C.

Gesucht bei idealem Prozess:

- Anlagenwirkungsgrad
- Nutzarbeit
- Verdichtungsendtemperatur
- Abgastemperatur
- Nutzleistung
- Brennstoffbedarf bei leichtem Heizöl

**Ü 61**

Eine „offene“ Gasturbine ohne Wärmetauscher für den Direktantrieb eines volltourigen Generators von 50 Hz arbeitet mit etwa optimalem Druckverhältnis. Infolge Schaufelkühlung – Kühlluftbedarf 8 % – darf die Gastemperatur 950 °C erreichen. Beim Ansaugzustand 20 °C, 1 bar (feuchte Luft) beträgt der Luftdurchsatz 140 kg/s. Brennstoff: Leichtes Heizöl.

Gesucht:

- a) Druckverhältnis
- b) Verdichtungsendtemperatur
- c) Abschätzen der Stufenzahl des Axialverdichters
- d) Abschätzen des Verdichterdurchmessers (Beschauflung)
- e) Abschätzen der Schaufellänge von erster und letzter Verdichterstufe
- f) Verdichterantriebsleistung
- g) Turbinenabgabeleistung
- h) Nutzleistung
- i) Brennstoffbedarf
- j) Abschätzen der Turbinen-Stufenzahl

**Ü 62**

Geplant ist eine Einwellen-Gasturbine mit offenem Kreisprozess.

Bekannt:

Ansaugzustand:	Luft 15 °C, 1 bar
Druckverhältnis:	9
Maximale Prozesstemperatur:	750 °C
Geforderte Nutzleistung:	8,2 MW
Brennstoff:	Leichtes Heizöl

Zum Vergleich sind folgende Berechnungen durchzuführen, bei

*Anlage ohne Wärmetauscher*

- a) Druckverhältnis überprüfen, ob günstig
- b) Leistungsaufteilung und Anlagenwirkungsgrad bei idealer Maschine
- c) Leistungsaufteilung bei realem Prozess und 3 % Druckverlust in der Brennkammer
- d) Temperaturen und Drücke des realen Prozesses
- e) Gütegrad
- f) Anlagenwirkungsgrad
- g) Luftdurchsatz bei 5 % Kühlluftbedarf
- h) Luftüberschusszahl
- i) Brennstoffbedarf und Verhältnis von Rauchgas zu Luftdurchsatz

*Anlage mit Wärmetauscher (WT)*

- j) Wärmerückgewinn bei 50 °C Temperaturverlust und zugehörige Kraftstoffersparnis
- k) Anlagenwirkungsgrad bei idealer Anlage (GT u. WT)

**Ü 63**

Eine Gasturbine ohne Rekuperation, Drehzahl  $4800 \text{ min}^{-1}$ , arbeitet im Auslegungspunkt beim Druckverhältnis 7,2 mit 650 °C maximaler Temperatur und setzt 24 kg/s Luft vom Ansaugzustand 0,95 bar, 20 °C durch. Die erste Stufe des Turbinenteiles, die mit 220 m/s umläuft, ist auszulegen (Hauptdaten).

Gesucht:

- a) Stufengefälle
- b) Schaufelgefälle (Laufradgefälle)
- c) Schauflungswirkungsgrad
- d) Gaszustand nach der Stufe und nach der Leitbeschauflung
- e) Beschauflungsdurchmesser

- f) Schaufellänge
- g) Anlagenwirkungsgrad
- h) Maschinenleistung
- i) Brennstoffverbrauch bei Heizöl EL

**Ü 64**

Für eine Gasturbine ist das Druckguss-Laufrad des einstufigen Radialverdichters auszulegen. Von der Vorberechnung sind bekannt:

Verdichtungs-Druckverhältnis	$\Pi_K = 3,9$
Luftdurchsatz	$\dot{m}_{Lu} = 3,75 \text{ kg/s}$
Ansaugzustand	1 bar, 15 °C

Aus Festigkeitsgründen sind die Laufschaufeln radial auszubilden. Des Weiteren soll die Saugkante radial und die Druckkante axial verlaufen. Die Saugkanten werden am gegossenen Laufrad in Strömungsrichtung gebogen.

Gesucht: Laufradabmessungen

- a) Saugkante
- b) Druckkante
- c) Kenngrößen

**Ü 65**

Ein Flugzeug soll in 10 km Höhe mit der Geschwindigkeit entsprechend 2 Mach fliegen. Das zum Erzeugen des notwendigen Vortrieb-Schubes von 38 kN einzusetzende Strahltriebwerk ist thermodynamisch durchzurechnen. Der Triebwerksauslegung sind zu Grunde zu legen:

Verdichter-Druckverhältnis	$\Pi_K = 7,2$
Maximale Prozesstemperatur	$t_{\max} = 1\,100 \text{ °C}$
Druckrückgewinnfaktor des Einlaufdiffusors	$f_p = 0,82$
Verdichtewirkungsgrad	$\eta_{K,s} = 0,86$
Brennkammer: Druckverlust	$\Delta p_{BK} = 0,05 \cdot p_{BK}$
Ausbrenngrad	$\eta_{BK} = 0,97$
Turbinenwirkungsgrad	$\eta_{T,s} = 0,88$
Schubdüsen-Wirkungsgrad	$\eta_{Dü} = 0,92$
Brennstoff:	Leichtes Heizöl

Im Einzelnen sind gesucht:

- a) Werte des Kreisprozesses
- b) Luftdurchsatz
- c) Kraftstoffverbrauch und Kraftstoffanteil
- d) Schub-, Düsen- und Vortriebsleistung
- e) Schubwirkungsgrad
- f) Schub-, Flug- und Triebwerkswirkungsgrad
- g) Standschub

**Ü 66**

Zum Vortrieb eines Flugzeuges – Flughöhe 4 000 m, Fluggeschwindigkeit 620 km/h – sind Propellerturbinen von je 1 700 kW Leistung mit dem Druckverhältnis 6,2 und 850 °C maximaler Betriebstemperatur vorgesehen. Die Verbrennungsgas-Geschwindigkeit soll betragen: am Turbinenaustritt 80 m/s und am Schubdüsenaustritt 280 m/s. Kraftstoff: Heizöl EL.

Gesucht:

- a) Daten des Kreisprozesses
- b) Luftdurchsatz
- c) Schub
- d) Äquivalenzleistung
- e) Kraftstoffverbrauch und -anteil
- f) Luftüberschusszahl
- g) Triebwerkswirkungsgrad

**Ü 67** Der Start-, d.h. Standschub eines Flugzeuges beträgt 45 kN. Um entscheiden zu können, welche Triebwerksausführung eingesetzt werden soll, sind TL und ZTL zu vergleichen. Dem Durchrechnen der Kreisprozesse beider Triebwerksarten sind zu Grunde zu legen:

Druckverhältnisse:	Verdichter	8,4
	Bläser	1,56
Maximale Prozesstemperatur		920 °C
Wirkungsgrade:	Verdichter/Bläser	0,88
	Verbrennung	0,97
	Turbine	0,9
	Schubdüsen	0,95
Durchsatzverhältnis beim ZTL		$\delta = \dot{m}_{II}/\dot{m}_I = 3,5$
Ansaugzustand:		20 °C, 1 bar

Gesucht:

- Zustandswerte der Kreisprozesse
- Luftdurchsätze
- Kraftstoffverbräuche
- Triebwerkswirkungsgrade (leichtes Heizöl)
- Schub- und Fortbewegungswirkungsgrade sowie Schub bei 620 km/h Fluggeschwindigkeit, und zwar bei Annahme sonst unveränderter Verhältnisse

**Ü 68** Vom Verdichter (Axialbauweise) eines ausgeführten Strahltriebwerkes sind bekannt:

Gesamt-Druckverhältnis	$\Pi_K = 8,2$
Luftdurchsatz	$\dot{m}_{Lu} = 65 \text{ kg/s}$
Verdichterwirkungsgrad	$\eta_{K,s} = 0,85$
Drehzahl	$n = 8400 \text{ min}^{-1}$
Stufenzahl	$i = 14$
Durchmesser der 1. Stufe:	
	Außen $D_{(a)} = 860 \text{ mm}$
	Innen $D_{(i)} = 480 \text{ mm}$

Gesucht: Kennwerte der 1. Verdichterstufe

- Druckziffer
- Lieferziffer
- Schnelllaufzahl

**Ü 69** Eine Luftturbine für 3 MW effektiver Leistung ist so auszulegen, dass sie bei Windstärke 6 optimal arbeitet.

Gesucht:

- Propellerdurchmesser
- Propeller-Luftstrom
- Axialkraft, Nominal- und Maximalwert
- Maximal mögliche Axialkraft bei Sturm (etwa Windstärke 5 bis 6)

**Ü 70** Ein Windkonverter mit 15 m Propellerdurchmesser arbeitet bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s. Die Abströmgeschwindigkeit wurde zu 3,6 m/s gemessen.

Gesucht:

- Geschwindigkeitsminderungszahl
- Abgabeleistung
- Axialkraft
- Leistungszahl