



PROTOKOLL THERMISCHE VERFAHRENSTECHNIK I

Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten

Teilnehmer:

Willy Messerschmidt
Roman-Luca Zank

Gruppe:	J
Protokollführer:	Roman-Luca Zank
Datum der Versuchsdurchführung:	Online
Abgabedatum:	22. Juni 2020

Merseburg den 22. Juni 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theoretische Grundlagen	2
3	Durchführung	4
4	Ergebnisse und Berechnungen	4
5	Diskussion	13

1 Einleitung

Im folgenden Protokoll werden generierte Messdaten zum Versuch $WÜK$ ausgewertet. Ziel ist es mithilfe der erklärenden Videos zum Praktikum und Mittels der gegebenen Messdaten den Wärmeübergangskoeffizient α_L für turbulente Luftströmungen zu bestimmen. Dafür werden drei verschiedene Rohre unter unterschiedlichen Volumenströmen der Luft untersucht. Die Wärmeübertragung mit Wasser erfolgt in diesem Versuch mittels Gegenstrom. Darüber hinaus sind, mittels NUSSELT-Zahl Nu und der NUSSELT-Parameter a und b , Bewertungen zur Wärmeübertragung der verschiedenen Rohre und Volumenströme abzugeben.

2 Theoretische Grundlagen

Grundlage für den Versuch stellte die Wärmeübertragung am Rohr da. So lässt sich der übertragende Wärmestrom über die spezifische Wärmekapazität, dem Massenstrom, sowie aus der Differenz zwischen eingehender und ausgehender Temperatur des Stromes.

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \\ \dot{Q} &= \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_w - T_\alpha)\end{aligned}\quad (1)$$

Da für die eigentliche Wärmeübertragung in Wärmetauschern oft keine konstante Temperaturdifferenz vorliegt, verwendet man für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, mit der Fläche des Wärmetauschers, gern die logarithmische Temperaturdifferenz. Mit dem zuvor berechneten Wärmestrom lässt sich so U_a ausrechnen.

$$\begin{aligned}\Delta T_{\ln} &= \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln\left(\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}\right)} \\ \dot{Q} &= U_a \cdot A \cdot \Delta T_{\ln} \\ U_a &= \frac{\dot{Q}}{\Delta T_{\ln}}\end{aligned}\quad (2)$$

Für die weitere Charakterisierung der Strömung außerhalb des Rohrs wird der hydraulische Rohrdurchmesser d_H als theoretische Größe eingeführt. Er soll sicherstellen, dass die vorherrschenden, turbulenten Strömungen ändernd gut beschrieben werden können.

$$d_H (\text{Rohr}) = D_i - d_a \quad (3)$$

Solche Größen sind unter anderem die Reynoldszahl Re zur Charakterisierung der Strömung als turbulent, laminar oder einem Übergangszustand.

$$Re = \frac{d \cdot w}{\nu} \quad (4)$$

Die Prandtl-Zahl hingegen gibt das Verhältnis zwischen kinematischer Viskosität ν und der Temperaturleitfähigkeit a an.

$$Pr = \frac{c_p \cdot \nu \cdot \rho}{\lambda} \quad (5)$$

Idealer Weise lässt sich so aus den beiden zuletzt genannten Größe eine weitere, neue, dimensionslose Kennzahl definieren um den konvektiven Wärmeübergang zwischen einer festen Oberfläche und einem strömenden Fluid zu beschreiben. Die NUSSELT-Zahl Nu . Für die äußere Wasserströmung lässt sich dieser Übergang als ideal annehmen, da der Wärmeübergang der Luft deutlich stärker die Übertragung beeinflusst.

$$Nu_{ideal} = 0,023 \cdot (Re^2 \cdot Pr)^{0,4} \quad (6)$$

Aus einem weiteren Zusammenhang der NUSSELT-Zahl gegenüber der Wärmekonvektion, lässt sich so der Wärmeübergangskoeffizient α_a für die wasserseitige Wärmeübertragung berechnen.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (7)$$

Unter diesen Annahmen ist es nun so auch möglich mit Hilfe des Wärmeleitwiderstandes, der geometrischen Daten der Rohre, des Wärmedurchgangskoeffizientens und des Wärmeübergangskoeffizienten des Wassers (außen), der Wärmeübergangskoeffizient der Luft zu berechnen.

$$U_a = \left(\frac{d_a}{\alpha_i \cdot d_i} + \frac{d_a}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \left[\frac{d_a}{d_i} \right] + \frac{1}{\alpha_a} \right)^{-1}$$

$$\alpha_i = \left[\left(\frac{1}{U_a} - \frac{d_a}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \left[\frac{d_a}{d_i} \right] - \frac{1}{\alpha_a} \right) \cdot \frac{d_i}{d_a} \right]^{-1} \quad (8)$$

Über die NUSSELT-Zahl lässt sich dann wiederum die NUSSELT-Zahl der Luftseite berechnen, welche die NUSSELT-Koeffizienten a und b zur Bewertung der Versuchsrohre bzw. der Strömungsgeschwindigkeiten einschätzen lässt.

$$a = e^{\ln(Nu)} \quad (9)$$

$$b = f' \left(\ln(Re^2 \cdot Pr), \ln(Nu) \right) \quad (10)$$

Im Folgenden sind die genutzten geometrischen Rohrdaten, sowie die Stoffdaten hinterlegt.

Tab. 1: Rohrdaten

	WÜ 1	WÜ 4	WÜ 6
d_i [mm]	17,3	29,7	17,3
d_a [mm]	21,3	33,7	21,3
D_i [mm]	29,7	44,3	29,7
D_a [mm]	33,7	48,3	33,7
L [mm]	800	800	400

Luft im Bereich 10 ... 60 °C

Gaskonstante	0,29 kJ/kg K	
spezifische Wärmekapazität	1,005 kJ/kg K	
kinematische Viskosität (m ² /s)	$\nu = 1,3323 \cdot 10^{-5} + 8,71 \cdot 10^{-8} T + 1,02 \cdot 10^{-10} T^2$	T in (°C)
Wärmeleitfähigkeit (kJ/m h K)	$\lambda = 0,0876 + 2,46 \cdot 10^{-4} T + 1,12 \cdot 10^{-7} T^2$	T in (°C)

Wasser im Bereich 20 ... 60 °C

Dichte (kg/m ³)	$\rho = 1005,7 - 0,375 \cdot T$	T in (°C)
spezifische Wärmekapazität	4,185 kJ/kg K	
kinematische Viskosität (m ² /s)	$\nu = \exp(-13,2883 - 0,02806 T + 1,123 \cdot 10^{-4} T^2)$	T in (°C)
Wärmeleitfähigkeit (kJ/m h K)	$\lambda = 2,0107 + 0,00761 T - 3,347 \cdot 10^{-5} T^2$	T in (°C)

Legierter Stahl XBCrNiMoTi18.11

Wärmeleitfähigkeit (kJ/m h K)	$\lambda = 56$
-------------------------------	----------------

Abb. 1: Stoffdaten

3 Durchführung

Um die Wärmeübergangskoeffizienten α_L zu bestimmen würden im Präsenzpraktikum für die Normvolumenströme der Luft, für fünf verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten Messungen in den drei verschiedenen Rohren vorgenommen werden. Dabei wird der Mantel mit warmen Wasser im Gegenstrom durchströmt. Es werden dann, beim Erreichen des stationären Zustandes, die Ein- und Ausgangstemperaturen von Luft und Wasser, sowie dessen Volumenströme gemessen. Die Bestimmung der thermodynamischen Kennwerte erfolgt durch Berechnungen aus den gemessenen Daten.

4 Ergebnisse und Berechnungen

In Tab. 2 sind die Messdaten des Versuches dargestellt. Auf den Seiten 6 bis 11 wird eine Beispielrechnung für eine Strömungsgeschwindigkeit von Luft in einem Rohr erläutert. Die restlichen Berechnungsergebnisse sind der Tab. 3 aufgeführt.

Tab. 2: gut gefälschte Volumenströme und Temperaturen der verschiedenen Rohre für Wasser und Luft

	WÜ 1					WÜ 4					WÜ 6				
Messwert	M11	M12	M13	M14	M15	M41	M42	M43	M44	M45	M61	M62	M63	M64	M65
$\dot{V}_{H_2O} \left[\frac{L}{h} \right]$	385	401	418	422	431	422	425	412	420	435	431	434	413	421	417
$\dot{V}_L \left[\frac{m^3}{h} \right]$	25,5	11	19,1	22,1	16	25,2	19,9	15,1	12,3	10,4	24,9	19,7	16	12,1	9,9
$T_{H_2O,\alpha} [^{\circ}C]$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$T_{H_2O,\omega} [^{\circ}C]$	54,5	57	50,58	55,1	55,83	54,7	54,7	54,72	53,8	54,2	55,97	56,3	55,8	55,7	55,1
$T_{Luft,\alpha} [^{\circ}C]$	24,51	20,41	20,21	18,09	17,86	26,42	24,51	22,81	21,52	20,53	20,51	20,4	20,42	20,39	20,36
$T_{Luft,\omega} [^{\circ}C]$	37,92	39,52	34,54	35,54	36,19	35	34,78	33,61	33,49	32,67	28,82	29,54	29,4	29,8	30,53
Δp [mmWS]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$$1.) \quad \overline{T_L} = \frac{37,92^\circ\text{C} + 24,51^\circ\text{C}}{2} = \underline{31,22^\circ\text{C}}$$

$$2.) \quad \dot{V}_L = \dot{V}_{L,N} \cdot \frac{T_L}{T_{L,N}} = 25,5 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \cdot \frac{(273+31,22)\text{K}}{273\text{K}} \\ = \underline{28,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$3.) \quad \dot{m}_L = \frac{\dot{V}_L \cdot p}{R_{sp} \cdot T} = \frac{28,42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 101325 \text{Pa}}{0,29 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot (31,22+273)\text{K}} \\ = \underline{9,07 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

$$4.) \quad \dot{Q} = \dot{m}_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta T_L \\ = 9,07 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (37,92-24,51)\text{K} \\ = \underline{122,2 \text{ W}}$$

$$5.) \quad \int_{H_2O} (T_{h,0}) = 1005,7 - 0,375 \cdot T [^\circ\text{C}] \\ \int_{H_2O} (30,7^\circ\text{C}) = 1005,7 - 0,375 \cdot 30,7 \\ = \underline{986,1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}$$

$$6.) \quad \dot{m}_{H_2O} = \int_{H_2O} \cdot \dot{V}_{H_2O} \\ = 986,1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 0,385 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \\ = \underline{0,11 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

$$7.) \Delta T_{H_2O} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}}} = \frac{122,2 \text{ W}}{0,11 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4185 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 0,27 \text{ K}$$

$$8.) T_{\alpha_{H_2O}} = T_{w_{H_2O}} + \Delta T_{H_2O} = 54,5 \text{ K} + 0,27 \text{ K} \\ = \underline{54,77 \text{ K}}$$

$$\hookrightarrow \bar{T}_{H_2O} = \frac{T_{\alpha_{H_2O}} + T_{w_{H_2O}}}{2} = \frac{54,5 \text{ K} + 54,77 \text{ K}}{2} = \underline{54,64 \text{ K}}$$

$$9.) \Delta NTD = \frac{\Delta T_A - \Delta T_B}{\ln\left(\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}\right)} = \frac{(54,5^\circ\text{C} - 24,51^\circ\text{C}) - (54,77^\circ\text{C} - 37,92^\circ\text{C})}{\ln\left(\frac{54,5^\circ\text{C} - 24,51^\circ\text{C}}{54,77^\circ\text{C} - 37,92^\circ\text{C}}\right)} \\ = \underline{22,79 \text{ K}}$$

$$10.) U_a = \frac{Q}{\Delta NTD \cdot A} = \frac{122,2 \text{ W}}{22,79 \text{ K} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot \pi \cdot 0,0213 \text{ m}} \\ = \underline{100,123 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}$$

Wasserseite

$$11.) \quad d_H = D_i - d_a = 0,0237 \text{ m} - 0,0213 \text{ m} \\ = \underline{0,0084 \text{ m}}$$

$$12.) \quad A_{H_2O}(\text{Ringfläche}) = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i^2 - d_a^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,0237^2 - 0,0213^2) \\ = \underline{3,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$13.) \quad w_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O}}{A_{H_2O}} = \frac{0,385 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \underline{0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$14.) \quad v_{H_2O}(T) = \exp(-13,2883 - 0,02806 \cdot T + 1,123 \cdot 10^{-4} \cdot T^2) \\ v_{H_2O}(54,64^\circ\text{C}) = \underline{5,11 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$15.) \quad Re_{H_2} = \frac{d_H \cdot w_{H_2O}}{v_{H_2O}} = \frac{0,0084 \text{ m} \cdot 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5,11 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = \underline{5,22 \cdot 10^3}$$

$$16.) \quad z_{H_2O}(54,64^\circ\text{C}) = \underline{986,1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}$$

$$17.) \quad \lambda_{H_2O}(T) = 2,0107 + 0,00761 \cdot T + 3,347 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \\ \lambda_{H_2O}(54,64^\circ\text{C}) = \underline{0,65 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}$$

$$\begin{aligned}
 18.) \quad Pr_{H_2O} &= \frac{c_{p,H_2O} \cdot \dot{V}_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}}{\lambda_{H_2O}} \\
 &= \frac{4185 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 5,11 \cdot 10^{-7} \frac{m^3}{s} \cdot 986,1 \frac{kg}{m^3}}{0,65 \frac{W}{m \cdot K}} \\
 &= \underline{3,27}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 19.) \quad Nu_{H_2O} &= 0,023 \cdot (Re^2 \cdot Pr)^{0,4} \\
 &= 0,023 \cdot (5,22 \cdot 10^3)^2 \cdot 3,27^{0,4} \\
 &= \underline{35}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 20.) \quad \alpha_{H_2O,a} &= \frac{Nu_{H_2O}}{d_H \cdot \lambda_{H_2O}} = \frac{35}{0,0084m} \cdot 0,65 \frac{W}{m \cdot K} \\
 &= \underline{2677 \frac{W}{m^2 \cdot K}}
 \end{aligned}$$

Luftseite

$$\begin{aligned}
 21.) \quad A_L \text{ (Kreisinnenfläche)} &= \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (0,0173m)^2 \\
 &= \underline{2,35 \cdot 10^{-4} m^2}
 \end{aligned}$$

$$22.) \quad w_L = \frac{\dot{V}_L}{A_L} = \frac{28,42 \frac{m^3}{h}}{2,35 \cdot 10^{-4} m^2} = \underline{33,58 \frac{m}{s}}$$

23.)

$$v_L(T) = 13323 \cdot 10^{-5} + 8,74 \cdot 10^{-8} \cdot T + 1,02 \cdot 10^{-10} \cdot T^2$$

$$v_L(37,22^\circ C) = \underline{1,614 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s}}$$

Seite 9

$$24.) Re_L = \frac{d_i \cdot v_L}{\nu_L} = \frac{0,0173 \text{ m} \cdot 33,58 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,614 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 3,60 \cdot 10^4$$

$$25.) f_L(T) = \frac{p}{R_{sp} \cdot T} = \frac{101325 \text{ Pa}}{0,29 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (31,22 + 273) \text{ K}} = 1,149 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$26.) \lambda_L(T) = 0,0876 + 2,46 \cdot 10^{-4} \cdot T + 1,12 \cdot 10^{-7} \cdot T^2$$

$$\lambda_L(31,22^\circ\text{C}) = 0,0265 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$27.) Pr_L = \frac{c_{p,L} \cdot \nu_L \cdot f_L}{\lambda_L} = \frac{1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,614 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 1,149 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,0265 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 0,70$$

$$28.) \alpha_{L,i} = \left[\left(\frac{1}{Nu_a} - \frac{d_a}{2 \cdot \lambda_{st}} \cdot \ln \left[\frac{d_a}{d_i} \right] - \frac{1}{\alpha_{a,180}} \right) \cdot \frac{d_i}{d_a} \right]^{-1}$$

$$= \left[\left(\frac{1}{100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} - \frac{0,0213 \text{ m}}{2 \cdot 15,6 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \cdot \ln \left[\frac{0,0213 \text{ m}}{0,0173 \text{ m}} \right] - \frac{1}{2677 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} \right) \cdot \frac{0,0173 \text{ m}}{0,0213 \text{ m}} \right]^{-1}$$

$$= 130 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$29.) Nu_L = \frac{\alpha_{L,i} \cdot d_i}{\lambda_L} = \frac{130 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 0,0173 \text{ m}}{0,0265 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = \underline{\underline{85}}$$

$$30.) \ln(Re_x^2 \cdot Pr_x) = \ln([3,6 \cdot 10^4]^2 \cdot 0,7) = \underline{20,63}$$

$$\ln(Nu_x) = \ln(85) = \underline{4,44}$$

Tab. 3: Berechnete Daten der Wärmeübertrager

Messwert	M11	M12	M13	M14	M15	M41	M42	M43	M44	M45	M61	M62	M63	M64	M65
$\dot{V}_L \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$	28,42	12,21	21,02	24,27	17,58	28,03	22,06	16,66	13,54	11,41	27,15	21,50	17,46	13,21	10,82
$\dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$	0,39	0,40	0,42	0,42	0,43	0,42	0,43	0,41	0,42	0,44	0,43	0,43	0,41	0,42	0,42
$\overline{T}_L \text{ [}^\circ\text{C]}]$	54,64	57,08	50,68	55,24	55,94	54,78	54,77	54,78	53,85	55,87	56,04	56,36	55,85	55,74	55,14
$\rho_{\text{H}_2\text{O}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	986,10	984,94	987,88	985,82	985,49	986,03	986,03	986,03	986,46	985,52	985,44	985,29	995,08	985,58	985,87
$\rho_L \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	1,15	1,15	1,16	1,17	1,16	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
$m_{\text{H}_2\text{O}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$	9,07E-03	3,91E-03	6,79E-03	7,86E-03	5,69E-03	8,96E-03	7,07E-03	5,37E-03	4,37E-03	3,70E-03	8,85E-03	7,00E-03	5,69E-03	4,30E-03	3,52E-03
$m_{\text{H}_2\text{O}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12
$\dot{Q} \text{ [W]}$	122,18	75,11	97,79	137,79	104,79	77,25	73,02	58,27	52,60	45,11	73,93	64,33	51,34	40,68	35,97
$\Delta T_{\text{H}_2\text{O}} \text{ [K]}$	0,27	0,16	0,20	0,28	0,21	0,16	0,15	0,12	0,11	0,09	0,15	0,13	0,11	0,08	0,07
$T_{\text{H}_2\text{O},\alpha} \text{ [K]}$	54,77	57,16	50,78	55,38	56,04	54,86	54,85	54,84	53,91	55,92	56,12	56,43	55,91	55,78	55,17
$\overline{T}_{\text{H}_2\text{O}} \text{ [K]}$	54,64	57,08	50,68	55,24	55,94	54,78	54,77	54,78	53,85	55,87	56,04	56,36	55,85	55,74	55,14
$LNTD \text{ [K]}$	22,79	25,97	22,57	27,54	27,94	23,82	24,79	26,21	25,90	28,86	31,20	31,18	30,73	30,41	29,40
$U_a \text{ [W/m}^2\text{/K]}$	100,12	54,01	80,92	93,46	70,06	38,29	34,78	26,25	23,98	18,46	88,52	77,09	62,41	49,98	45,71
$d_H \text{ [m]}$	8,40E-03	8,40E-03	8,40E-03	8,40E-03	8,40E-03	1,06E-02	1,06E-02	1,06E-02	1,06E-02	1,06E-02	8,40E-03	8,40E-03	8,40E-03	8,40E-03	8,40E-03
$A_{\text{H}_2\text{O}} \text{ [m}^2\text{]}$	3,36E-04	3,36E-04	3,36E-04	3,36E-04	3,36E-04	6,49E-04	6,49E-04	6,49E-04	6,49E-04	6,49E-04	3,36E-04	3,36E-04	3,36E-04	3,36E-04	3,36E-04
$w_{\text{H}_2\text{O}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$	0,32	0,33	0,35	0,35	0,36	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,36	0,36	0,34	0,35	0,34
$Re_{\text{H}_2\text{O}} \text{ [-]}$	5,22E+03	5,65E+03	5,32E+03	5,78E+03	5,96E+03	3,75E+03	3,78E+03	3,66E+03	3,68E+03	3,93E+03	5,97E+03	6,05E+03	5,71E+03	5,81E+03	5,70E+03
$Pr_{\text{H}_2\text{O}} \text{ [-]}$	3,27	3,13	3,51	3,23	3,19	3,26	3,26	3,26	3,31	3,19	3,18	3,17	3,23	5,34	3,24
$Nu_{\text{H}_2\text{O}} \text{ [-]}$	34,79	36,42	36,34	37,57	38,35	26,67	26,83	26,17	26,44	27,49	38,37	38,65	37,19	46,13	37,19
$\alpha_{\text{H}_2\text{O},a} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \right]$	2677	2814	2777	2893	2957	1627	1636	1596	1610	1680	2959	2982	2867	3556	2864
$d_i \text{ [m]}$	1,73E-02	1,73E-02	1,73E-02	1,73E-02	1,73E-02	2,97E-02	2,97E-02	2,97E-02	2,97E-02	2,97E-02	1,73E-02	1,73E-02	1,73E-02	1,73E-02	1,73E-02
$A_L \text{ [m}^2\text{]}$	2,35E-04	2,35E-04	2,35E-04	2,35E-04	2,35E-04	6,93E-04	6,93E-04	6,93E-04	6,93E-04	6,93E-04	2,35E-04	2,35E-04	2,35E-04	2,35E-04	2,35E-04
$w_L \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$	33,58	14,43	24,83	28,68	20,78	11,24	8,85	6,68	5,43	4,58	32,08	25,41	20,63	15,61	12,79
$Re \text{ Luft [-]}$	3,60E+04	1,56E+04	2,72E+04	3,15E+04	2,28E+04	2,07E+04	1,64E+04	1,25E+04	1,02E+04	8,65E+03	3,57E+04	2,82E+04	2,29E+04	1,73E+04	1,42E+04
$Pr_L \text{ [-]}$	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	7,03E-01	7,03E-01	7,03E-01	7,03E-01	7,04E-01	7,04E-01	7,04E-01	7,04E-01	7,04E-01	7,04E-01
$\alpha_{L,i} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \right]$	130,0	68,3	103,9	120,6	89,3	44,7	40,5	30,4	27,7	21,2	113,8	98,5	79,3	62,9	57,6
$Nu_L \text{ [-]}$	85	45	68	80	59	50	46	34	31	24	76	65	53	42	38
$\ln((Re_L)^2 \cdot Pr_L)$	20,63	18,95	20,07	20,37	19,72	19,53	19,06	18,52	18,11	17,78	20,62	20,15	19,73	19,17	18,77
$\ln(Nu_L)$	4,44	3,80	4,23	4,38	4,08	3,92	3,82	3,54	3,45	3,18	4,33	4,18	3,96	3,73	3,64

Um die verschiedenen Wärmetauscher vergleichen zu können und ein Optimum für den Betrieb des Wärmetauschers zu verfolgen, wird eine Linearisierung der NUSSELT-Gleichung mit den Parametern a und b vorgenommen (siehe Gl.(Geradengleichung)). Diese werden für die verschiedenen Versuchsbedingungen und Wärmetauscher im Diagramm Abb. 2 aufgetragen.

$$y = m \cdot x + n \quad (\text{Geradengleichung})$$

$$Nu = a \cdot (Re^2 \cdot Pr)^b \quad (\text{logarithmieren})$$

$$\ln(Nu) = \ln(a) + b \cdot \ln(Re^2 \cdot Pr) \quad (11)$$

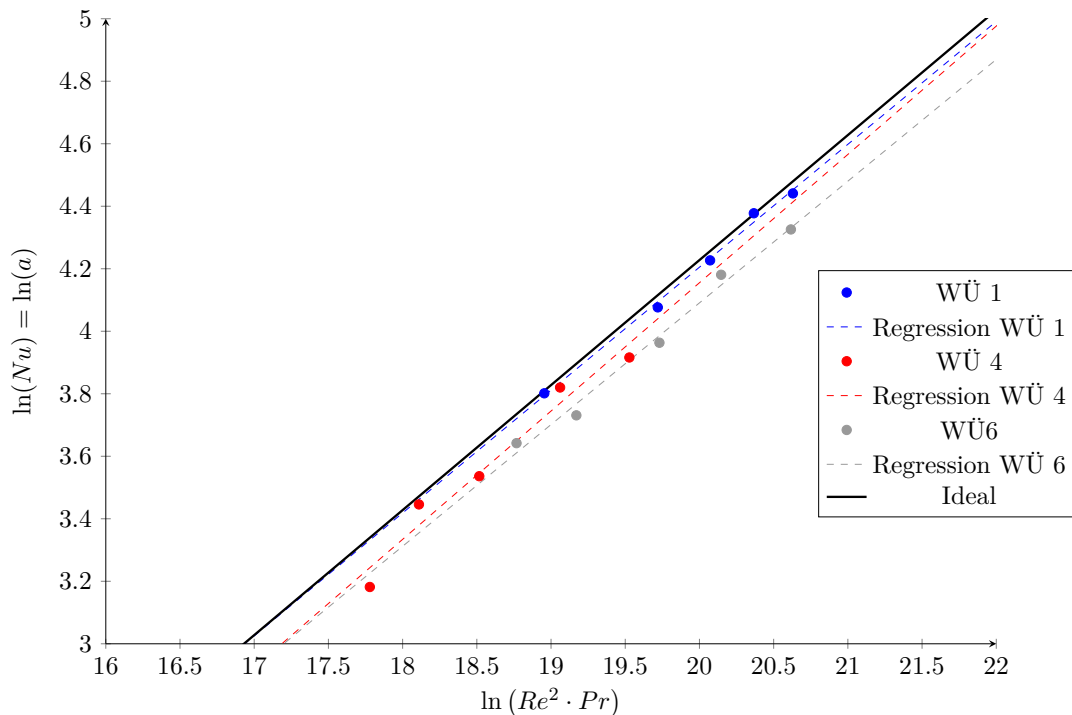


Abb. 2: linearisierte NUSSELT-Gleichung in Abhängigkeit von Re , Pr , a und b

Tab. 4: NUSSELT-Koeffizienten a und b bestimmt aus Abb. 2 mittels Anstieg b und Achsenabschnitt $\ln(a)$

	WÜ 1	WÜ 4	WÜ 6	Ideal
$\ln(a)$	-3,66	-4,06	-3,70	-3,77
a	0,026	0,017	0,025	0,023
b	0,39	0,41	0,39	0,4
R^2	0,929	0,968	0,827	1,000

Das Bestimmtheitsmaß Daten in Tab. 4 gibt an, dass R^2 zwischen 0,827 und 0,968 liegt. Dadurch sind starke Abweichungen zu erkennen, die im Präsenzpraktikum zumindest für WÜ 6 wiederholt werden sollte. Ansonsten lässt sich aus Abb. 2 erkennen, dass die Regressionsgeraden von WÜ 1 am nächsten an der idealen Geraden anliegt.

5 Diskussion

Werden die geometrischen Daten aus Tab. 1 von WÜ 1 mit WÜ 4 und WÜ 6 verglichen so lässt sich feststellen, dass sich WÜ 1 und WÜ 4 im Durchmesser und WÜ 1 und WÜ 6 lediglich in der Länge des Rohres unterscheiden. Aufgrund der Tatsache, dass WÜ 6 die vergleichsweise schlechteste Wärmeübertragung aufweist, lässt sich die Vermutung aufstellen, dass die Rohrlänge einen deutlich höheren Einfluss auf die Effizienz der Rohrwärmetauscher hat, als der Durchmesser. Zudem ergibt sich, dass im Vergleich von WÜ 4 und WÜ 6 ein größerer Rohrquerschnitt eine kürzere Rohrlänge unter Umständen kompensieren könnte. Als eindeutige Erkenntnisse aus diesem Versuch gehen hervor, dass vorrangig der luftseitige Wärmeübergang den Charakter der Wärmeübertragung bestimmt und das WÜ 1 am nächsten an dem idealen Prozess dafür liegt.

Um die beschriebenen Vermutungen bezüglich Rohrlänge und Rohrquerschnitt verifizieren zu können, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden.