

Dies ist eine Zusammenfassung der 28 Aufgaben von Hr. Gronowskie, die mir zur Verfügung standen. Im ersten Teil finden sich die Aufgabenstellungen, die am Ende nach den nötigen Hilfsmitteln auch gelöst worden sind. Daher sind es leider ein paar Seiten geworden. Zum Teil wiederholen sich die Aufgaben auch, aber oft mit anderen Zahlen.

Bei Fragen stehe ich jederzeit unter der Email: [silke.koch@tfh-berlin.de](mailto:silke.koch@tfh-berlin.de) zur Verfügung

Stoffdaten

T/°C	$p_w/\text{mbar}$	$b_T/10^{-8} \text{ bar}^{-1}$	$b_p/10^{-3} \text{ k}^{-1}$	$n/10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	$h/10^{-6} \text{ Pas}$	$r/\text{kg}/\text{m}^3$
0	6,11	51,1	-0,0838	1,750	1750	999,8
10	12,27	48,8	0,0832	1,310	1302	999,7
20	23,37	46,8	0,2042	1,000	1000	998,3
30	42,41	46,0	0,3056	0,805	799,0	995,7
40	73,75	44,9	0,389	0,658	653,1	992,3
50	123,35	44,9	0,4622	0,550	545,0	988,0
60	208,6	45,5	0,5288	0,466	469,0	983,2
80	473,6	46,9	0,6473	0,348	354,5	971,6
100	1013,3	/	0,7531	0,291	278,2	958,1

Tafel 6.2 Durchmischungskennzahl C

Rührertyp	Mit Strombrecher		Ohne Strombrecher	
	Re	C	Re	C
Kreuzbalkenrührer	$5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	14	$10^3 \dots 10^5$	32
Gitterrührer	$5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	10	$10^3 \dots 10^5$	22
Blattrührer	$5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	8	$10^3 \dots 10^5$	18
Ankerrührer	-	-	$10^4 \dots 10^5$	50
Wendelrührer	-	-	1 ... 50	60
MIG-Rührer	$10^4 \dots 5 \cdot 10^5$	15	$10^3 \dots 10^5$	50 ... 90
Scheibenrührer	$5 \cdot 10^3 \dots 10^5$	50	-	-
Propellerrührer	$4 \cdot 10^4 \dots 10^5$	80	-	-
Impellerrührer	$2 \cdot 10^4 \dots 10^5$	18	$5 \cdot 10^3 \dots 10^5$	30

Tafel 6.1 - Rührerformen, Richtwerte

Rührorgan	Rührer- $\varnothing$ $d_2/d_1$	Bodenabstand $h_2/d_2$	Umfangsgeschw. in m/s	Rührströmung		mPa s Viskosität in mPa s
				Ansaugen	Austritt	
Propellerrührer	0,2 ... 0,4	0,5 ... 1	3 ... 10	axial	axial	< 500
Scheibenrührer	0,2 ... 0,35	0,5 ... 1	3 ... 6	axial	radial	< 500
Zahnscheibe	0,2 ... 0,5	1 ... 2	10 ... 20	axial	radial	< 500
Schaufelrührer	0,2 ... 0,5	0,5 ... 1	2 ... 5	axial	axial	< 500
Kreuzbalkenrührer	0,6 ... 0,8	0,1	1,5 ... 8	axial	radial	500 ... 5000
MIG <sup>1</sup> -Rührer	0,7 ... 0,95	0,15	1,5 ... 8	axial	axial	500 ... 5000
Ankerrührer	0,9	0,025	0,5 ... 5	axial	radial	5000 ... 50000
Wendelrührer	0,95 ... 0,98	0,01	0,5 ... 1	axial	axial	5000 ... 50000
Blattrührer	0,5	0,1	0,5 ... 10	axial	radial	500 ... 5000
Impellerrührer	0,5	0,1	0,5 ... 10	axial	radial	< 500

$d_1$  = Behälter- $\varnothing$ ;  $d_2$  = Rührer- $\varnothing$ ;  $h_2$  = Bodenabstand

<sup>1</sup> MIG = Mehrstufen-Impuls-Gegenstrom (EKATO)

## 2. Mechanik der Fluide

Verwendete Formelzeichen und deren kohärente Einheiten

Formelzeichen	Bedeutung	kohärente Einheiten
$A$	Fläche	$m^2$
$b$	Breite	$m$
$c$	Schallgeschwindigkeit	$m/s$
$d, D$	Durchmesser	$m$
$d_{\text{äq}}$	äquivalenter Durchmesser	$m$
$F$	Kraft	$N$
$f$	Fließfestigkeit plastischer Körper	$N/m^2$
$g$	Erdbeschleunigung	$m/s^2$
$H_E$	Energiehöhe	$m$
$h$	Höhe	$m$
$h_{\text{dy}}$	Geschwindigkeitshöhe	$m$
$h_g$	geodätische Höhe	$m$
$h_r$	Reibungshöhe	$m$
$h_{\text{st}}$	Druckhöhe	$m$
$k$	mittlere absolute Rauheit	$m$
$l$	Länge	$m$
$l_{\text{äq}}$	äquivalente Länge	$m$
$Ma$	MACHzahl	-
$m$	Masse	$kg$
$\dot{m}$	Massestrom	$kg/s$
$N$	Anzahl	-
$n$	relative Rauheit	-
$P$	Leistung	$W$
$P_{\text{sp}}$	spezifische Leistung	$W/m^3$
$p$	Druck	$N/m^2$
$p_{\text{dy}}$	dynamischer Druck	$N/m^2$
$p_g$	geodätischer Druck	$N/m^2$
$p_{\text{st}}$	statischer Druck	$N/m^2$
$r$	Radius	$m$
$r_h$	hydraulischer Radius	$m$
$Re$	REYNOLDSzahl	-
$t$	Temperatur	$^{\circ}C$
$U$	Umfang	$m$
$u$	Umfangsgeschwindigkeit	$m/s$
$V$	Volumen	$m^3$
$\dot{V}$	Volumenstrom	$m^3/s$
$v$	spezifisches Volumen	$m^3/kg$
$w$	Strömungsgeschwindigkeit	$m/s$
$Y$	spezifische Arbeit	$J/kg$
$Y_r$	spezifische Reibungsarbeit	$J/kg$
$z$	Eintauchtiefe	$m$
$\alpha$	Durchflußzahl	-
$\varepsilon$	Expansionszahl	-
$\varepsilon_K$	relatives Zwischenkorn- oder Porenvolumen	-

Formelzeichen	Bedeutung	kohärente Einheiten
$\zeta$	Widerstandszahl	-
$\eta$	dynamische Zähigkeit	Ns/m <sup>2</sup>
$\eta'$	scheinbare dynamische Zähigkeit	Ns/m <sup>2</sup>
$\theta$	Temperatur	°C
$\kappa$	Adiabatexponent	-
$\lambda$	Reibungszahl	-
$\mu$	Ausflußbeiwert, Überfallbeiwert	-
$\nu$	kinematische Zähigkeit	m <sup>2</sup> /s
$\rho$	Dichte	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma$	Schubspannung	N/m <sup>2</sup>
$\tau$	Zeit	s
$\varphi$	Formfaktor	-

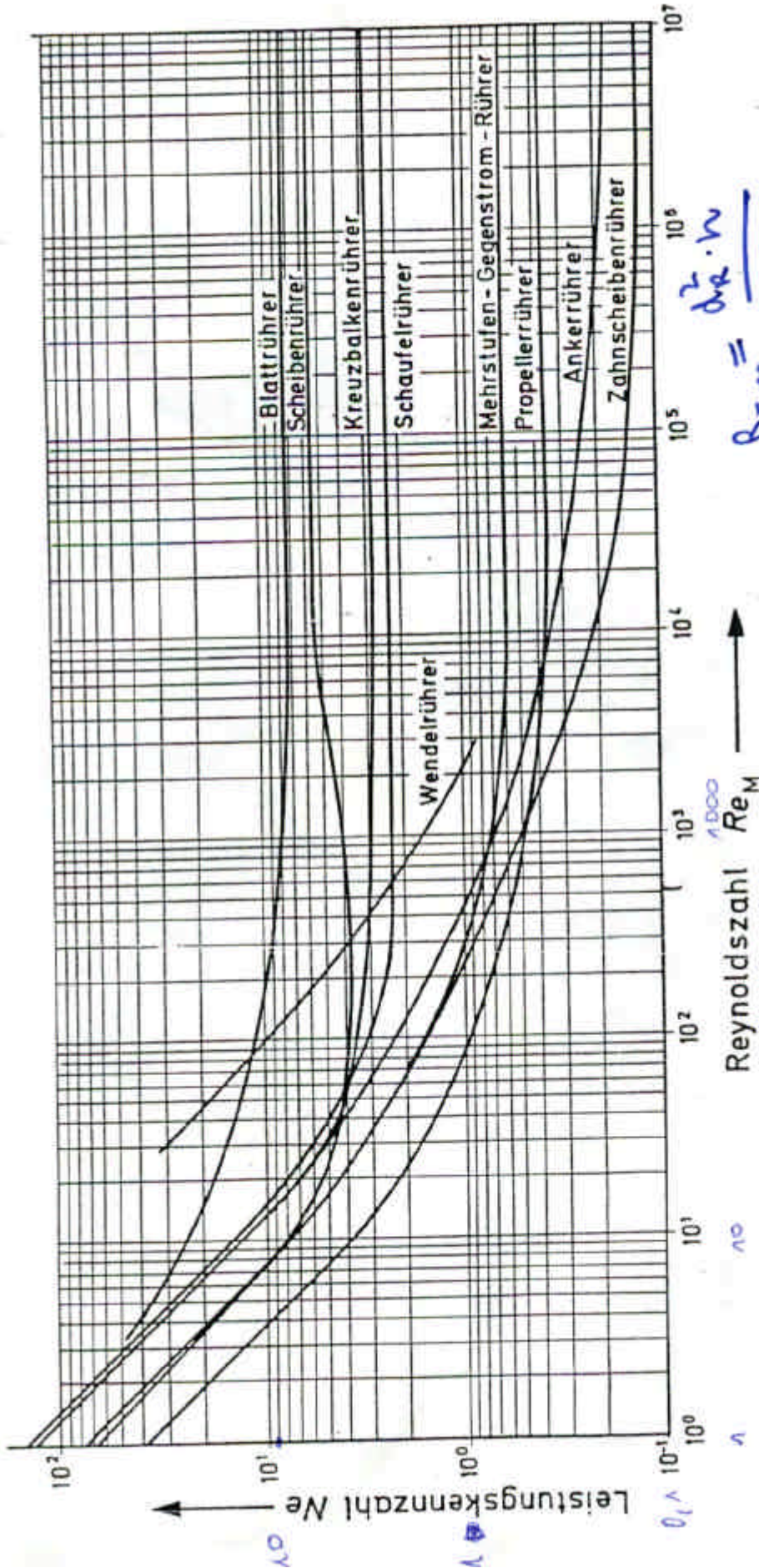
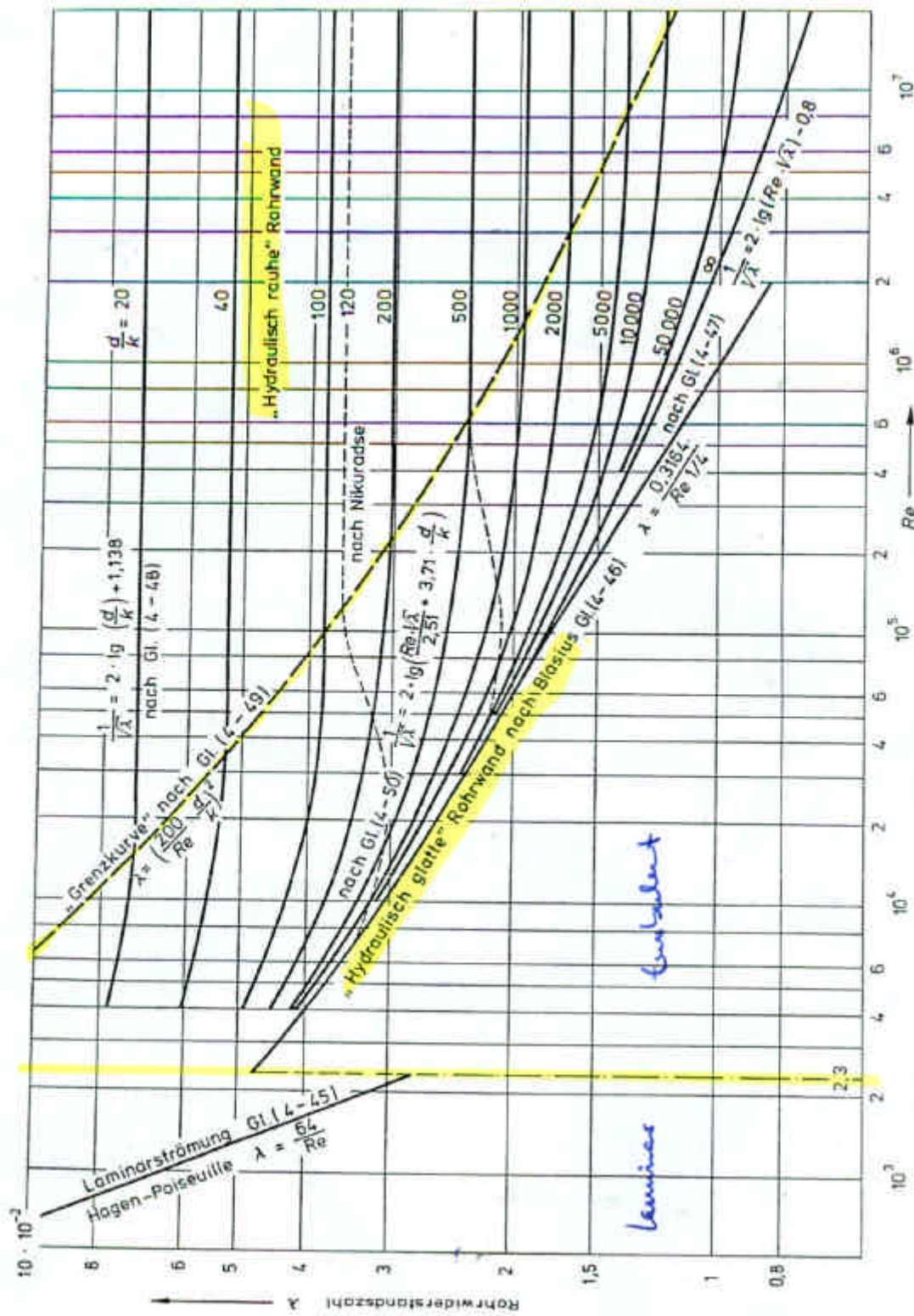
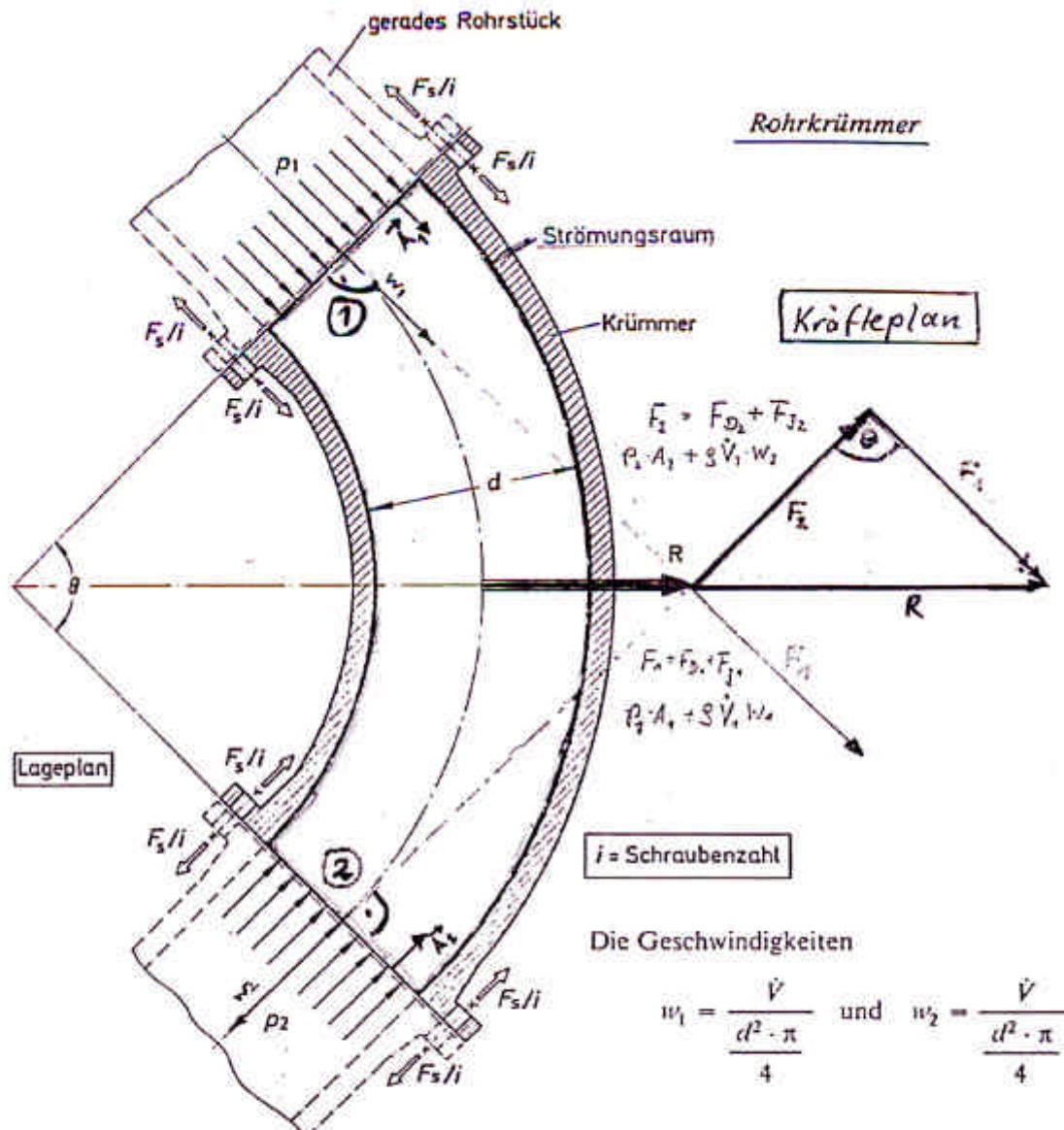


Bild 6.3 Diagramm zur Bestimmung der Leistungskennzahl eines Rührers (nach Ekato)



Rohrreibungszahl  $\lambda$  in Abhängigkeit der Reynoldszahl  $Re$  für glatte und raue Rohre



Welche Kräfte wirken?

Stelle ①

Druckkraft:  $F_{D1} = p_1 \cdot A_1$

Impulskraft:  $F_{J1} = \rho \cdot \dot{V} \cdot w_1$   
 $= \rho \cdot A_1 \cdot w_1^2$

$F_1 = F_{D1} + F_{J1}$

$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$   
 Vektoriell addieren

Stelle ②

Druckkraft:  $F_{D2} = p_2 \cdot A_2$

Impulskraft:  $F_{J2} = \rho \cdot \dot{V} \cdot w_2$   
 $= \rho \cdot A_2 \cdot w_2^2$

$F_2 = F_{D2} + F_{J2}$

$p_2 \cdot A_2 + \rho \cdot A_2 \cdot w_2^2$   
 $A_2 \cdot (p_2 + \rho \cdot w_2^2)$

- 1 Zulaufschott eines Absetzbeckens zur Abwasserreinigung ( $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$ ) soll über ein Schwimmkörper bei Erreichen einer Füllhöhe geschlossen werden. Als Schwimmkörper wird ein kugelförmiger innen hohler Körper (Durchmesser Hohlraum 12 cm) aus Teflon ( $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$ ) verwendet. Wie groß ist die resultierende Kraft auf den Schließmechanismus, wenn der gesamte Schwimmkörper mit einem Außendurchmesser von 13 cm eintaucht?
- 2 In einer Teilanlage der Wasserversorgung einer Raffinerie besteht in einer Verengungsstelle des Leitungssystems der Verdacht auf Kavitation. Prüfen Sie die Möglichkeit von Kavitation, wenn folgende Betriebsdaten der Anlage festgestellt werden: Durchmesser der Leitung 15 cm, Verengungsstelle 85 % des Leitungsdurchmessers, Volumenstrom  $\dot{V} = 250 \text{ l/s}$ , Temperatur  $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , statischer Druck 1 bar. Bestimmen Sie auch die Reynoldszahl in der Rohrleitung und der Verengungsstelle.
- 3 In einem Vorratslager (Volumen  $100 \text{ m}^3$ ) für Gummiprodukte soll mit einer Befeuchtungsanlage die Relative Feuchte von einem Ist-Wert von  $j = 40\%$  auf einen Soll-Wert von  $j = 60\%$  vergrößert werden. Welche Menge an Wasser (in kg) ist dafür nötig, wenn der Vorgang isotherm und isobar abläuft. Bestimmen Sie ferner die Dichten der feuchten Luft zu den jeweiligen Feuchtwerten. Folgende Betriebsparameter liegen vor: Arbeitstemperatur  $50^\circ\text{C}$ , Atmosphärendruck  $101,3 \text{ kPa}$ .
- 4 In einer Rührwerksanlage soll eine Organische Säure neutralisiert werden, bevor sie weiter verarbeitet wird. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Innendurchmesser von 1,5m und wird mit einem Ankerrührer bei einer Drehzahl von 60 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung sowie die aufgenommene Leistung, wenn ein Wirkungsgrad  $h = 0,65$  vorliegt, sowie die erforderliche Mischzeit und berechne die Umfangsgeschwindigkeit des Ankerrührers.
- 5 Bestimmen Sie die erforderliche Leistung eines Motors für eine Kühlmittelpumpe einer Destillationsanlage. Die gesamte Rohrlänge beträgt 500 m bei einem Durchmesser von 20 cm. Der Volumenstrom beträgt 2400 hl pro Stunde Kühlmittel (Methylenchlorid  $\rho = 1322 \text{ kg/m}^3$ ,  $\nu = 0,04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Der Rauigkeitswert  $k$  wird mit 0,4 mm angenommen. In das Leitungssystem sind Einbauten (Amaturen) installiert mit einer Gesamtwiderstandszahl  $z_{ges} = 15$  und es ist ein Höhenunterschied von 40 m zu überwinden. Es ist für den Betrieb eine 10% Leistungsreserve vorgeschrieben. Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt  $h_p = 0,95$  und des Pumpenmotors  $h_M = 0,85$ .
- 6 In einem Rohrsystem einer Abwasserreinigungsanlage ist auf Grund von Ablagerungen in den Rohren der Durchmesser auf durchschnittlich 94% des ursprünglichen Wertes geschrumpft. Um welchen prozentualen Wert muss der Druck im Rohrsystem erhöht werden, damit sich der Volumenstrom nur auf höchstens 94% verringert?
- 7 Mittels einer eingebauten Venturi-Düse soll in einem Rohr (Durchmesser  $d = 80 \text{ mm}$ ) ein unbekannter Volumenstrom  $\dot{V} [\text{m}^3/\text{s}]$  und Massenstrom  $\dot{m} [\text{kg/s}]$  bestimmt werden. Die Einschnürstelle der Venturi-Düse beträgt 80% des Rohrdurchmessers und der entstehende Differenzdruck  $\Delta p = 500 \text{ mbar}$ . Die Dichte soll mit  $\rho = 980 \text{ kg/m}^3$  und die kinetische Viskosität  $\nu = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  angenommen werden. Bestimmen Sie weiterhin auch die Reynoldszahl  $Re$  in der Rohrleitung und Verengungsstelle.

8 Aus einem nach oben offenen Hochbehälter mit quadratischer Grundfläche (Seitenlänge 3 m, Höhe 5 m) fließt aus einer runden Bodenöffnung (Durchmesser  $d = 10$  cm) Wasser. Bestimmen Sie die Ausflussgeschwindigkeit (nach Torricelli) am Anfang ( $t=0$ ) und die Ausflusszeit  $t_a$ , wenn der Behälter voll gefüllt war bis zu einem Restpegel von 10 cm und die Ausflusszahl  $\mu=0,82$  beträgt.

9 In einer Rührwerksanlage soll eine organische Säure neutralisiert werden, bevor sie weiter verarbeitet wird. Der zylindrische Rührbehälter mit Strombrecher hat einen Durchmesser von  $D = 1,5$  m und eine Höhe von 2,0 m und wird mit einem Ankerrührer bei einer Drehzahl von 30 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung sowie die aufgenommene Leistung, wenn ein Wirkungsgrad  $\eta = 0,65$  vorliegt, sowie die erforderliche Mischzeit und berechne die Umfangsgeschwindigkeit des Ankerrührers. Stoffdaten:  $\rho = 1350$  kg/m<sup>3</sup>,  $\nu = 1,52 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

10 Öl der kinetischen Viskosität  $\nu = 2,1 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup> · s<sup>-1</sup> und der Dichte von 0,85 kg/dm<sup>3</sup> fließt mit einem Volumenstrom von 250 l/s durch ein 3000 m langes gusseisernes Rohr mit einem Durchmesser von 30 cm. Wie groß ist der Gesamtdruckverlust des Leistungssystems, wenn der Rauigkeitswert  $k$  mit 0,15 mm angenommen wird, ein Höhenunterschied von 100 m zu überwinden ist und zwei Winkelstücke mit je einer Widerstandszahl  $z = 0,45$  sowie einer Filtereinheit mit  $z = 0,6$  eingebaut sind?

11 In einem pharmazeutischen Betrieb soll ein pulverförmiges Produkt in einem Trockenofen (Volumen 3 m<sup>3</sup>) Feuchte entzogen werden. Bevor es zur Weiterverarbeitung in eine Tablettenpresse überführt wird. Die relative Feuchte soll von anfänglich  $j_{ist} = 60\%$  auf einen Sollwert von 6% reduziert werden. Bestimmen Sie die Dichten (bei 60% und 6%) der feuchten Luft im Trockenofen, wenn folgende Betriebsparameter vorliegen: Arbeitstemperatur  $T=60^\circ\text{C}$ , Atmosphärendruck  $p=101,3$  kPa. Ermitteln Sie ferner die anfallende Menge an Wasser [in kg], die der Luft entzogen werden muss, wenn der Vorgang isotherm und isobar abläuft.

12 In einer Wasserrohrleitung ist ein 90°-Krümmer mit einem Innendurchmesser von 170 mm eingebaut. Der Volumenstrom beträgt 500 l/h bei einem Druck von 10 bar. Wie groß sind die Reaktionskraft  $R$  und die Schraubenkraft  $F_s$  sowie die wirkende Kraft auf eine einzelne Befestigungsschraube, wenn pro Flansch 10 Schrauben eingesetzt sind.

13 Das Bodenventil eines offenen Absetzbeckens für kontaminiertes Abwasser ist durch einen Programmfehler in der Steuerung versehentlich für 10 Sekunden geöffnet worden. Bestimmen Sie die freigesetzte Menge (in m<sup>3</sup>) an Abwasser, wenn folgende Daten des Absetzbeckens bekannt sind: Beckenbreite 5 m, Beckenlänge 15 m, Füllhöhe vor dem Vorfall 3 m, Durchmesser der Ausflussöffnung 15 cm und Ausflusszahl  $\mu=0,82$ .

14 Zwei Suspensionen sollen vor ihrer Weiterverarbeitung möglichst optimal in einem Vorlagebehälter gemischt werden. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Innendurchmesser von 1,9 m und eine Füllhöhe von 2,5 m und wird mit einem Propellerrührer ( $d=0,5$  m) bei einer Drehzahl von 70 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung, sowie die aufgenommene Leistung, wenn der Wirkungsgrad von 65% vorliegt, als auch die nachfolgende Betriebsparameter: a) erforderliche Mischzeit, b) spezifische Rührleistung  $P/V$  wenn der Rührwerksbehälter zu 80% gefüllt ist und c) Umfangsgeschwindigkeit des Rührorgans. Stoffdaten: Dichte 1300 kg/m<sup>3</sup>,  $\nu = 1,52 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup> / s Viskosität

15 Bestimmen Sie die erforderliche Leistung eines Motors für eine Pumpe einer Abwasserreinigungsanlage. Die gesamte Rohrlänge beträgt 150m bei einem Durchmesser von 28cm. Der Volumenstrom beträgt 2400 hl pro Stunde ( $\mathbf{r}=1100\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  $\mathbf{u}=10^{-6}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ). Der Rauigkeitswert  $k$  wird mit 0,4 mm angenommen. In das Leitungssystem sind Einbauten installiert mit einer Gesamtwiderstandszahl  $\mathbf{z}_{ges}=50$  und es ist ein Höhenunterschied von 50m zu überwinden. Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 85% und des Pumpenmotors 75%. Ferner ist für den Betrieb eine 10% Leistungsreserve vorgeschrieben.

16 In einem Klimaschrank wird eine Dichte der feuchten Luft von  $1,183\text{kg}/\text{m}^3$  gemessen. Wie groß ist die relative Feuchte im inneren des Schrankes, wenn Normaldruck 101,5kPa vorliegt und der Sättigungsdruck bei 30°C 42,41mbar beträgt und die mittlere molare Masse für Luft 29,8g/mol angenommen wird.

17 Mittels eines Photometers soll in einer Brauerei die Trübung des Bieres nach einer Filtration bestimmt werden. Dafür wird eine Venturi-Düse in das Zuleitungsrohr (Durchmesser 90mm) eingebaut. Frage: wie groß muss der Durchmesser der Verengungsstelle sein, damit ein Differenzdruck an der Verengungsstelle von  $\Delta p=60\text{mbar}$  herrscht, bei einem Volumenstrom von 250hl/h. Die Dichte soll mit  $1000\text{kg}/\text{m}^3$  und die kinetische Viskosität  $\mathbf{u}=2,0\cdot 10^{-6}\text{m}^2\text{s}^{-1}$  angenommen werden. Prüfen Sie ferner, ob im Zuleitungsrohr und in der Verengungsstelle laminare oder turbulente Strömung vorliegt.

18 In einem zylindrischen Behälter ( $d=17\text{cm}$ ,  $h=20\text{cm}$ ) wird eine wässrige Lösung durch einen Magnetrührer mit 3,1 Umdrehungen pro Sekunde rotiert. Zentrisch soll eine pH-Elektrode in die Lösung tauchen. Wie weit muss die Elektrode in den Behälter eintauchen (vom oberen Rand gerechnet), um die Oberfläche der Lösung zu berühren, wenn die seitlich aufsteigende Flüssigkeit der gerührten Lösung gerade 1 cm vom Oberen Rand des Gefäßes entfernt ist?

19 Ein Konzentrat soll möglichst günstig, d. h. schnell und energiearm verdünnt werden. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Durchmesser von 1,9m und eine Höhe von 2,5m und wird mit einem Blattrührer (ohne Strombrecher) bei einer Drehzahl von 40 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung, sowie die spezifische Rührleistung  $P/V$  wenn der Behälter zu 85% gefüllt ist und berechne die aufgenommene Leistung, wenn Antriebsverluste von 45% vorliegen sowie die erforderliche Mischzeit. Stoffdaten:  $\mathbf{r}=1300\text{kgm}^{-3}$ ,  $\mathbf{u}=0,597\cdot 10^{-3}$

20 Durch eine Abwasserleitung aus Beton von 2,5 km Länge und einem rechteckigen Querschnitt (Breite 1 m, Höhe 60 cm) fließen  $3800\text{m}^3$  pro Stunde. Wie groß sind der Gesamtdruckverlust des Leitungssystems, wenn der Rauigkeitswert  $k$  mit 1,5 mm angenommen wird und ein Höhenunterschied von 170m zu überwinden ist und zwei Winkelstücke mit je einer Widerstandszahl von 0,70 eingebaut sind und eine Filtereinheit mit 0,60?

21 Durch eine Abwasserleitung aus Beton 12 km Länge und einem rechteckigen Querschnitt (Breite 1 m, Höhe 60 cm) fließen  $3800\text{m}^3$  pro Stunde. Wie groß sind der Gesamtdruckverlust des Leitungssystems, wenn der Rauigkeitswert  $k$  mit 1,5 mm angenommen wird und ein Höhenunterschied von 100m zu überwinden ist und zwei Winkelstücke mit je einer Widerstandszahl von 0,50 eingebaut sind?

22 In einer Brauerei soll kontinuierlich die Sauerstoffkonzentration im Bier mittels eines Bypass nach der Filtration und anschließender Überführung in den Lagertank gemessen werden. Dafür wird eine Venturi-Düse in die Hauptleitung installiert. Frage: wie groß muss der Durchmesser der Verengungsstelle

ausgelegt werden, damit der Differenzdruck an der Verengungsstelle von  $\Delta p = 60 \text{ mbar}$  betragen soll? Durch die Rohrleitung (Durchmesser 80mm) fließen 250l/h Messgut. Die Dichte soll mit  $1000 \text{ kg/m}^3$  und die kinetische Viskosität  $\mathbf{u} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  angenommen werden. Bestimmen sie auch die Reynoldszahl in der Rohrleitung und Verengungsstelle.

23 Ein Fruchtsaftkonzentrat soll möglichst günstig, d. h. schnell und energiearm verdünnt werden. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Durchmesser von 1,5m und eine Höhe von 2,0m und wird mit einem Blattrührer bei einer Drehzahl von 30 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung, sowie die spezifische Rührleistung P/V und berechne die aufgenommene Leistung, wenn Antriebsverluste von 55% vorliegen sowie die erforderliche Mischzeit. Stoffdaten:  $\mathbf{r} = 1300 \text{ kgm}^{-3}$ ,  $\mathbf{u} = 0,94 \cdot 10^{-3}$

24 Ein waagerechtes Rohr transportiert 80l/s Wasser. Das Rohr verzweigt sich in zwei Teilrohre, von denen eines 5 cm und das andere Rohr 10 cm lichte Weite hat. Welche Geschwindigkeit herrscht in den 10cm-Rohr, wenn die in den 5cm-Rohr 12m/s beträgt. Betrachten Sie die Strömung als inkompressible und stationär und vernachlässigen Sie die Reibung.

25 In einer Destillationsanlage soll die notwendige Kühlwassermenge (Volumenstrom [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] und Massenstrom [ $\text{kg}/\text{s}$ ]) kontinuierlich bestimmt werden. Dafür ist eine Venturi-Düse in die Hauptleitung (Durchmesser 80mm) installiert. Die Einschnürstelle der Venturi-Düse beträgt 70% des Rohrdurchmessers und der entstehende Differenzdruck bei optimaler Kühlung  $\Delta p = 400 \text{ mbar}$ . Bestimmen Sie auch die Reynoldszahl in der Rohrleitung und Verengungsstelle. Stoffdaten:  $\mathbf{r} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$ ,  $\mathbf{u} = 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$

26 Aus einem unterirdischen Vorratsbehälter soll mit Hilfe eines Überdrucks im Kopfraum des Behälters Methylenchlorid (Dichte:  $1,3 \text{ kg/dm}^3$ ) zur weiteren Verarbeitung in einen oberirdigen Reaktor überführt werden. Berechnen Sie den nötigen Überdruck, wenn die Transporthöhe 9m beträgt und im Reaktor ein Gegendruck von 0,8MPa zu überwinden ist.

27 Ein Fruchtsaftkonzentrat soll möglichst günstig, d. h. schnell und energiearm homogenisiert werden. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Durchmesser von 1,5m und eine Höhe von 2,0m und wird mit einem Blattrührer (ohne Strombrecher) bei einer Drehzahl von 50 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung, sowie die spezifische Rührleistung P/V und berechne die aufgenommene Leistung, wenn Antriebsverluste des Rührorgans von 55% vorliegen sowie die erforderliche Mischzeit und Umfangsgeschwindigkeit des Blattrührer. Stoffdaten:  $\mathbf{r} = 1300 \text{ kgm}^{-3}$ ,  $\mathbf{u} = 0,94 \cdot 10^{-3}$

28 Auf einem Tankschiff soll Öl der kinetischen Viskosität von  $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  in ein Vorratsbehälter einer Raffinerie gepumpt werden. Die Förderpumpe ermöglicht ein Volumenstrom von 410 l/s durch ein 2500m langes gusseisernes Rohr mit einem Durchmesser von 40 cm. Wie groß ist der Gesamtdruckverlust des Leistungssystems, wenn der Rauigkeitswert k mit 0,2 mm angenommen wird, ein Höhenunterschied von 170 m zu überwinden ist und zwei Winkelstücke mit je einer Widerstandzahl von 0,5 sowie eine Filtereinheit mit 0,6 eingebaut sind?

- 1 Zulaufschott eines Absetzbeckens zur Abwasserreinigung ( $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$ ) soll über ein Schwimmkörper bei Erreichen einer Füllhöhe geschlossen werden. Als Schwimmkörper wird ein kugelförmiger innen hohler Körper (Durchmesser Hohlraum 12 cm) aus Teflon ( $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$ ) verwendet. Wie groß ist die resultierende Kraft auf den Schließmechanismus, wenn der gesamte Schwimmkörper mit einem Außendurchmesser von 13 cm eintaucht?

**Gegeben:**

$$\rho_{\text{Wasser}} = 1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{Körper}} = 2100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$d_{\text{innen}} = 0,12 \text{ m}$$

$$d_{\text{außen}} = 0,13 \text{ m}$$

**Gesucht:**

$$F_{\text{Resultierend}}$$

**Lösungsweg:**

$$V_{\text{Kugel}} = \frac{1}{6} \rho d^3 = \frac{1}{6} \rho 0,13^3 \text{ m}^3 = \underline{11,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$V_{\text{Hohlkugel}} = \frac{1}{6} \rho (d_{\text{ausßen}}^3 - d_{\text{innen}}^3) = \frac{1}{6} \rho (0,13^3 - 0,12^3) \text{ m}^3 = \underline{2,46 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$m_{\text{Hohlkugel}} = V_{\text{Hohlkugel}} \cdot \rho_{\text{Körper}} = 2100 \cdot 2,46 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3} = \underline{0,516 \text{ kg}}$$

$$F_{\text{G}} = m \cdot g = 0,516 \cdot 9,81 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = \underline{5,06 \text{ N}}$$

$$F_{\text{A}} = \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot V_{\text{Kugel}} = 1100 \cdot 9,81 \cdot 11,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2} = \underline{12,41 \text{ N}}$$

$$F_{\text{Resultierend}} = F_{\text{A}} - F_{\text{G}} = 12,41 \text{ N} - 5,06 \text{ N} = \underline{\underline{7,35 \text{ N}}}$$

Die Resultierende Kraft beträgt 7,35 N.

$F_{\text{A}}$  = Auftriebskraft

$F_{\text{G}}$  = Gewichtskraft

- 2 In einer Teilanlage der Wasserversorgung einer Raffinerie besteht in einer Verengungsstelle des Leitungssystems der Verdacht auf Kavitation. Prüfen Sie die Möglichkeit von Kavitation, wenn folgende Betriebsdaten der Anlage festgestellt werden: Durchmesser der Leitung 15 cm, Verengungsstelle 85 % des Leitungsdurchmessers, Volumenstrom  $\dot{V} = 250 \text{ l/s}$ , Temperatur  $T = 40 \text{ °C}$ , statischer Druck 1 bar. Bestimmen Sie auch die Reynoldszahl in der Rohrleitung und der Verengungsstelle.

**Gegeben:**

$$d_{\text{Rohr}} = 0,15 \text{ m}$$

$$d_{\text{Verengung}} = 85\% = 0,1275 \text{ m}$$

$$\dot{V} = 0,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$T = 40 \text{ °C}$$

$$p = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p_{\text{ms}} = 73,75 \text{ mbar}$$

$$u = 0,658 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$r = 992,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Gesucht:**

$$\text{Re}_{\text{Rohr}}$$

$$\text{Re}_{\text{Verengung}}$$

$$\Delta p_V$$

$$w_{\text{Rohr}}$$

$$w_{\text{Verengung}}$$

$$A_{\text{Rohr}}$$

$$A_{\text{Verengung}}$$

**Lösungsweg:**

$$A_{\text{Rohr}} = \frac{1}{4} p \cdot d^2 = \frac{1}{4} p \cdot 0,15^2 \text{ m}^2 = \underline{1,767 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2}$$

$$A_{\text{Verengung}} = \frac{1}{4} p \cdot d^2 = \frac{1}{4} p \cdot 0,1275^2 \text{ m}^2 = \underline{1,277 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2}$$

$$w_{\text{Rohr}} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,25 \text{ m}^3}{1,767 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}} = \underline{14,15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$w_{\text{Verengung}} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,25}{1,277 \cdot 10^{-2}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ s}} \right] = \underline{19,58 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\text{Re}_{\text{Rohr}} = \frac{w \cdot d}{u} = \frac{14,15 \cdot 0,15}{0,658 \cdot 10^{-6}} \left[ \frac{\text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right] = \underline{3,225 \cdot 10^6}$$

$$\text{Re}_{\text{Verengung}} = \frac{w \cdot d}{u} = \frac{19,58 \cdot 0,1275}{0,658 \cdot 10^{-6}} \left[ \frac{\text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right] = \underline{3,794 \cdot 10^6}$$

$$\Delta p_V = \frac{r}{2} (w_{\text{Rohr}} - w_{\text{Verengung}})^2 = \frac{992,3}{2} (14,15 - 19,58)^2 \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2} \right] = \underline{14648,7 \text{ Pa}}$$

$$\Delta p_V = p_2 - p_1 \Rightarrow p_2 = \Delta p_V + p_1 = 24648,7 \text{ Pa} = \underline{\underline{246,5 \text{ mbar}}}$$

$$p_2 > p_{\text{ws}} \Rightarrow \text{Kavitation ist vorhanden}$$

- 3 In einem Vorratslager (Volumen  $100 \text{ m}^3$ ) für Gummiprodukte soll mit einer Befeuchtungsanlage die Relative Feuchte von einem Ist-Wert von  $j = 40\%$  auf einen Soll-Wert von  $j = 60\%$  vergrößert werden. Welche Menge an Wasser (in kg) ist dafür nötig, wenn der Vorgang isotherm und isobar abläuft. Bestimmen Sie ferner die Dichten der feuchten Luft zu den jeweiligen Feuchtwerten. Folgende Betriebsparameter liegen vor: Arbeitstemperatur  $50^\circ\text{C}$ , Atomsphärendruck  $101,3 \text{ kPa}$ .

**Gegeben:**

$$V = 100 \text{ m}^3$$

$$j_{\text{ist}} = 0,4$$

$$j_{\text{soll}} = 0,6$$

$$T = 50^\circ\text{C} = 323\text{K}$$

$$p = 101,3 \text{ kPa} = 101300 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{ws}} = 123,35 \text{ mbar} = 12335 \text{ Pa}$$

$$u = 0,55 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$r = 988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$M_{\text{Luft}} = 28,96 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

**Gesucht:**

$$r_{40\%}$$

$$r_{60\%}$$

$$m_{\text{Wasser}}$$

**Lösungsweg**

$$r_{\text{Luft, trocken}} = \frac{M_{\text{L}} \cdot p}{R \cdot T} = \frac{28,96 \cdot 101,3}{8,314 \cdot 323} \left[ \frac{\text{g} \cdot \text{kPa} \cdot \text{K} \cdot \text{mol}}{\text{J} \cdot \text{K} \cdot \text{mol}} \right] = 1,092 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_{\text{Luft+Wasser}} = r_{\text{Luft, trocken}} - \left[ (M_{\text{L}} - M_{\text{Wasser}}) \cdot \frac{j \cdot p_{\text{ws}}}{R \cdot T} \right]$$

$$r_{40\%} = 1,092 - \left[ (28,96 - 18,02) \cdot \frac{0,4 \cdot 12,335}{8,314 \cdot 323} \right] \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 1,072 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_{60\%} = 1,092 - \left[ (28,96 - 18,02) \cdot \frac{0,6 \cdot 12,335}{8,314 \cdot 323} \right] \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 1,062 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_{\text{feucht}} = r_{\text{Luft, trocken}} - r_{\text{Wasser}}$$

$$p_{\text{w}} = j \cdot p_{\text{ws}}$$

$$r_{\text{Wasser, 40\%}} = \frac{M_{\text{Wasser}} \cdot p_{\text{w}}}{R \cdot T} = \frac{M_{\text{Wasser}} \cdot j \cdot p_{\text{ws}}}{R \cdot T} = \frac{18,02 \cdot 0,4 \cdot 12,335}{8,314 \cdot 323} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 0,0311 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_{\text{Wasser, 60\%}} = \frac{M_{\text{Wasser}} \cdot p_{\text{w}}}{R \cdot T} = \frac{M_{\text{Wasser}} \cdot j \cdot p_{\text{ws}}}{R \cdot T} = \frac{18,02 \cdot 0,6 \cdot 12,335}{8,314 \cdot 323} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 0,0497 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta r = 0,0166 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{Wasser}} = \Delta r \cdot V = 0,0166 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 100 \text{ m}^3 = \underline{\underline{1,66 \text{ kg}}}$$

- 4 In einer Rührwerksanlage soll eine Organische Säure neutralisiert werden, bevor sie weiter verarbeitet wird. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Innendurchmesser von 1,5m und wird mit einem Ankerrührer bei einer Drehzahl von 60 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung sowie die aufgenommene Leistung, wenn ein Wirkungsgrad  $h = 0,65$  vorliegt, sowie die erforderliche Mischzeit und berechne die Umfangsgeschwindigkeit des Ankerrührers.

**Gegeben:**

$$D = 1,5\text{m}$$

$$n = 60\text{min}^{-1}$$

$$h = 0,65$$

$$r = 1350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$u = 1,52 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$C = 50 \text{ (aus Tabelle)}$$

$$d_{\text{Rührer}} = 1,5 \cdot 0,9\text{m} = 1,35\text{m}$$

**Lösungsweg:**

$$\text{Re} = \frac{d_R^2 \cdot n}{u} = \frac{1,35^2 \cdot 1}{1,52 \cdot 10^{-4}} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] = \underline{\underline{11990}}$$

aus Diagramm  $Ne = 0,3$

$$P_{\text{Theo}} = Ne \cdot r \cdot d_R^5 \cdot n^3 = 0,3 \cdot 1350 \cdot 1,35^5 \cdot 1^3 \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^5}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^3} \right] = \underline{\underline{1816\text{W}}}$$

$$P_{\text{Praktisch}} = \frac{P_{\text{Theo}}}{h} = \underline{\underline{2794\text{W}}}$$

$$w_{\text{Rührer}} = p \cdot d_R \cdot n = p \cdot 1,35 \cdot 1 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \underline{\underline{4,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$t_{\text{Misch}} = \frac{C}{n} = \underline{\underline{50\text{s}}}$$

**Gesucht:**

$$P_{\text{Rührer}}$$

$$t_{\text{Misch}}$$

$$w_{\text{Rührer}}$$

- 5 Bestimmen Sie die erforderliche Leistung eines Motors für eine Kühlmittelpumpe einer Destillationsanlage. Die gesamte Rohrlänge beträgt 500 m bei einem Durchmesser von 20 cm. Der Volumenstrom beträgt 2400 hl pro Stunde Kühlmittel (Methylenchlorid  $\rho = 1322 \text{ kg/m}^3$ ,  $\nu = 0,04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Der Rauigkeitswert  $k$  wird mit 0,4 mm angenommen. In das Leitungssystem sind Einbauten (Amaturen) installiert mit einer Gesamtwiderstandszahl  $z_{ges} = 15$  und es ist ein Höhenunterschied von 40 m zu überwinden. Es ist für den Betrieb eine 10% Leistungsreserve vorgeschrieben. Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt  $h_p = 0,95$  und des Pumpenmotors  $h_M = 0,85$ .

**Gegeben:**

$$l = 500 \text{ m}, d = 0,2 \text{ m}$$

$$\dot{V} = 240000 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 240 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\rho = 1322 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \nu = 0,04 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$z_{ges} = 15, h = 40 \text{ m}$$

$$h_p = 0,95, h_M = 0,85$$

+10% Leistungsreserve

**Gesucht:**

$$P_{Motor}$$

$$\Delta p_{V_R} = \text{Reibungsverluste}$$

**Lösungsweg:**

$$A = \frac{1}{4} d^2 \pi = \frac{0,2^2}{4} \pi \cdot [\text{m}^2] = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$w = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,06}{0,0314} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ s}} \right] = 2,122 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{d w}{\nu} = \frac{0,2 \cdot 2,122}{0,04 \cdot 10^{-5}} \left[ \frac{\text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right] = 1,061 \cdot 10^6$$

$$\frac{d}{k} = \frac{0,2}{0,4 \cdot 10^{-3}} = 500 \Rightarrow \text{aus Diagramm } \lambda = 2,4 \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta p_{V_R} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{500}{0,2} \cdot \frac{1322}{2} \cdot (2,122)^2 \left[ \frac{\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{m} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^2} \right] = 178584 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{Einbau}} = z_{ges} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 = 15 \cdot \frac{1322}{2} \cdot (2,122)^2 \text{ Pa} = 44649 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{Höhe}} = \rho \cdot h \cdot g = 1322 \cdot 40 \cdot 9,81 \text{ Pa} = 518753 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{gesamt}} = \Delta p_{V_R} + \Delta p_{V_{Einbau}} + \Delta p_{V_{Höhe}} = 742 \text{ kPa}$$

$$P_{ab} = \Delta p_{V_{gesamt}} \cdot \dot{V} = 49465 \text{ W}$$

$$P_{auf} = \frac{P_{ab}}{h_p \cdot h_M} = \frac{49465}{0,95 \cdot 0,85} \text{ W} = 61257 \text{ W} \Rightarrow 10\% \text{ Reserve} = P_{auf} \cdot 1,1 = 67 \text{ kW}$$

- 6 In einem Rohrsystem einer Abwasserreinigungsanlage ist auf Grund von Ablagerungen in den Rohren der Durchmesser auf durchschnittlich 94% des ursprünglichen Wertes geschrumpft. Um welchen prozentualen Wert muss der Druck im Rohrsystem erhöht werden, damit sich der Volumenstrom nur auf höchstens 94% verringert?

**Gegeben:**

$$r_2 = 0,94r_1$$

**Gesucht:**

*Pumhöchstens 0,94*

**Lösungsweg:**

$$\dot{V} = A \cdot w$$

$$A = p \cdot r^2$$

$$A_1 \cdot w_1 = A_2 \cdot w_2 \rightarrow w_2 = \frac{A_1 \cdot w_1}{A_2}$$

$$w_2 = \frac{p \cdot r_1^2}{p \cdot (0,94 \cdot r_1)^2} \cdot w_1 = \frac{1}{0,94^2} \cdot w_1$$

$$\Delta p_v = \frac{r}{2} \cdot (w_1^2 - w_2^2) \rightarrow \Delta p_v = \frac{r}{2} \cdot \left( w_1^2 - \left( \frac{w_1}{0,94^2} \right)^2 \right)$$

$$\Delta p_v = \frac{r}{2} \cdot \left( w_1^2 \left( 1 - \frac{1}{0,94^4} \right) \right) = \frac{r}{2} \cdot w_1^2 \cdot 0,219$$

$$\frac{\Delta p_v}{P} = 0,219$$

nur 94% Volumenstromverlust

$$0,219 \cdot 0,94 = 0,206$$

$\Rightarrow$  20,6% Druckerhöhung

7 Mittels einer eingebauten Venturi-Düse soll in einem Rohr (Durchmesser  $d=80$  mm) ein unbekannter Volumenstrom  $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s] und Massenstrom  $\dot{m}$  [kg/s] bestimmt werden. Die Einschnürstelle der Venturi-Düse beträgt 80% des Rohrdurchmessers und der entstehende Differenzdruck  $\Delta p = 500$  mbar. Die Dichte soll mit  $\rho = 980$  kg/m<sup>3</sup> und die kinetische Viskosität  $\nu = 2,1 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s angenommen werden. Bestimmen Sie weiterhin auch die Reynoldszahl  $Re$  in der Rohrleitung und Verengungsstelle.

**Gegeben:**

$$d_1 = 0,08 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,064 \text{ m}$$

$$\Delta p = 500 \text{ mbar} = 50 \text{ kPa}$$

$$\rho = 980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\nu = 2,1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

**Gesucht:**

$$\dot{V}$$

$$\dot{m}$$

$$Re$$

**Lösungsweg:**

$$w = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$A_{\text{Rohr}} = A_R = \frac{1}{4} \pi d^2 = 5,027 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Verengung}} = A_V = \frac{1}{4} \pi d^2 = 3,217 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\Delta p_V = \frac{\rho}{2} \cdot (w_1^2 - w_2^2) = \frac{\rho}{2} \cdot \left( \left( \frac{\dot{V}}{A_V} \right)^2 - \left( \frac{\dot{V}}{A_R} \right)^2 \right) = \frac{\rho}{2} \cdot \dot{V}^2 \cdot \left( \frac{1}{A_R^2} - \frac{1}{A_V^2} \right)$$

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_V}{\rho \cdot \left( \frac{1}{A_V^2} - \frac{1}{A_R^2} \right)}}$$

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{2 \cdot 50000}{980 \cdot \left( \frac{1}{(3 \cdot 10^{-3})^2} - \frac{1}{(5 \cdot 10^{-3})^2} \right)}} \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{m}^4}{\text{m} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{kg}} \right] = 0,846 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = 0,846 \cdot 980 \left[ \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^3} \right] = 829,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$w_R = \frac{\dot{V}}{A_R} = 13,47 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad w_V = \frac{\dot{V}}{A_V} = 16,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_R = \frac{d \cdot w_R}{\nu} = \frac{0,08 \cdot 13,47}{2,1 \cdot 10^{-4}} = \underline{\underline{5131}}$$

$$Re_V = \frac{d \cdot w_V}{\nu} = \frac{0,08 \cdot 16,84}{2,1 \cdot 10^{-4}} = \underline{\underline{6415}}$$

- 8 Aus einem nach oben offenen Hochbehälter mit quadratischer Grundfläche (Seitenlänge 3 m, Höhe 5 m) fließt aus einer runden Bodenöffnung (Durchmesser  $d = 10$  cm) Wasser. Bestimmen Sie die Ausflussgeschwindigkeit (nach Torricelli) am Anfang ( $t=0$ ) und die Ausflusszeit  $t_a$ , wenn der Behälter voll gefüllt war bis zu einem Restpegel von 10 cm und die Ausflusszahl  $\mu=0,82$  beträgt.

**Gegeben:**

$$l = 3\text{m}$$

$$h = 5\text{m}$$

$$d = 0,1\text{m}$$

$$m = 0,82$$

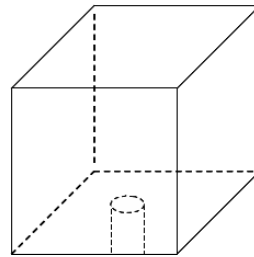
$$h_2 = 0,1\text{m}$$

$$\Delta h = 4,9\text{m}$$

**Gesucht:**

$$t_a$$

$$w_a$$



**Lösungsweg:**

$$h = \frac{A_2}{A_1} = \frac{p \cdot d^2}{4 \cdot l^2} = \frac{p \cdot 0,1^2}{4 \cdot 3^2} = 8,73 \cdot 10^{-4}$$

$$w_a = m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{1 - h^2}} = 0,82 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 4,9}{1 - (8,73 \cdot 10^{-4})^2}} = 8,04 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t_a = \frac{2 \cdot A}{m \cdot A_a \cdot \sqrt{2g}} (\sqrt{h} - \sqrt{h_2}) = \frac{2 \cdot 3^2}{0,82 \cdot \frac{p}{4} \cdot 0,1^2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} (\sqrt{5} - \sqrt{0,1}) = 1211\text{s} \Rightarrow 20,2 \text{ min}$$

- 9 In einer Rührwerksanlage soll eine organische Säure neutralisiert werden, bevor sie weiter verarbeitet wird. Der zylindrische Rührbehälter mit Strombrecher hat einen Durchmesser von  $D = 1,5 \text{ m}$  und eine Höhe von  $2,0 \text{ m}$  und wird mit einem Ankerrührer bei einer Drehzahl von  $30$  Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung sowie die aufgenommene Leistung, wenn ein Wirkungsgrad  $\eta = 0,65$  vorliegt, sowie die erforderliche Mischzeit und berechne die Umfangsgeschwindigkeit des Ankerrührers. Stoffdaten:  $\rho = 1350 \text{ kg/m}^3$ ,  $\nu = 1,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

**Gegeben:**

$$D = 1,5 \text{ m}$$

$$h = 2,0 \text{ m}$$

$$n = 30 \text{ min}^{-1} = 0,5 \text{ s}^{-1}$$

$$h = 0,65$$

$$\rho = 1350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\nu = 1,52 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$d_{\text{Rührer}} = 1,5 \cdot 0,9 \text{ m} = 1,35 \text{ m}$$

**Lösungsweg:**

$$\text{Re} = \frac{d_{\text{Rührer}}^2 \cdot n}{\nu} = \frac{1,35^2 \cdot 0,5}{1,52 \cdot 10^{-4}} = 5995$$

$$\Rightarrow \text{Ne} = 0,3$$

$$P = \text{Ne} \cdot \rho \cdot d_{\text{Rührer}}^5 \cdot n^3 = 0,3 \cdot 1350 \cdot 1,35^5 \cdot 0,5^3 = 227 \text{ W}$$

$$P_{\text{Praktisch}} = \frac{P}{h} = 349 \text{ W}$$

$$w_{\text{Rührer}} = p \cdot d_{\text{Rührer}} \cdot n = p \cdot 1,35 \cdot 0,5 = 2,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t_{\text{Misch}} = \frac{C}{n} = \frac{50}{0,5} \text{ s} = 100 \text{ s} \quad (\text{C aus der Tabelle entnehmen})$$

**Gesucht:**

$$P$$

$$w_{\text{Rührer}}$$

$$t_{\text{Misch}}$$

- 10 Öl der kinetischen Viskosität  $\mathbf{u} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  und der Dichte von  $0,85 \text{kg/dm}^3$  fließt mit einem Volumenstrom von  $250 \text{l/s}$  durch ein  $3000 \text{m}$  langes gusseisernes Rohr mit einem Durchmesser von  $30 \text{cm}$ . Wie groß ist der Gesamtdruckverlust des Leistungssystems, wenn der Rauigkeitswert  $k$  mit  $0,15 \text{mm}$  angenommen wird, ein Höhenunterschied von  $100 \text{m}$  zu überwinden ist und zwei Winkelstücke mit je einer Widerstandszahl  $z = 0,45$  sowie einer Filtereinheit mit  $z = 0,6$  eingebaut sind?

**Gegeben:**

$$\mathbf{u} = 2,1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\mathbf{r} = 0,85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$\dot{V} = 0,250 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$l = 3000 \text{m}$$

$$d = 0,3 \text{m}$$

$$k = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{m}$$

$$h = 100 \text{m}$$

$$z = 0,45 \text{ (ZWEIMAL)}$$

$$z = 0,6$$

$$\Sigma_z = 1,5$$

**Lösungsweg:**

$$A = \frac{d^2}{4} \cdot \mathbf{p} = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot 0,3^2 = 7,069 \cdot 10^{-2}$$

$$\mathbf{w} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,25}{7,07 \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 3,58 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{d \cdot \mathbf{w}}{\mathbf{u}} = \frac{0,3 \cdot 3,54}{2,1 \cdot 10^{-5}} = 50525 \Rightarrow \text{Turbulent}$$

$$\frac{d}{k} = 2000 \text{ aus Tabelle/Diagramm} \rightarrow \mathbf{I} = 1,8 \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Rohr}}} = \mathbf{I} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\mathbf{r}}{2} \cdot \mathbf{w}^2 = 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{3000}{0,3} \cdot \frac{850}{2} \cdot 3,54^2 \text{ Pa} = 956922 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Einbau}}} = \Sigma_z \cdot \frac{\mathbf{r}}{2} \cdot \mathbf{w}^2 = 1,5 \cdot \frac{850}{2} \cdot 3,54^2 \text{ Pa} = 7974 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Höhe}}} = \mathbf{r} \cdot h \cdot g = 850 \cdot 100 \cdot 9,81 = 833850 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{gesamt}}} = \Delta p_{V_{\text{Rohr}}} + \Delta p_{V_{\text{Einbau}}} + \Delta p_{V_{\text{Höhe}}} = 1,799 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$P = \Delta p_{V_{\text{gesamt}}} \cdot \dot{V} = 4,497 \cdot 10^5 \text{ W}$$

- 11 In einem pharmazeutischen Betrieb soll ein pulverförmiges Produkt in einem Trockenofen (Volumen 3 m<sup>3</sup>) Feuchte entzogen werden. Bevor es zur Weiterverarbeitung in eine Tablettenpresse überführt wird. Die relative Feuchte soll von anfänglich  $j_{ist} = 60\%$  auf einen Sollwert von 6% reduziert werden. Bestimmen Sie die Dichten (bei 60% und 6%) der feuchten Luft im Trockenofen, wenn folgende Betriebsparameter vorliegen: Arbeitstemperatur  $T=60^\circ\text{C}$ , Atomsphärendruck  $p=101,3\text{kPa}$ . Ermitteln Sie ferner die anfallende Menge an Wasser [in kg], die der Luft entzogen werden muss, wenn der Vorgang isotherm und isobar abläuft.

**Gegeben:**

$$V = 3\text{m}^3$$

$$j_{ist} = 0,6$$

$$j_{soll} = 0,06$$

$$M_{Luft} = 28,96 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$T = 60^\circ\text{C} = 333\text{K}$$

$$p = 101,3\text{kPa}$$

$$p_{WS} = 20,86\text{kPa}$$

(Sättigungdampfdruck Siehe Tabelle)

**Gesucht:**

$$r_{60\%}$$

$$r_{6\%}$$

$$m_{H_2O}$$

**Lösungsweg:**

$$r_{Trocken} = \frac{M_{Luft} \cdot p}{R \cdot T} = \frac{28,96 \cdot 101,3}{8,314 \cdot 333} \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{N} \cdot \text{K} \cdot \text{kmol}}{\text{kmol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{N} \cdot \text{m}} \right] = 1,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_j = r_{Trocken} \cdot \left( 1 - \frac{M_{Luft} - M_{H_2O}}{M_{Luft}} \cdot j \cdot \frac{p_{WS}}{p} \right)$$

$$r_{60\%} = 1,05 \cdot \left( 1 - \frac{28,96 - 18,02}{28,96} \cdot 0,6 \cdot \frac{20,86}{101,3} \right) = 1,0002 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_{6\%} = 1,05 \cdot \left( 1 - \frac{28,96 - 18,02}{28,96} \cdot 0,06 \cdot \frac{20,86}{101,3} \right) = 0,9955 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_{H_2O} = \frac{M_{H_2O} \cdot p_w}{R \cdot T} \rightarrow p_w = j \cdot p_{WS}$$

$$p_{w6\%} = 0,06 \cdot 20,86\text{kPa} = 1,2516\text{kPa}$$

$$p_{w60\%} = 0,6 \cdot 20,86\text{kPa} = 12,516\text{kPa}$$

$$r_{H_2O6\%} = \frac{18,02 \cdot 1,2516}{8,314 \cdot 333} \left[ \frac{\text{kPa} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}}{\text{K} \cdot \text{kmol} \cdot \text{J} \cdot \text{m}^3} \right] = 0,00815 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$r_{H_2O60\%} = \frac{18,02 \cdot 12,516}{8,314 \cdot 333} \left[ \frac{\text{kPa} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}}{\text{K} \cdot \text{kmol} \cdot \text{J} \cdot \text{m}^3} \right] = 0,0815 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta r = 0,073 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow m = r \cdot V \rightarrow m_{H_2O} = 0,22\text{kg}$$

- 12 In einer Wasserrohrleitung ist ein 90°-Krümmer mit einem Innendurchmesser von 170 mm eingebaut. Der Volumenstrom beträgt 500hl/h bei einem Druck von 10 bar. Wie groß sind die Reaktionskraft R und die Schraubenkraft F<sub>s</sub> sowie die wirkende Kraft auf eine einzelne Befestigungsschraube, wenn pro Flansch 10 Schrauben eingesetzt sind.

**Gegeben:**

$$d = 0,17m$$

Siehe Skizze im Anhand

$$\dot{V} = 500 \frac{hl}{h} = 0,0138 \frac{m^3}{s}$$

$$\rho_{Wasser} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$p = 10bar = 1000kPa$$

**Lösungsweg:**

Druckkraft:

$$F_D = p_1 \cdot A_1 = 1000kPa \cdot \frac{p}{4} \cdot 0,17^2 = 22698N$$

Impulskraft

$$w_1 = \frac{\dot{V}}{A} = 0,61 \frac{m}{s}$$

$$F_I = \rho_{Wasser} \cdot A_1 \cdot w_1^2 = \rho_{Wasser} \cdot \frac{\dot{V}^2}{A} = 1000 \cdot \frac{0,0138^2}{\frac{p}{4} \cdot 0,17^2} = 8,5N$$

$$\vec{F}_1 = F_I + F_D = 22698N + 8,5N = 22706N$$

Für die Stelle 2  $\vec{F}_2$  berechnen

$$\vec{F}_2 = A_2 (p_2 + \rho \cdot w_2^2) = 0,0227 \cdot (1000000 + 1000 \cdot 0,6^2) N = 22711N$$

Resultierende Kraft (Vektoriell Addieren)

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$\vec{R} = 2A(p + \rho \cdot w^2) \sin \frac{90^\circ}{2} = 32119,5N$$

(Wichtig: Taschenrechner auf Deg stellen)

$$F_s = \frac{\vec{R}}{10} = 3212N$$

- 13 Das Bodenventil eines offenen Absetzbeckens für kontaminiertes Abwasser ist durch einen Programmfehler in der Steuerung versehentlich für 10 Sekunden geöffnet worden. Bestimmen Sie die freigesetzte Menge (in m<sup>3</sup>) an Abwasser, wenn folgende Daten des Absetzbeckens bekannt sind: Beckenbreite 5m, Beckenlänge 15m, Füllhöhe vor dem Vorfall 3m, Durchmesser der Ausflussöffnung 15cm und Ausflusszahl  $\mu=0,82$ .

**Gegeben:**

$$t_{\text{Ausfluss}} = 10s$$

$$b = 5m$$

$$l = 15m$$

$$h = 3m$$

$$d_{\text{Ausfluss}} = 0,15m$$

$$\mu = 0,82$$

**Gesucht:**

$$V [m^3]$$

$$A_{\text{Ausfluss}} = \frac{\pi}{4} d^2 = 0,018m^2$$

**Lösungsweg:**

$$t_a = \frac{2 \cdot A}{\mu \cdot A_{\text{Ausfluss}} \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \cdot (\sqrt{h_0} - \sqrt{h})$$

$$\sqrt{h} = \sqrt{h_0} - \frac{t_a \cdot \mu \cdot A_{\text{Ausfluss}} \cdot \sqrt{2 \cdot g}}{2 \cdot A}$$

$$\sqrt{h} = \sqrt{3} - \frac{10s \cdot 0,82 \cdot 0,018 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}}{2 \cdot 75} \left[ \sqrt{m} - \frac{sm^2 \sqrt{\frac{m}{s^2}}}{m^2} \right]$$

$$h = 2,98m$$

$$V = h \cdot A = (3 - 2,98) \cdot 75 = 1,11m^3$$

- 14 Zwei Suspensionen sollen vor ihrer Weiterverarbeitung möglichst optimal in einem Vorlagebehälter gemischt werden. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Innendurchmesser von 1,9m und eine Füllhöhe von 2,5m und wird mit einem Propellerrührer ( $d=0,5m$ ) bei einer Drehzahl von 70 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührerleistung, sowie die aufgenommene Leistung, wenn der Wirkungsgrad von 65% vorliegt, als auch die nachfolgende Betriebsparameter: a) erforderliche Mischzeit, b) spezifische Rührleistung  $P/V$  wenn der Rührwerksbehälter zu 80% gefüllt ist und c) Umfangsgeschwindigkeit des Rührorgans. Stoffdaten: Dichte  $1300kg/m^3$ ,  $\nu = 1,52 \cdot 10^{-5} m^2/s$  Viskosität

**Gegeben:**

$$D = 1,9m$$

$$h = 2,5m$$

$$d_{Rührer} = 0,5(\text{Propeller})$$

$$n = 70 \text{min}^{-1} = 1,16s^{-1}$$

$$h = 0,65$$

$$\rho = 1300 \frac{kg}{m^3}$$

$$\nu = 1,52 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$C = 80(\text{aus Tabelle})$$

**Lösungsweg:**

$$Re = \frac{n \cdot d_R^2}{\nu} = \frac{1,16 \cdot 0,25}{1,52 \cdot 10^{-5}} = 19188$$

$$\rightarrow Ne = 0,36 \text{ (Siehe Tabelle/Diagramm)}$$

$$P = Ne \cdot \rho \cdot d_R^5 \cdot n^3 = 0,36 \cdot 1300 \cdot 0,5^5 \cdot (1,16)^3 = 23,2W$$

$$P_{\text{Aufnahme}} = \frac{P}{\eta} = \frac{23,2}{0,65} = 35,7W$$

$$t_{\text{misch}} = \frac{C}{n} = \frac{80}{1,16} = 68,6s$$

$$w_{Rührer} = \mathbf{p} \cdot d_R \cdot n = \mathbf{p} \cdot 0,5 \cdot 1,16 = 1,83 \frac{m}{s}$$

Füllhöhe 80%

$$V_{\text{Füll}} = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot D \cdot h_{80\%} = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot 1,9^2 \cdot 2,5 \cdot 0,8 = 5,67$$

Daraus Spezifische Leistungsaufnahme:

$$\frac{P}{V} = 6,3 \frac{W}{m^3}$$

**Gesucht:**

Rührerleistung  $P_{Rührer}$

$P_{\text{Aufnahme}}$

Mischzeit  $t_{\text{Misch}}$

Umlaufgeschwindigkeit Rührer  $w_{Rührer}$

Spezifische Leistungsaufnahme

- 15 Bestimmen Sie die erforderliche Leistung eines Motors für eine Pumpe einer Abwasserreinigungsanlage. Die gesamte Rohrlänge beträgt 150m bei einem Durchmesser von 28cm. Der Volumenstrom beträgt 2400 hl pro Stunde ( $r = 1100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $u = 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Der Rauigkeitswert  $k$  wird mit 0,4 mm angenommen. In das Leitungssystem sind Einbauten installiert mit einer Gesamtwiderstandszahl  $z_{ges} = 50$  und es ist ein Höhenunterschied von 50m zu überwinden. Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 85% und des Pumpenmotors 75%. Ferner ist für den Betrieb eine 10% Leistungsreserve vorgeschrieben.

**Gegeben:**

$$l = 150 \text{ m}$$

$$d = 0,28 \text{ m}$$

$$\dot{V} = 2400 \frac{\text{hl}}{\text{h}} = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$r = 1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$u = 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$z_{ges} = 50$$

$$\Delta h = 50 \text{ m}$$

$$h_{Pumpe} = 0,85$$

$$h_{Motor} = 0,75$$

**Gesucht:**

$$P_{Gesamt}$$

**Lösungsweg:**

$$w = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,06}{\pi \cdot 0,28^2} = 1,083 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{d \cdot w}{u} = \frac{0,28 \cdot 1,083}{10^{-6}} = 303152 \text{ Turbulent}$$

$$\frac{d}{k} = 700 \rightarrow \lambda = 2,3 \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Reib}}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{r}{2} \cdot w^2 = 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{150}{0,3} \cdot \frac{1100}{2} \cdot 1,083^2 \text{ Pa} = 7948,4 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Einbau}}} = \Sigma z \cdot \frac{r}{2} \cdot w^2 = 50 \cdot \frac{1100}{2} \cdot 1,083^2 \text{ Pa} = 32235,8 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Höhe}}} = r \cdot h \cdot g = 1100 \cdot 50 \cdot 9,81 = 539550 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Gesamt}}} = \Delta p_{V_{\text{Rohr}}} + \Delta p_{V_{\text{Einbau}}} + \Delta p_{V_{\text{Höhe}}} = 579,7 \text{ kPa}$$

$$P = \Delta p_{V_{\text{Gesamt}}} \cdot \dot{V} = 579,7 \text{ kPa} \cdot 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 38,65 \text{ W}$$

Bei 10% Reserve  $P_{\text{Reserve}} = 1,1 \cdot P = 42,51 \text{ kW}$

$$P_{\text{auf}} = \frac{P_{\text{Reserve}}}{h_p \cdot h_M} = 66,69 \text{ kW}$$

16 In einem Klimaschrank wird eine Dichte der feuchten Luft von  $1,183 \text{ kg/m}^3$  gemessen. Wie groß ist die relative Feuchte im inneren des Schrankes, wenn Normaldruck  $101,5 \text{ kPa}$  vorliegt und der Sättigungsdruck bei  $30^\circ\text{C}$   $42,41 \text{ mbar}$  beträgt und die mittlere molare Masse für Luft  $29,8 \text{ g/mol}$  angenommen wird.

**Gegeben:**

$$\mathbf{r}_{\text{feuchteLuft}} = 1,183 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$p_{\text{Normal}} = 101,5 \text{ kPa}$$

$$T = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$$

$$p_{\text{WS}} = 41,42 \text{ mbar} = 4,142 \text{ kPa}$$

$$M_{\text{Luft}} = 29,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

**Gesucht:**

$\mathbf{j}$

**Lösungsweg:**

$$\mathbf{r}_{\text{trockneLuft}} = \frac{M_L \cdot p}{R \cdot T} = \frac{29,8 \cdot 101,5}{8,314 \cdot 303} \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{kPa} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}}{\text{kmol} \cdot \text{J} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}} \right] = 1,2007 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{\mathbf{r}_{\text{feuchteLuft}}}{\mathbf{r}_{\text{trockneLuft}}} = 1 - \frac{M_L - M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_L} \cdot \mathbf{j} \cdot \frac{p_{\text{WS}}}{p}$$

$$1 - \frac{\mathbf{r}_{\text{feuchteLuft}}}{\mathbf{r}_{\text{trockneLuft}}} = \mathbf{j} \cdot \frac{M_L - M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_L} \cdot \frac{p_{\text{WS}}}{p}$$

$$\mathbf{j} = \frac{1 - \frac{\mathbf{r}_{\text{feuchteLuft}}}{\mathbf{r}_{\text{trockneLuft}}}}{\frac{M_L - M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_L} \cdot \frac{p_{\text{WS}}}{p}} = \frac{1 - \frac{1,183}{1,2007}}{\frac{29,8 - 18,0}{29,8} \cdot \frac{4,142}{101,5}} = 0,9122$$

91,22% Relative Luftfeuchte

17 Mittels eines Photometers soll in einer Brauerei die Trübung des Bieres nach einer Filtration bestimmt werden. Dafür wird eine Venturi-Düse in das Zuleitungsrohr (Durchmesser 90mm) eingebaut. Frage: wie groß muss der Durchmesser der Verengungsstelle sein, damit ein Differenzdruck an der Verengungsstelle von  $\Delta p = 60 \text{ mbar}$  herrscht, bei einem Volumenstrom von 250hl/h. Die Dichte soll mit  $1000 \text{ kg/m}^3$  und die kinetische Viskosität  $\mathbf{u} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  angenommen werden. Prüfen Sie ferner, ob im Zuleitungsrohr und in der Verengungsstelle laminare oder turbulente Strömung vorliegt.

**Gegeben:**

$$d = 0,09 \text{ m}$$

$$\Delta p = 60 \text{ mbar} = 6000 \text{ Pa}$$

$$\dot{V} = 25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 6,944 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\mathbf{r} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mathbf{u} = 2,0 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

**Gesucht:**

$$d_{\text{Verengungsstelle}}$$

Re

Strömungsformen

**Lösungsweg:**

$$w = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$A_1 = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot d^2 = 6,39 \cdot 10^{-3}$$

$$w_1 = 1,0916 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta p_V = \frac{\mathbf{r}}{2} (w_2^2 - w_1^2) \rightarrow \frac{2 \cdot \Delta p_V}{\mathbf{r}} = w_2^2 - w_1^2$$

$$w_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_V}{\mathbf{r}} + w_1^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6000}{1000} + 1,09^2} = 3,632 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A_2 = \frac{\dot{V}}{w_2} = \frac{6,944 \cdot 10^{-3}}{3,632} = 0,00191 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot d^2 \rightarrow d_2 = \sqrt{\frac{4A}{\mathbf{p}}} = 0,0493 \text{ m}$$

$$\text{Re}_{\text{Rohr}} = \frac{d_1 \cdot w_1}{\mathbf{u}} = \frac{0,09 \cdot 1,09}{2,0 \cdot 10^{-6}} = 49122 \text{ Turbulent}$$

$$\text{Re}_{\text{Verengung}} = \frac{d_2 \cdot w_2}{\mathbf{u}} = \frac{0,049 \cdot 3,63}{2,0 \cdot 10^{-6}} = 89602 \text{ Turbulent}$$

- 18 In einem zylindrischen Behälter ( $d=17\text{cm}$ ,  $h=20\text{cm}$ ) wird eine wässrige Lösung durch einen Magnetrührer mit  $3,1$  Umdrehungen pro Sekunde rotiert. Zentrisch soll eine pH-Elektrode in die Lösung tauchen. Wie weit muss die Elektrode in den Behälter eintauchen (vom oberen Rand gerechnet), um die Oberfläche der Lösung zu berühren, wenn die seitlich aufsteigende Flüssigkeit der gerührten Lösung gerade  $1\text{ cm}$  vom Oberen Rand des Gefäßes entfernt ist?

**Gegeben:**

$$d = 17\text{cm}$$

$$h = 20\text{cm}$$

$$n = 3,1\text{s}^{-1}$$

$$x = 1\text{cm}$$

**Lösungsweg:**

$$h = z_{\max} + 1\text{cm} \rightarrow z_{\max} = 19\text{cm}$$

$$z(r) = \frac{w^2 \cdot r^2}{2 \cdot g} + z_{\min}$$

für  $r = r_0 \Rightarrow z = z_{\max}$

$$z_{\max} = \frac{w^2 \cdot r^2}{2 \cdot g}$$

$$z_{\min} = z_{\max} - \frac{w^2 \cdot r^2}{2 \cdot g}$$

$$w = 2 \cdot \pi \cdot n = 19,48\text{s}^{-1}$$

$$z_{\min} = 19 - \frac{19,48^2 \cdot \left(\frac{17}{2}\right)^2}{2 \cdot 9,81} = 5\text{cm}$$

- 19 Ein Konzentrat soll möglichst günstig, d. h. schnell und energiearm verdünnt werden. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Durchmesser von 1,9m und eine Höhe von 2,5m und wird mit einem Blattrührer (ohne Strombrecher) bei einer Drehzahl von 40 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung, sowie die spezifische Rührleistung  $P/V$  wenn der Behälter zu 85% gefüllt ist und berechne die aufgenommene Leistung, wenn Antriebsverluste von 45% vorliegen sowie die erforderliche Mischzeit. Stoffdaten:  
 $r = 1300 \text{kgm}^{-3}$ ,  $u = 0,597 \cdot 10^{-3}$

**Gegeben:**

$$D = 1,9 \text{m}$$

$$h = 2,5 \text{m}$$

$$n = 40 \text{min}^{-1} = 0,6 \text{s}^{-1}$$

$$h_{\text{Füll}} = 2,125$$

$$h = 0,45$$

$$r = 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$u = 0,597 \cdot 10^{-3}$$

$$C = 18$$

**Gesucht:**

Rührerleistung  $P_{\text{Rührer}}$

$P_{\text{Aufnahme}}$

Mischzeit  $t_{\text{Misch}}$

Spezifische Leistungsaufnahme

**Lösungsweg:**

$$\text{Re} = \frac{n \cdot d_R^2}{u} = \frac{0,95^2 \cdot 0,6}{0,597 \cdot 10^{-3}} = 1007,82$$

$$\rightarrow Ne = 8 \text{ (Siehe Tabelle/Diagramm)}$$

$$P = Ne \cdot r \cdot d_R^5 \cdot n^3 = 8 \cdot 1300 \cdot 0,95^5 \cdot (0,6)^3 = 2384 \text{W}$$

$$P_{\text{Aufnahme}} = \frac{P}{h} = \frac{2384}{0,65} = 5299 \text{W}$$

$$t_{\text{misch}} = \frac{C}{n} = \frac{18}{0,6} = 27 \text{s}$$

$$\left( w_{\text{Rührer}} = p \cdot d_R \cdot n = p \cdot 0,95 \cdot 0,6 = 1,9897 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Füllhöhe 85%

$$V_{\text{Füll}} = \frac{p}{4} \cdot D \cdot h_{85\%} = \frac{p}{4} \cdot 1,9^2 \cdot 2,5 \cdot 0,85 = 6,025 \text{m}^3$$

Daraus Spezifische Leistungsaufnahme:

$$\frac{P}{V} = 879 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$$

20 Durch eine Abwasserleitung aus Beton von 2,5 km Länge und einem rechteckigen Querschnitt (Breite 1 m, Höhe 60 cm) fließen 3800m<sup>3</sup> pro Stunde. Wie groß sind der Gesamtdruckverlust des Leitungssystems, wenn der Rauigkeitswert  $k$  mit 1,5 mm angenommen wird und ein Höhenunterschied von 170m zu überwinden ist und zwei Winkelstücke mit je einer Widerstandszahl von 0,70 eingebaut sind und eine Filtereinheit mit 0,60?

**Gegeben:**

$$\mathbf{u} = 1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \text{ (Aus Tabelle)}$$

$$\mathbf{r} = 1000 \frac{kg}{m^3} \text{ (Aus Tabelle)}$$

$$\dot{V} = 3800 \frac{m^3}{h} = 1,0556 \frac{m^3}{s}$$

$$l = 2,5km = 2500m$$

$$b = 1m$$

$$h = 0,6m$$

$$k = 1,5 \cdot 10^{-3} m$$

$$h = 170m$$

$$z = 0,7 \text{ (ZWEIMAL)}$$

$$z = 0,6$$

$$\Sigma_z = 2,0$$

**Gesucht:**

$$\Delta p_v$$

**Lösungsweg:**

$$A = h \cdot b = 0,6 \cdot 1 = 0,6m^2$$

$$U = 2 \cdot h + 2 \cdot b = 3,2m$$

$$d_{Kreis} = \frac{4 \cdot A}{U} = 0,75m$$

$$\mathbf{w} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{1,0556}{\frac{\rho}{4} \cdot 0,75^2} = 2,39 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{d \cdot \mathbf{w}}{\mathbf{u}} = \frac{0,75 \cdot 2,39}{10^{-6}} = 1,79 \cdot 10^6$$

$$\frac{d}{k} = 500 \text{ aus Tabelle/Diagramm} \rightarrow \mathbf{I} = 2,4 \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta p_{V_{Rohr}} = \mathbf{I} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\mathbf{r}}{2} \cdot \mathbf{w}^2 = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2500}{0,75} \cdot \frac{1000}{2} \cdot 2,39^2 Pa = 228350 Pa$$

$$\Delta p_{V_{Einbau}} = \Sigma_z \cdot \frac{\mathbf{r}}{2} \cdot \mathbf{w}^2 = 2,0 \cdot \frac{1000}{2} \cdot 2,39^2 Pa = 5709 Pa$$

$$\Delta p_{V_{Höhe}} = \mathbf{r} \cdot h \cdot g = 1000 \cdot 170 \cdot 9,81 = 1,67 \cdot 10^6 Pa$$

$$\Delta p_{V_{gesamt}} = \Delta p_{V_{Rohr}} + \Delta p_{V_{Einbau}} + \Delta p_{V_{Höhe}} = 1,9 \cdot 10^3 kPa$$

21 Durch eine Abwasserleitung aus Beton 12 km Länge und einem rechteckigen Querschnitt (Breite 1 m, Höhe 60 cm) fließen 3800m<sup>3</sup> pro Stunde. Wie groß sind der Gesamtdruckverlust des Leitungssystems, wenn der Rauigkeitswert k mit 1,5 mm angenommen wird und ein Höhenunterschied von 100m zu überwinden ist und zwei Winkelstücke mit je einer Widerstandszahl von 0,50 eingebaut sind?

**Gegeben:**

$$u = 1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \text{ (Aus Tabelle)}$$

$$r = 1000 \frac{kg}{m^3} \text{ (Aus Tabelle)}$$

$$\dot{V} = 3800 \frac{m^3}{h} = 1,0556 \frac{m^3}{s}$$

$$l = 12km = 12000m$$

$$b = 1m$$

$$h = 0,6m$$

$$k = 1,5 \cdot 10^{-3}m$$

$$h = 170m$$

$$z = 0,5 \text{ (ZWEIMAL)}$$

$$\Sigma_z = 1,0$$

**Gesucht:**

$$\Delta p_V$$

**Lösungsweg:**

$$A = h \cdot b = 0,6 \cdot 1,0 = 0,6m^2$$

$$U = 2 \cdot h + 2 \cdot b = 3,2m$$

$$d_{Kreis} = \frac{4 \cdot A}{U} = 0,75m$$

$$w = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{1,0556}{\frac{\rho}{4} \cdot 0,75^2} = 2,39 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{d \cdot w}{u} = \frac{0,75 \cdot 2,39}{10^{-6}} = 1,79 \cdot 10^6$$

$$\frac{d}{k} = 500 \text{ aus Tabelle/Diagramm} \rightarrow I = 2,4 \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta p_{V_{Rohr}} = I \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{r}{2} \cdot w^2 = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{12000}{0,75} \cdot \frac{1000}{2} \cdot 2,39^2 Pa = 1,097 \cdot 10^6 Pa$$

$$\Delta p_{V_{Einbau}} = \Sigma_z \cdot \frac{r}{2} \cdot w^2 = 1,0 \cdot \frac{1000}{2} \cdot 2,39^2 Pa = 2856 Pa$$

$$\Delta p_{V_{Höhe}} = r \cdot h \cdot g = 1000 \cdot 100 \cdot 9,81 = 981000 Pa$$

$$\Delta p_{V_{gesamt}} = \Delta p_{V_{Rohr}} + \Delta p_{V_{Einbau}} + \Delta p_{V_{Höhe}} = 2,08 \cdot 10^6 Pa$$

22 In einer Brauerei soll kontinuierlich die Sauerstoffkonzentration im Bier mittels eines Bypass nach der Filtration und anschließender Überführung in den Lagertank gemessen werden. Dafür wird eine Venturi-Düse in die Hauptleitung installiert. Frage: wie groß muss der Durchmesser der Verengungsstelle ausgelegt werden, damit der Differenzdruck an der Verengungsstelle von  $\Delta p = 60 \text{ mbar}$  betragen soll? Durch die Rohrleitung (Durchmesser 80mm) fließen 250hl/h Messgut. Die Dichte soll mit  $1000 \text{ kg/m}^3$  und die kinetische Viskosität  $\mathbf{u} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  angenommen werden. Bestimmen sie auch die Renoldszahl in der Rohrleitung und Verengungsstelle.

**Gegeben:**

$$d = 0,09 \text{ m}$$

$$\Delta p = 60 \text{ mbar} = 6000 \text{ Pa}$$

$$\dot{V} = 25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 6,944 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\mathbf{r} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mathbf{u} = 2,0 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

**Gesucht:**

$$d_{\text{Verengungsstelle}}$$

$$\text{Re}$$

**Lösungsweg:**

$$w = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$A_1 = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot d^2 = 5,027 \cdot 10^{-3}$$

$$w_1 = 1,38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta p_V = \frac{\mathbf{r}}{2} (w_2^2 - w_1^2) \rightarrow \frac{2 \cdot \Delta p_V}{\mathbf{r}} = w_2^2 - w_1^2$$

$$w_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_V}{\mathbf{r}} + w_1^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6000}{1000} + 1,38^2} = 3,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A_2 = \frac{\dot{V}}{w_2} = \frac{6,9 \cdot 10^{-3}}{3,18} = 0,0022 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot d^2 \rightarrow d_2 = \sqrt{\frac{4A}{\mathbf{p}}} = 0,053 \text{ m}$$

$$\text{Re}_{\text{Rohr}} = \frac{d_1 \cdot w_1}{\mathbf{u}} = \frac{0,08 \cdot 1,38}{2,0 \cdot 10^{-6}} = 55262 \text{ Turbulent}$$

$$\text{Re}_{\text{Verengung}} = \frac{d_2 \cdot w_2}{\mathbf{u}} = \frac{0,053 \cdot 3,18}{2,0 \cdot 10^{-6}} = 83797 \text{ Turbulent}$$

- 23 Ein Fruchtsaftkonzentrat soll möglichst günstig, d. h. schnell und energiearm verdünnt werden. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Durchmesser von 1,5m und eine Höhe von 2,0m und wird mit einem Blattrührer bei einer Drehzahl von 30 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung, sowie die spezifische Rührleistung  $P/V$  und berechne die aufgenommene Leistung, wenn Antriebsverluste von 55% vorliegen sowie die erforderliche Mischzeit. Stoffdaten:  $\mathbf{r} = 1300 \text{kgm}^{-3}$ ,  $\mathbf{u} = 0,94 \cdot 10^{-3}$

**Gegeben:**

$$D = 1,9 \text{m}$$

$$h = 2,5 \text{m}$$

$$n = 40 \text{min}^{-1} = 0,667 \text{s}^{-1}$$

$$h_{\text{Füll}} = 2,125$$

$$h = 0,45$$

$$\mathbf{r} = 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mathbf{u} = 0,597 \cdot 10^{-3}$$

$$C = 18$$

**Gesucht:**

Rührerleistung  $P_{\text{Rührer}}$

$P_{\text{Aufnahme}}$

Mischzeit  $t_{\text{Misch}}$

Spezifische Leistungsaufnahme

**Lösungsweg:**

$$t_{\text{misch}} = \frac{C}{n} = \frac{18}{0,5} = 36 \text{s}$$

$$W_{\text{Rührer}} = \mathbf{p} \cdot d_R \cdot n = \mathbf{p} \cdot 0,75 \cdot 0,5 = 1,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot d^2 \cdot h = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot 1,5^2 \cdot 2 = 3,53 \text{m}^3$$

$$\text{Re} = \frac{n \cdot d_R^2}{\mathbf{u}} = \frac{0,75^2 \cdot 0,5}{0,94 \cdot 10^{-3}} = 299,2$$

→  $Ne = 9$  (Siehe Tabelle/Diagramm)

$$P = Ne \cdot \mathbf{r} \cdot d_R^5 \cdot n^3 = 9 \cdot 1300 \cdot 0,75^5 \cdot (0,5)^3 = 347 \text{W}$$

$$P_{\text{Aufnahme}} = \frac{P}{h} = \frac{347}{0,45} = 771 \text{W}$$

Daraus Spezifische Leistungsaufnahme:

$$\frac{P}{V} = 218 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$$

- 24 Ein waagerechtes Rohr transportiert 80l/s Wasser. Das Rohr verzweigt sich in zwei Teilrohre, von denen eines 5 cm und das andere Rohr 10 cm lichte Weite hat. Welche Geschwindigkeit herrscht in den 10cm-Rohr, wenn die in den 5cm-Rohr 12m/s beträgt. Betrachten Sie die Strömung als inkompressible und stationär und vernachlässigen Sie die Reibung.

**Gegeben:**

$$\dot{V} = 80 \frac{l}{s} = 0,08 \frac{m^3}{s}$$

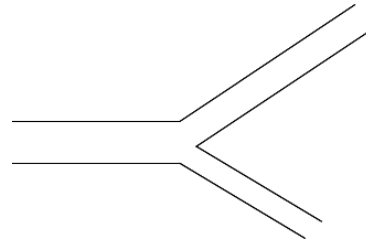
$$d_2 = 0,1m$$

$$d_3 = 0,05m$$

$$w_3 = 12 \frac{m}{s}$$

**Gesucht:**

$$w_2$$



**Lösungsweg:**

$$w = \frac{\dot{V}}{A} \rightarrow \dot{V} = w \cdot A$$

$$\dot{V}_{gesamt} = \dot{V}_2 + \dot{V}_3$$

$$\dot{V}_{gesamt} = w_2 \cdot A_2 + w_3 \cdot A_3$$

$$\dot{V}_3 = 12 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,05^2 = 0,024 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_{gesamt} - \dot{V}_3 = 0,08 \frac{m^3}{s} - 0,024 \frac{m^3}{s} = 0,056 \frac{m^3}{s}$$

$$w_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2} = \frac{0,056}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,1^2} \left[ \frac{m^3}{s \cdot m^2} \right] = 7,19 \frac{m}{s}$$

25 In einer Destillationsanlage soll die notwendige Kühlwassermenge (Volumenstrom [m<sup>3</sup>/s] und Massenstrom [kg/s]) kontinuierlich bestimmt werden. Dafür ist eine Venturi-Düse in die Hauptleitung (Durchmesser 80mm) installiert. Die Einschnürstelle der Venturi-Düse beträgt 70% des Rohrdurchmessers und der entstehende Differenzdruck bei optimaler Kühlung  $\Delta p = 400 \text{ mbar}$ . Bestimmen Sie auch die Reynoldszahl in der Rohrleitung und Verengungsstelle. Stoffdaten:  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

**Gegeben:**

$$d_{\text{Rohr}} = 80 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$d_{\text{Einschnürung}} = 0,7 \cdot 80 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,056 \text{ m}$$

$$\Delta p = 400 \text{ mbar} = 40 \text{ kPa}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

**Gesucht:**

$$\dot{V}$$

$$\dot{m}$$

$$\text{Re}_{\text{Rohr}}; \text{Re}_{\text{Einschnürung}}$$

**Lösungsweg:**

$$A_{\text{Rohr}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = 5,027 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Einschnürung}} = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} (w_E^2 - w_R^2) = \frac{\rho}{2} \left( \left( \frac{\dot{V}}{A_E} \right)^2 - \left( \frac{\dot{V}}{A_R} \right)^2 \right) = \frac{\rho}{2} \dot{V}^2 \left( \left( \frac{1}{A_E} \right)^2 - \left( \frac{1}{A_R} \right)^2 \right)$$

$$\rightarrow \dot{V}^2 = \frac{2\Delta p}{\rho \cdot \left( \left( \frac{1}{A_E} \right)^2 - \left( \frac{1}{A_R} \right)^2 \right)} = \frac{2 \cdot 40000}{1000 \cdot \left( \left( \frac{1}{2,46 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - \left( \frac{1}{5,027 \cdot 10^{-3}} \right)^2 \right)}$$

$$\rightarrow \dot{V}^2 = \left[ \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{m}^4}{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2}} \right] = 0,00798 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = 7,98 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 7,98 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$w = \frac{\dot{V}}{A}$$

$$w_R = \frac{7,98 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{5,027 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,587 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$w_E = 3,243 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{d \cdot w}{\mu} \Rightarrow \text{Re}_{\text{Rohr}} = 7978; \quad \text{Re} = 7978$$

26 Aus einem unterirdischen Vorratsbehälter soll mit Hilfe eines Überdrucks im Kopfraum des Behälters Methylenchlorid (Dichte:  $1,3\text{kg/dm}^3$ ) zur weiteren Verarbeitung in einen oberirdigen Reaktor überführt werden. Berechnen Sie den nötigen Überdruck, wenn die Transporthöhe  $9\text{m}$  beträgt und im Reaktor ein Gegendruck von  $0,8\text{MPa}$  zu überwinden ist.

**Gegeben:**

$$\rho = 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h = 9\text{m}$$

$$p_{\text{gegen}} = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

**Gesucht:**

Überdruck

**Lösungsweg:**

$$p_{\text{Höhe}} = \rho \cdot g \cdot h = 1300 \cdot 9,81 \cdot 9 \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2} \right] = 114777 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{Überdruck}} = p_{\text{gegen}} + p_{\text{Höhe}}$$

$$p_{\text{Überdruck}} = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Pa} + 114777 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{Überdruck}} = 914777 \text{ Pa} = 0,914777 \text{ MPa} \approx 0,915 \text{ MPa}$$

Im Vorratsbehälter muss mindestens ein Druck von  $0,915\text{MPa}$  herrschen, damit kein Methylenchlorid zurückfließt. Zur Sicherheit sollte der Druck etwas höher liegen, damit keine evtl. Reaktionsprodukte zurückfließen können.

27 Ein Fruchtsaftkonzentrat soll möglichst günstig, d. h. schnell und energiearm homogenisiert werden. Der zylindrische Rührbehälter hat einen Durchmesser von 1,5m und eine Höhe von 2,0m und wird mit einem Blattrührer (ohne Strombrecher) bei einer Drehzahl von 50 Umdrehungen pro Minute betrieben. Man bestimme die nötige Rührleistung, sowie die spezifische Rührleistung  $P/V$  und berechne die aufgenommene Leistung, wenn Antriebsverluste des Rührorgans von 55% vorliegen sowie die erforderliche Mischzeit und Umfangsgeschwindigkeit des Blattrührer. Stoffdaten:  $\rho = 1300 \text{ kgm}^{-3}$ ,  $\mu = 0,94 \cdot 10^{-3}$

**Gegeben:**

$$D = 1,5 \text{ m}$$

$$d_R = 0,75 \text{ m}$$

$$h = 2,0 \text{ m}$$

$$n = 50 \text{ min}^{-1} = 0,83 \text{ s}^{-1}$$

$$h = 0,45$$

$$\rho = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 0,94 \cdot 10^{-3}$$

$$C = 18$$

**Lösungsweg:**

$$t_{\text{misch}} = \frac{C}{n} = \frac{18}{0,83} = 21,6 \text{ s}$$

$$w_{\text{Rührer}} = p \cdot d_R \cdot n = p \cdot 0,75 \cdot 0,83 = 1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V = \frac{p}{4} \cdot d^2 \cdot h = \frac{p}{4} \cdot 1,5^2 \cdot 2 = 3,53 \text{ m}^3$$

$$\text{Re} = \frac{n \cdot d_R^2}{\mu} = \frac{0,75^2 \cdot 0,83}{0,94 \cdot 10^{-3}} = 498,7$$

→  $Ne = 8,5$  (Siehe Tabelle/Diagramm)

$$P = Ne \cdot \rho \cdot d_R^5 \cdot n^3 = 8,5 \cdot 1400 \cdot 0,75^5 \cdot (0,83)^3 = 1634 \text{ W}$$

$$P_{\text{Aufnahme}} = \frac{P}{h} = 1634 = 3632 \text{ W}$$

**Gesucht:**

Rührerleistung  $P_{\text{Rührer}}$

$P_{\text{Aufnahme}}$

Mischzeit  $t_{\text{Misch}}$

Spezifische Leistungsaufnahme

$w_R$

28 Auf einem Tankschiff soll Öl der kinetischen Viskosität von  $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  in ein Vorratsbehälter einer Raffinerie gepumpt werden. Die Förderpumpe ermöglicht ein Volumenstrom von 410 l/s durch ein 2500m langes gusseisernes Rohr mit einem Durchmesser von 40 cm. Wie groß ist der Gesamtdruckverlust des Leistungssystems, wenn der Rauigkeitswert  $k$  mit 0,2 mm angenommen wird, ein Höhenunterschied von 170 m zu überwinden ist und zwei Winkelstücke mit je einer Widerstandzahl von 0,5 sowie eine Filtereinheit mit 0,6 eingebaut sind?

**Gegeben:**

$$\mathbf{u} = 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\mathbf{r} = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{V} = 410 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,41 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$l = 2500\text{m}$$

$$d = 0,4\text{m}$$

$$k = 0,2 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

$$h = 170\text{m}$$

$$z = 0,5 (\text{ZWEIMAL})$$

$$z_F = 0,6$$

$$\Sigma_z = 1,6$$

**Gesucht:**

$$\Delta p_V$$

**Lösungsweg:**

$$A = \frac{\mathbf{p}}{4} \cdot d^2 = 0,4 \cdot \frac{\mathbf{p}}{4} = 0,126\text{m}^2$$

$$\mathbf{w} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,41}{\frac{\mathbf{p}}{4} \cdot 0,126^2} = 3,26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{d \cdot \mathbf{w}}{\mathbf{u}} = \frac{0,41 \cdot 3,26}{1,3 \cdot 10^{-5}} = 102900$$

$$\frac{d}{k} = 2000 \text{ aus Tabelle/Diagramm} \rightarrow I = 2,0 \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Rohr}}} = I \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\mathbf{r}}{2} \cdot \mathbf{w}^2 = 2,0 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2500}{0,4} \cdot \frac{850}{2} \cdot 3,26^2 \text{ Pa} = 564591 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Einbau}}} = \Sigma_z \cdot \frac{\mathbf{r}}{2} \cdot \mathbf{w}^2 = 1,6 \cdot \frac{850}{2} \cdot 3,26^2 \text{ Pa} = 7227 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{Höhe}}} = \mathbf{r} \cdot h \cdot g = 850 \cdot 170 \cdot 9,81 = 1,42 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{V_{\text{gesamt}}} = \Delta p_{V_{\text{Rohr}}} + \Delta p_{V_{\text{Einbau}}} + \Delta p_{V_{\text{Höhe}}} = 1,989 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$