



PRAKTIKUM THERMISCHE MESSTECHNIK

TEIL 4: DRUCKVERLUST UND HYDRAULISCHER ABGLEICH

Lena Völlinger & Marvin Grosch

Praktikumstag:	07.09.2020
Erstabgabe:	05.10.2020
Betreuer:	Markus Rusack & Christoph Schmelzer
Studiengang:	Master re ²
Semester:	SoSe 2020
Matrikelnr.:	35597894, 35598242

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
2 Versuchsauswertung	1
2.1 Versuch 1: Druckverluste	1
2.2 Versuch 2: Hydraulischer Abgleich	2
2.2.1 Berechnung der Ventilkennlinie für das Strangventil 2	2
2.2.2 Hydraulischer Abgleich durch Ausprobieren und mit Kompensationsmethode	3
2.2.3 Tichelmannschaltung	4

Abbildungsverzeichnis

1 Druckverluste in Abhängigkeit der eingestellten Volumenströme für den Vakuum- röhrensammler des Solarkollektors	1
2 Ventilkennlinie des Strangventils 2	3
3 Ventilkennlinie des Strangventils 2	5

1 Einleitung

Für den Versuch Druckverlust und hydraulischer Abgleich sollte der Druckverlust, der bei realen Rohrleitungssystemen durch Rohrreibungs- und Strömungseffekte entsteht, für einen Vakuumröhrensammler eines Solarkollektors messtechnisch und rechnerisch untersucht werden. Im zweiten Teil des Versuchs wurde ein hydraulischer Abgleich einer hydraulischen Schaltung bestehend aus drei parallel geschalteten Strängen erst durch ausprobieren und anschließend mittels Kompensationsmethode vorgenommen werden.

Es sollte zusätzlich eine Ventilkennlinie für eines der Strangventile ermittelt werden und eine Verschaltung nach Tichelmann untersucht werden.

2 Versuchsauswertung

2.1 Versuch 1: Druckverluste

Für den ersten Versuch wurde der solarthermische Sammler eines Vakuumröhrenkollektors in den Versuchsstand eingebaut und der Druckverlust bei vier verschiedenen Volumenströmen gemessen. Mit Hilfe der Bernoulligleichung 1 und dem im Praktikum angegebenen ζ -Werten wurden zusätzlich die Druckverluste für die eingestellten Volumenströme berechnet. Die experimentell ermittelten Druckverluste und die berechneten Druckverlustwerte wurden in der folgenden Abbildung 1 abgebildet.

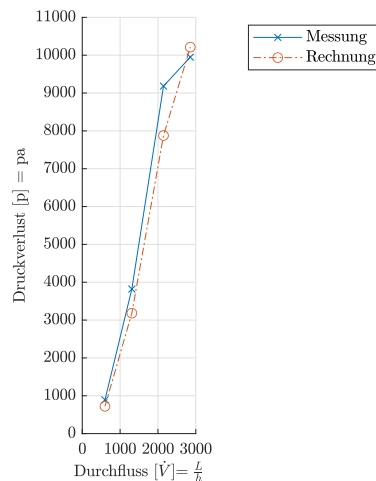


Abb. 1: Druckverluste in Abhängigkeit der eingestellten Volumenströme für den Vakuumröhrensammler des Solarkollektors.

$$p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{\rho}{2} v^2 \lambda \frac{l}{D} + \frac{\rho}{2} v^2 \cdot \zeta \quad (1)$$

Die experimentell ermittelten Druckverluste sind größer als die berechneten. Diese Abweichungen der berechneten Daten von der Realität kommt durch verschiedene Effekte zustande. Die Bernoulligleichung ist in ihrer Formulierung nur für stationäre Strömungen anzunehmen. Unter Anderem wird die Verkettung der den Hauptströmungsweg kreuzenden Röhren nicht berücksichtigt. Es

wird bei der Anströmung jedes einzelnen Röhrchens von einer idealen stationären Anströmung ausgegangen, was in der gegebenen Anordnung nicht der Fall ist. Mit

$$\Delta p_{\text{Sammler}} = \Delta p_{\text{gesamt}} - \Delta p_{\text{Beruhigungsstrecke}} \quad (2)$$

Werte siehe Tabelle 1

$$\lambda = \frac{\Delta p_V}{q} \cdot \frac{D_{\text{Hyd}}}{l} \quad (3)$$

und

$$\zeta = \sum \zeta_i = 2 \cdot \zeta_{\text{Ang}} + \zeta_{\text{QuerRohr}} = 0,960 \quad (4)$$

berechnet sich ζ_M des Sammlers zu

$$\zeta_M = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{V}_i \cdot \zeta_i}{\sum_{i=1}^n \dot{V}_i} = 3,9163 \quad (5)$$

Tabelle 1: Gesamtdruckverluste und Druckverlust der DN-20 Beruhigungsstrecke.

Nenndurchfluss $[\dot{V}] = \frac{1}{h}$	Gesamtdruckverlust $[p] = \text{Pa}$	Druckverlust DN-20 $[p] = \text{Pa}$
600	968,1	76,12
1310	4176	354,97
2147	10068	884,4
2855	11450	1501,8

Die verwendete Berechnungsvorschrift für die ζ -Werte und Druckverluste befindet sich in Listing DRUCKVERLUST.M Zeile 12-48 und 68ff. Der theoretische ζ -Wert für ein kreuzendes Röhrchen wurde nach Abbildung 6.1 des Praktikumsskripts zu 0,5 bestimmt. Die theoretischen ζ -Werte für die Winkelaufweitung wurden den Vorlesungsunterlagen Fluidodynamik entnommen, und pro Winkeländerung zu 0,08 bestimmt.

2.2 Versuch 2: Hydraulischer Abgleich

2.2.1 Berechnung der Ventilkennlinie für das Strangventil 2

Für die Aufnahme der Ventilkennlinie wurden zunächst das Strangventils 2 vollständig geöffnet (Strangventil 1 und 3 vollständig geschlossen) und nach einer Volumenstromereinstellung von 500 l/h das Ventil schrittweise geschlossen. In der folgenden Abbildung 2 wurde der Druckverlust in Abhängigkeit des Durchflusses aufgetragen.

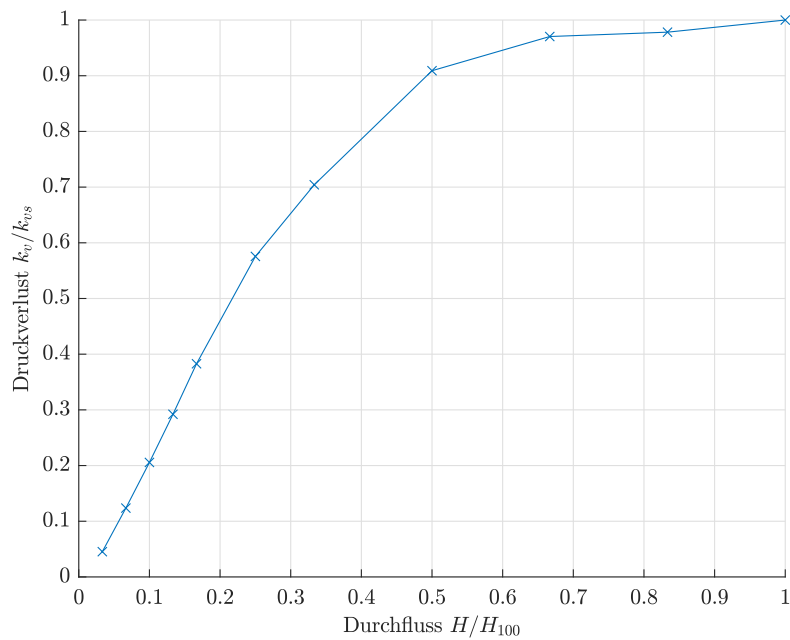


Abb. 2: Ventilkennlinie des Strangventils 2.

Wird das Ventil langsam zugeschraubt, verringert sich bis zu einer Ventilstellung von 3,0 der Durchfluss nur gering. Erst bei kleinen Ventilöffnungen kommt es zu einer überproportionalen Verringerung des Durchflusses. Die ermittelte Ventilkennlinie kommt der im Praktikumsskript gegebenen Kennlinie für das Ventil des Herstellers Oventrop am nächsten.

2.2.2 Hydraulischer Abgleich durch Ausprobieren und mit Kompensationsmethode

In dem Versuchsteil hydraulischer Abgleich durch Ausprobieren wurde versucht, eine Schaltung von drei parallelen Strängen durch ausprobieren auf die selben Volumenströme zu bringen. Es wurde über das Pumpen- und Bypass-Ventil zunächst ein Volumenstrom von 2000 l/h bei vollständig geöffneten Strangventilen 1-4 eingestellt. Anschließend wurde der Volumenstrom des obersten Strangventils 1 als Soll-Wert angenommen und die anderen Ventile darauf eingestellt. Es wurden folgende Volumenströme und Ventilstellungen ermittelt:

Tabelle 2: Notierte Ventilstellungen und Volumenströme.

Ventil	Volumenstrom in $\frac{l}{h}$	Ventilstellung nach Abgleich
1	375	3,75
2	610	3,25
3	762	2,75

Bei der Kompensationsmethode wurden alle Strangventile sowie das Partnerventil auf den Wert 1,0 voreingestellt.

Tabelle 3: Ventilstellungen nach Kompensationsmethode.

Durchlauf	Ventil 1		Ventil 2		Ventil 3		Partner
	\dot{V} in $\frac{l}{h}$	Pos	\dot{V} in $\frac{l}{h}$	Pos	\dot{V} in $\frac{l}{h}$	Pos	
init	330	1	450	1	700	1	1
1	300	1	280	0,55	605	1	0,72
2	330	1	330	0,68	NaN	1	0,8
3	330	1	330	0,68	330	0,42	0,6

Im letzten Schritt wurde der Eingangsdruck reduziert um zu sehen, ob der hydraulische Abgleich auch bei schwankenden Eingangsvolumenströmen funktioniert. Dieser ist durch das Verstellen der Ventile ohnehin bereits auf 900l/h gesunken.

Tabelle 4: Teilvolumenströme bei Reduktion des Gesamtdurchflusses.

\dot{V}_{Pumpe} in $\frac{l}{h}$	\dot{V}_1 in $\frac{l}{h}$	\dot{V}_2 in $\frac{l}{h}$	\dot{V}_3 in $\frac{l}{h}$
800	270	205	260
700	234	230	223
600	205	200	190

Bei der Reduktion des Eingangsvolumenstroms versagt der hydraulische Abgleich nach der hier angewandten Methodik. In der Praxis wird daher der Druckverlust anstelle des Volumenstroms am Ventil als Referenzgröße genutzt. Bei der Methode durch Ausprobieren wurden die optimalen Einstellungen durch immer kleiner werdende Änderungen der Ventilstellungen ermittelt. Diese Methode ist generell nicht praxistauglich, da sie zu viele iterative Schritte benötigt und schlichtweg zu viel Zeit beansprucht.

2.2.3 Tichelmannschaltung

Bei der Schaltung nach Tichelmann wurde über das Pumpen- und Bypassventil wieder ein Volumenstrom von 2000l/h eingestellt und anschließend die Volumenströme für alle drei Strangventile durch die Vortex-Durchfluss-Sensoren gemessen. In der folgenden Abbildung 3 wurde der Durchfluss aller drei Sensoren der unterschiedlichen Stränge über einen Zeitraum von ca. 60s gemessen.

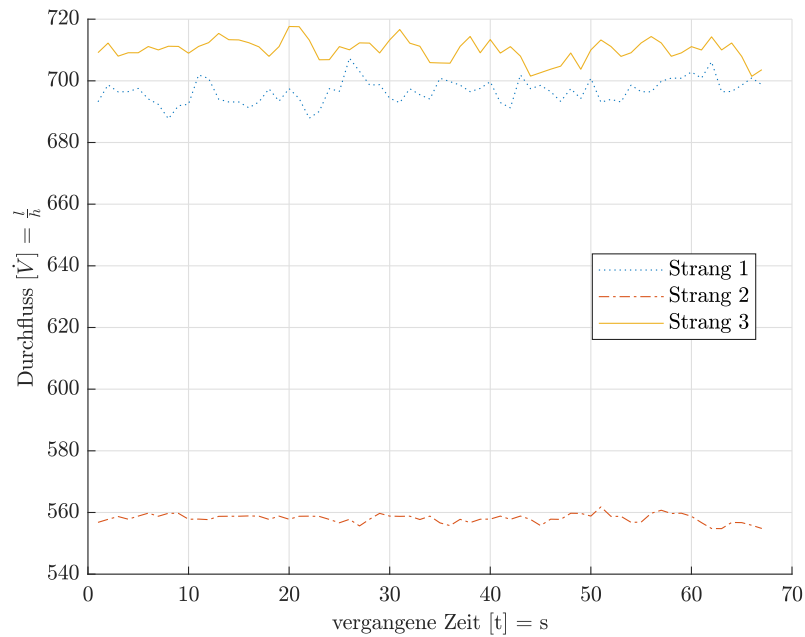


Abb. 3: Ventilkennlinie des Strangventils 2.

Durch eine Schaltung nach Tichelmann wird der theoretische Weg des Fluids durch alle drei Ventile gleich lang, sodass im Idealfall der Durchfluss für alle drei Ventile gleich sein sollte. In der Realität ist dies trotzdem nicht der Fall, da sich die Bauteile der Rohrleitung nicht ideal verhalten. In den Strängen 1 und 3 können annähernd gleiche Durchflussraten von 700 l/h bis 710 l/h erhalten werden. Für die Durchflussrate in Strang 2 wurde eine um ca. 150 l/h verringerte Durchflussrate ermittelt. Strangventil zwei wird im Gegensatz zu Strangventil 1 und 3 über zwei T-Stücke an die Tichelmannschaltung angeschlossen, die zu einen deutlich größeren Druckverlust am abzweigenden Strang des T-Stückes und damit zu einer geringeren Durchflussrate führen. Strang 1 und drei weisen hingegen nur Winkelstücke an den Kurven auf und unterscheiden sich untereinander dadurch weniger.