



PROTOKOLL PROZESSTECHNIK

Verdunstungskühlung am Kühlturm

Teilnehmer:

Maximilian Köhler
Roman-Luca Zank

Protokollführer:	Roman-Luca Zank
Datum der Versuchsdurchführung:	27.10.2020
Abgabe:	18.11.2020

Merseburg den 18.11.2020

1 Einleitung und Versuchsziel

Im folgenden Versuch wird die Verdunstungskühlung von Wasser anhand eines Kühlturms untersucht. Der Versuchsstand stellt dabei die Kühlung von Kühlwasser mittels warmer Sommerluft dar. Ziel ist es hierbei den Massen- bzw. den Volumenstrom der zu geführten, warmen Luft über Wärme- und Stoffbilanzen zu bestimmen, sowie die Dokumentation der Messwerte in ein MOLLIER-Diagramm. Zusätzlich werden ein Fließbild der Anlage und eine Einschätzung über die Effektivität des Prozesses zu gefordert.

2 Theoretische Grundlagen

Grundlage für den Versuch am Kühlturm stellt die Kopplung von Wärme- und Stoffübergang zwischen warmen Kühlwasser und der zugeführten warmen Luft dar.

Zu Beginn des Versuches sind dabei die Wärmeverluste durch die Leitung des Kühlwassers ohne Luftstrom zu betrachten. Die Berechnung der Verlustwärme \dot{Q}_V erfolgt in diesem Versuch über die Wärmekapazität des Wassers $c_{P_{H_2O}}$, der Temperaturdifferenz des Wassers zwischen Eintritt $T_{\alpha,H_2O,V}$ und Austritt $T_{\omega,H_2O,V}$ des Bilanzraumes, sowie dem Massenstrom des Wassers.

$$\dot{Q}_V = \dot{m}_{H_2O} \cdot c_{P_{H_2O}} \cdot (T_{\alpha,H_2O,V} - T_{\omega,H_2O,V}) \quad (1)$$

Nach Ermittlung der Verlustwärme kann nun mit der Gesamtwärme \dot{Q}_{ges} des jeweiligen laufenden Prozesses mit warmer Luft, die nutzbare Wärme \dot{Q}_{Nutz} berechnet werden. Wichtig ist dabei, dass die Wassertemperatur und der Massenstrom des Wassers nahezu konstant gehalten werden mussten.

$$\begin{aligned}
\dot{Q}_{ges} &= \dot{Q}_{Nutz} + \dot{Q}_V \\
\dot{Q}_{Nutz} &= \dot{Q}_{ges} - \dot{Q}_V \\
&= \dot{m}_{H_2O} \cdot c_{P_{H_2O}} \cdot (T_{\alpha, H_2O, 1} - T_{\omega, H_2O, 1}) - \dot{m} \cdot c_{P_{H_2O}} \cdot (T_{\alpha, H_2O, V} - T_{\omega, H_2O, V}) \\
&= \dot{m}_{H_2O} \cdot c_{P_{H_2O}} \cdot (T_{\alpha, H_2O, ges} - T_{\omega, H_2O, ges} - T_{\alpha, H_2O, V} + T_{\omega, H_2O, V})
\end{aligned} \tag{2}$$

Ausgehend von der MERKEL'schen Hauptgleichung lässt sich nun eine vereinfachte Energiebilanz zwischen dem Kühlwasser und der warmen Luft aufstellen. Diese vereinfachte Form gilt unter der Annahme, dass die Verdunstungsmenge an Wasser im Vergleich zur Kühlwassermenge vernachlässigbar ist.

$$\begin{aligned}
\dot{Q}_L &= \dot{Q}_{Nutz} \\
\dot{m}_L \cdot (h_{L2} - h_{L1}) &= \dot{m}_{H_2O} \cdot (T_{\omega, H_2O} - T_{\alpha, H_2O})
\end{aligned} \tag{3}$$

Umgeformt führt diese Gleichung zum Massenstrom der Luft. Die benötigten spezifischen Enthalpien der feuchten Luft lassen sich mit dem MOLLIER-Diagramm bestimmen.

$$\begin{aligned}
\dot{m}_L &= \frac{\dot{Q}_{Nutz}}{(h_{L2} - h_{L1})} \\
&= \frac{\dot{m}_{H_2O} \cdot (T_{\omega, H_2O} - T_{\alpha, H_2O})}{(h_{L2} - h_{L1})}
\end{aligned} \tag{4}$$

Um den geforderten Volumenstrom zu bestimmen ist zusätzlich eine Berechnung der Dichte für die entsprechenden Messreihen notwendig. In diesem Fall erfolgt die Bestimmung über den Sättigungsdampfdruck über Wasser durch die MAGNUS-Formel und der Gaskonstante für feuchte Luft.

Mangusformel

$$E = 6,112 \cdot 10^2 \text{ Pa} \cdot \exp^{\frac{17,62 \cdot T_L}{243,12 + T_L}} \tag{5}$$

T in °C

Gaskonstante

$$R_f = \frac{R_t}{1 - \varphi \cdot \frac{E}{p} \cdot \left(1 - \frac{R_t}{R_d}\right)} \quad (6)$$

p, R_t und R_d erklären
Luftdichte

$$\rho_L = \frac{p}{R_f \cdot T_L} \quad (7)$$

T in K

<https://rechneronline.de/barometer/saettigungsdampfdruck.php> <https://rechneronline.de/barometer/luftdichte.php>

3 Versuchsdurchführung

4 Ergebnisse

Tab. 1: Versuchsreihe 1

Leitungsverluste																
Temperatur Eingang	°C	29,2												Dichte für T Ein	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	995,9
Temperatur Ausgang	°C	28,3												Volumenstrom	$\frac{\text{L}}{\text{h}}$	105,3
Temperatur Differenz	°C	0,9												Massestrom	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$	0,029
Volumenstrom (für 15°C)	$\frac{\text{L}}{\text{h}}$	105,0												Wärmeverlust Leitung	W	109,6
Dichte (für 15°C)	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	999,1														
-5 K, 0 K, +5 K																

[illegible]

Tab. 3: Versuchsreihe 3

Leitungsverluste													
Temperatur Eingang	°C	42,6										Dichte für T Ein	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Temperatur Ausgang	°C	40,6										Volumenstrom	$\frac{\text{L}}{\text{h}}$
Temperatur Differenz	°C	2,0										Massestrom	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
Volumenstrom (für 15°C)	$\frac{\text{L}}{\text{h}}$	105,0										Wärmeverlust Leitung	W
Dichte (für 15°C)	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	999,1											
-5 K, 0 K, +5 K													
		Lufteingang			Mischluft			Luftausgang			Wassereingang		
Temperatur	°C	22,3	22,4	22,8	38,8	44,0	48,9	30,1	31,6	32,4	34,1	42,0	41,9
relative Luftfeuchte	%	42,8	42,9	42,7	17,3	12,8	10,1	87,5	83,8	80,0	-	-	-
absolute Luftfeuchte	$\frac{\text{g}}{\text{kg}}$	7,4	7,2	7,3	7,4	7,2	7,3	23,8	24,8	24,8	-	-	-
Enthalpie	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	42,0	41,1	41,7	58,3	63,1	68,4	91,3	95,4	96,2	-	-	-
Temperaturdifferenz Wasser	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,4	16,8	14,3
Wärmekapazität	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,18	4,18	4,18
Wärmeabgabe Wasser	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2241,3	2046,4	1741,9
Nutzwärme Wasser	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1997,7	1802,8	1498,3
Sättigungsdampfdruck	Pa	-	-	-	6907,9	9096,3	11683,9	4260,5	4630,8	4842,6	-	-	-
universelle Gaskonstante	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	-	-	-	288,3	288,7	288,3	291,1	291,2	291,3	-	-	-
Dichte	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	-	-	-	1,13	1,11	1,09	1,15	1,14	1,14			995,9
Massenstrom	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05			0,029
Volumenstrom	$\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$	-	-	-	193	182	178	190	176	170			105,3

5 Diskussion der Ergebnisse

6 Fehlerbetrachtung

Literatur

- [1] BERGER, Andrea ; HARTMANN-SCHREIER, Jenny: *Eugenol*. Thieme Gruppe, 2017 <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-05-02145>
- [2] KRAMMER, Gerhard: *Nelkenöle*. Thieme Gruppe, 2003 <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-14-00705>
- [3] RÖMPP-REDAKTION: *Caryophyllene*. Thieme Gruppe, 2002 <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-00612>
- [4] WIKIPEDIA (Hrsg.): *Nelkenöl*. Version: 2020. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Nelkenöl&oldid=200175144>,
Abruf: 10.11.2020