



**Staatliche Technikerschule Berlin**

**Laborbericht**

**Ermittlung von Pumpenkennlinien**

Versuchsdurchführende:

Thomas Fritsch

Rayk Fleischfresser

Lutz Willek

THK 3, Gruppe 3, Sommersemester 2005

# **Ermittlung von Pumpenkennlinien**

## **Laborübung 1**

### **Gruppe 3**

**Datum:** 17.04.05

**Teilnehmer:** Thomas Fritsch, Rayk Fleischfresser, Lutz Willek

**Betreuer:** Herr Tham

**Ort:** Staatliche Technikerschule Berlin

**Messprotokoll erstellt am:** 05.04.05

**Von:** Thomas Fritsch, Rayk Fleischfresser, Lutz Willek

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung des Laborversuches.....	Seite 3
Abbildungsverzeichnis.....	Seite 3
Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Indizes.....	Seite 3
Aufgabenstellung.....	Seite 4
Versuchsaufbau.....	Seite 4
Verwendete Pumpen und Messgeräte.....	Seite 4
Anlagenschema.....	Seite 7
Versuchsdurchführung.....	Seite 8
Ablauf.....	Seite 8
Auswertung und Schlussbetrachtungen.....	Seite 9
Quellenverzeichnis.....	Seite 16

## Zusammenfassung des Laborversuches

Der Laborversuch diente dazu, die Zusammenhänge zwischen Druck und Volumenstrom bei unterschiedlichen Pumpen beziehungsweise Anlagenkonstellationen aufzuzeigen und somit das im Unterricht erworbene Fachwissen praxisnah zu vertiefen. Dazu stand ein Pumpenmessplatz der Staatlichen Technikerschule in Berlin zur Verfügung.

Desweiteren musste ein ausführliches Messprotokoll und Diagramme der der aus diesen Daten gewonnenen Pumpenkennlinien angefertigt werden, so das man es einen Kunden hätte übergeben können. Zusätzlich wurden aus den gemessenen Daten die Rohrnetzkenlinien des Messplatzes sowie die Widerstands beziehungsweise die Rückflusskennlinien bei Schaltungen von ungleichen Pumpen ermittelt. Es wurde deutlich das, eine Anlagenanpassung durch eine theoretisch passende Pumpe in der Praxis große Fehler zur Folge hat, da die Rückflusskennlinien bei ungleichen Pumpen nicht beachtet wurden.

Da solche Protokolle unter Umständen auch im späteren Berufsleben eine Rolle spielen, ist das erstellen des Laborberichtes eine sehr gute Übung gewesen.

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Schnittzeichnung Wilo- Pumpe, pumpen.pdf, Seite 4  
<http://www.stb-hks.de/user-thk-ahk/labor.phtml>

Bild 2: Firma Kirchner und Tochter, Datenblatt  
[http://www.kt-web.de/pdf/Datenbl/RAFA665\\_de\\_A4.pdf](http://www.kt-web.de/pdf/Datenbl/RAFA665_de_A4.pdf)

Bild 3: Firma Kirchner und Tochter, Datenblatt  
[http://www.kt-web.de/pdf/Datenbl/RAFA65\\_de\\_A4.pdf](http://www.kt-web.de/pdf/Datenbl/RAFA65_de_A4.pdf)

Bild 4: Anlagenschema, gezeichnet von Rayk Fleischfresser, verwendete Zeichen aus Tabellenbuch, 4. Auflage, Ihle, Bader, Golla S.53 ff. und Taschenbuch für Heizung und Klima Technik 2000, Recknagel / Sprenger / Schramek )

## Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Indizes

$\dot{V}$	Volumenstrom in l/ min oder m <sup>3</sup> / h
$\Delta p$	Druckdifferenz in bar
U/ min	Umdrehungen pro Minute
l/ min	Liter pro Minute
m <sup>3</sup> / h	Kubikmeter pro Stunde

## Aufgabenstellung

Für verschiedene Pumpen bzw. Pumpenschaltungen sind die zugehörigen Kennlinien aufzunehmen und in Diagrammen der Form  $\Delta p = f(\dot{V})$  darzustellen. Im Einzelnen soll gemessen und entsprechende Diagramme erstellt werden zu:

- große Einzelpumpe (Pumpe 1)
- kleine Einzelpumpe (Pumpe 3)  
Die Darstellung erfolgt gemeinsam in einem Diagramm.
- Parallelschaltung gleicher Pumpen, Pumpe 1 und 2 bei 2000 U/ min
- Reihenschaltung gleicher Pumpen, Pumpe 1 und 2 bei 2000 U/ min
- Parallelschaltung ungleicher Pumpen, Pumpe 1 bei 2400 U/ min und Pumpe 3
- Reihenschaltung ungleicher Pumpen, Pumpe 1 bei 2400 U/ min und Pumpe 3  
Die Darstellung erfolgt jeweils in einzelnen Diagrammen.
- Die Anlagenkennlinien  
Die Darstellung erfolgt als Eintrag in die jeweiligen Diagramme.

## Versuchsaufbau

Als Messplatz diente die Pumpentafel im Raum 120 der Staatlichen Technikerschule in Berlin. Die verwendeten Pumpen und Messgeräte sind fest am Messplatz eingebaut.

## Verwendete Pumpen und Messgeräte

Folgende Pumpen wurden verwendet:

Pumpe 1: Nassläuferpumpe der Firma Wilo, Nr. 865997/ 813.1

Pumpe 2: Nassläuferpumpe der Firma Wilo, Nr. 865997/ 813.1

Pumpe 3: Nassläuferpumpe der Firma Wilo, Nr. 447993/ 794

Die genauen Typbezeichnungen der Pumpen wurden unkenntlich gemacht.

Folgende Messgeräte wurden während des Versuches verwendet:

Schwebekörperdurchflussmesser: Firma Kirchner und Tochter, Typ RA 65, Nr. 32329/ 82

Differenzdruckmanometer: Typ und Hersteller nicht erkennbar

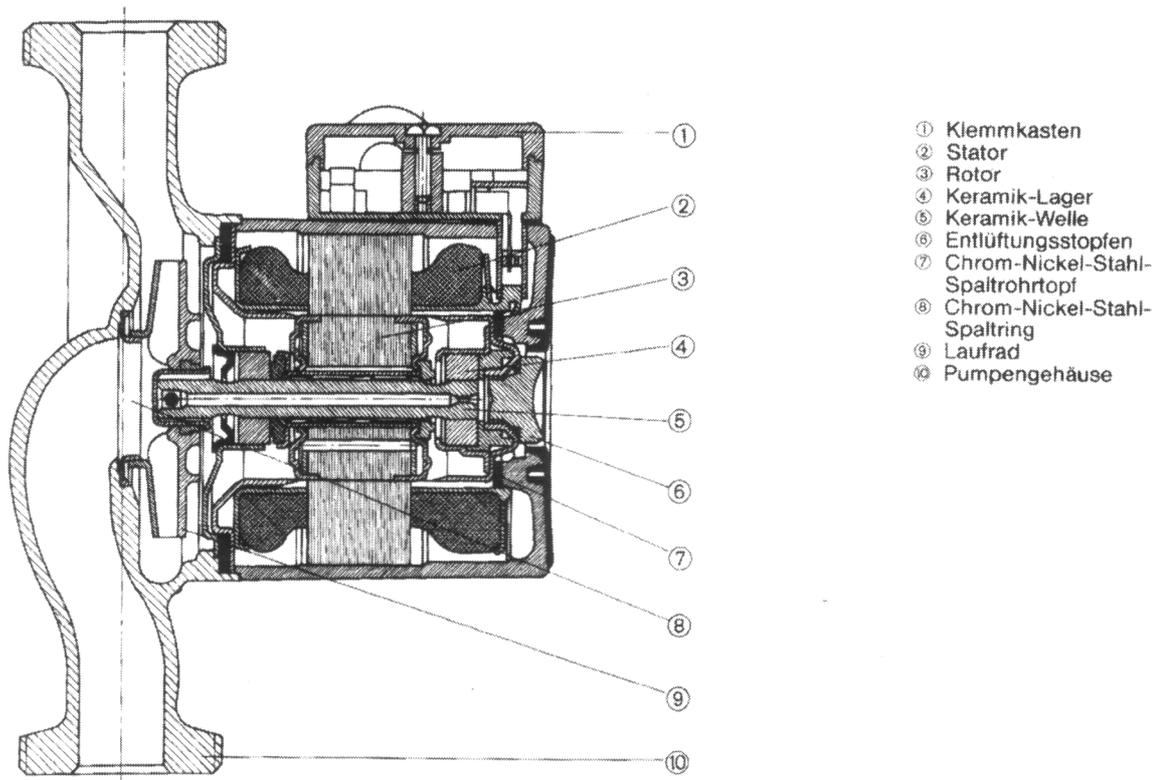


Bild 1: Schnittzeichnung Wilo- Pumpe

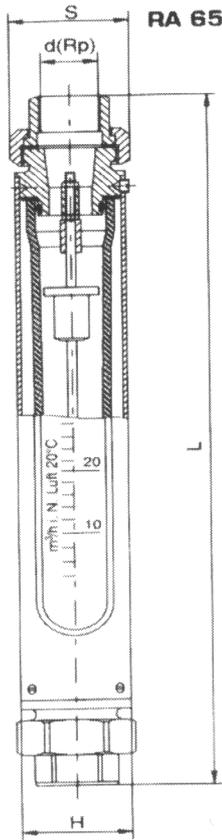


Bild 2: Schnittzeichnung Schwebekörperdurchflussmesser, Firma Kirchner und Tochter

Auf dieser Zeichnung wird ein Modell für Luftmessung dargestellt.

### Technische Daten

Nenndruckstufe	FA 65: PN 10 bei 20 °C RA 65: PN 10 bei 20 °C
max. Betriebsdruck	siehe Tabelle Messbereiche auf Seite 3
Temperaturbeständigkeit	80 °C, optional: 100 °C
Umgebungstemperatur	90 °C
Messspanne	1:10
Genauigkeitsklasse	1,6 nach VDI/VDE 3513
Anschluss RA 65	Zweiteilige Rohrverschraubung: Einlegeteil mit zylindrischem Innengewinde nach ISO 7-1
Anschluss FA 65	Flansche PN 10 nach DIN 2501, andere (ANSI, JIS, ...) auf Anfrage

### Materialien

Schutzhülse	Präzisionsrohr aus Stahl St. 35
Köpfe RA 65	Grauguss, Größe 9,5 Stahl
Verschraubung	Temperguss verzinkt
Flansche FA 65	Grauguss, Größe 9,5 Stahl
Messglas	Borosilicatglas (Duran)
Splitterschutz	Plexiglas XT
Dichtungen	Standard NBR optional Viton, EPDM, Silikon
Schwebekörper für Flüssigkeiten <sup>1)</sup>	Standard: 1.4571 optional: PVC, PP, PVDF oder PTFE mit Bleikern
Schwebekörper für Gase <sup>1)</sup>	Standard: Aluminium optional: PVC, PP, PTFE, PVDF oder 1.4571
bei Grenzwertkontakten <sup>1)</sup>	Standard: 1.4571 mit Magnetkern oder PVC mit Magnetkern

Bild 3: Technische Daten und Messbereiche des RA 65

### Messbereiche (min. und max. Messbereich; alle Zwischenmessbereiche möglich)

Größe	Messbereich m³/h H <sub>2</sub> O	Messbereich m³/h i.N. Luft <sup>1)</sup>	RA 65 Rohrverschraubung	FA 65 Flansch- anschluss DN	max. Betriebsdruck in bar bei 20 °C
9,5	0,5 – 5 l/h	0,006 – 0,06	Rp 1/4	10	10
	20 – 200 l/h	0,3 – 3,3	Rp 1/4	15	
			Rp 1/2		
19	0,012 – 0,12	0,15 – 1,5	Rp 1/2	10	10
	0,12 – 1,2	1,6 – 16	Rp 3/4	15	
			Rp 1	20	
				25	
30	0,1 – 1	1,3 – 13	Rp 1	25	10
	0,3 – 3	3,6 – 36	Rp 1 1/4	40	
			Rp 1 1/2		
36	0,4 – 4	4 – 40	Rp 1 1/4	40	8
	0,8 – 8	8 – 80	Rp 1 1/2	50	
			Rp 2		
43	0,9 – 9	5 – 50	Rp 1 1/2	50	8
	1,6 – 16	16 – 160	Rp 2	65	
			Rp 2 1/2		
			Rp 3		

Messbereiche für andere Messstoffe und Betriebsbedingungen auf Anfrage.

<sup>1)</sup> i.N. im Normzustand (0 °C und 1,013 bar abs.)

## Anlagenschema

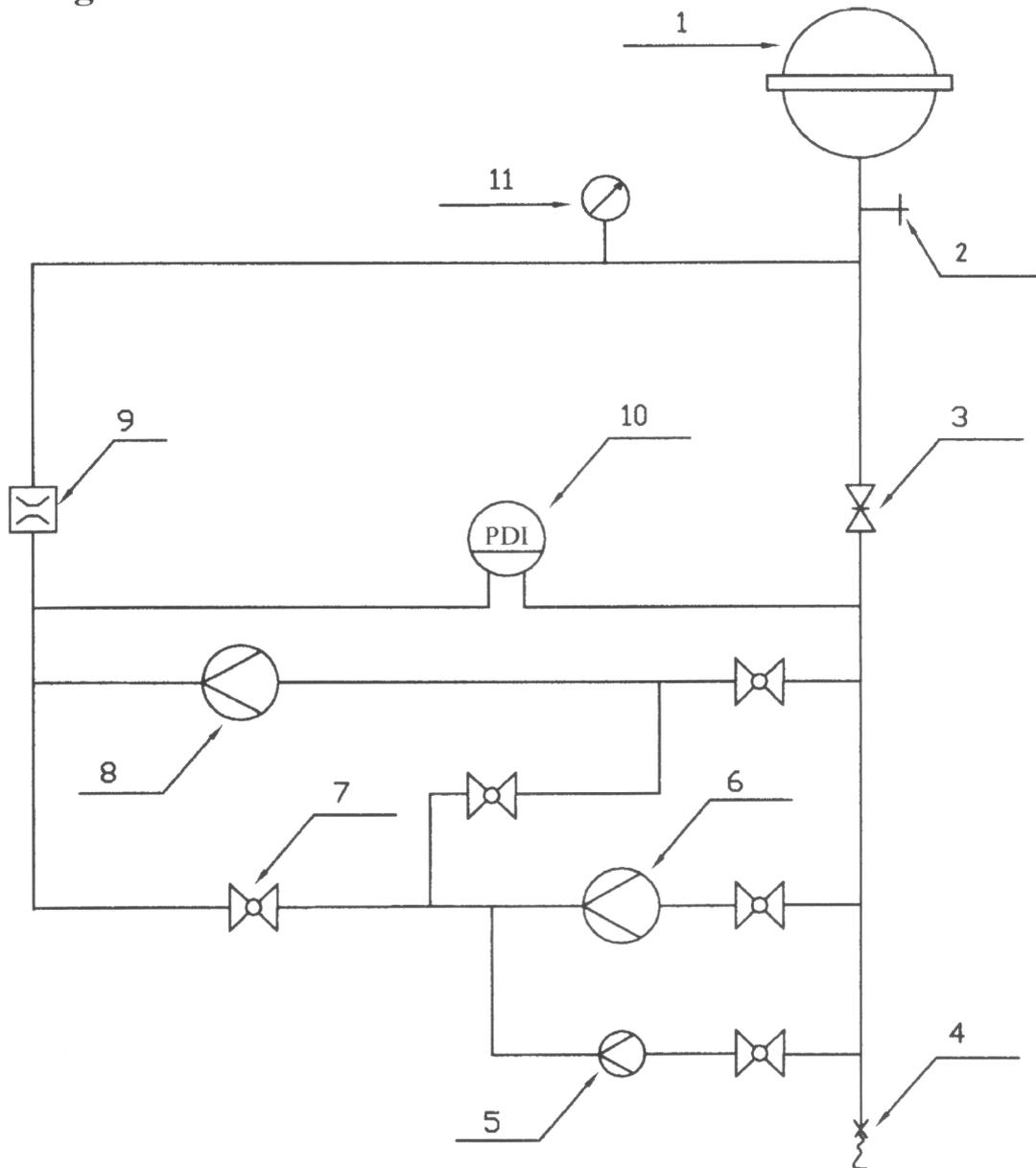


Bild 4: Anlagenschema

- 1 ) Ausdehnungsgefäß
- 2 ) Entlüftung
- 3 ) Schieber
- 4 ) Anlagen Füll- und Entleerungshahn mit Schlauchanschluss
- 5 ) Pumpe 3, einstufig, 2200 U/ min
- 6 ) Pumpe 2, zweistufig, 1. Stufe 2000 U/ min und 2. Stufe 2400 U/ min
- 7 ) Durchgangshahn
- 8 ) Pumpe 1, zweistufig, 1. Stufe 2000 U/ min und 2. Stufe 2400 U/ min
- 9 ) Durchflussmessgerät,  $\dot{V} = 15.. 150 \text{ l/ min}$
- 10 ) Differenzdruckmesser,  $\pm 0,05 \text{ bar}$
- 11 ) Manometer 0– 2,5 bar

## **Versuchsdurchführung**

Der Versuch wurde am 05.04.05 um 14:30 durchgeführt. Anwesend waren Thomas Fritsch, Rayk Fleischfresser und Lutz Willek. Als Betreuer des Versuches war Herr Tham anwesend. In Vorbereitung auf den Versuch wurden die Messprotokolle sowie eine Checkliste für die Versuchsdurchführung erstellt und theoretische Grundlagen erarbeitet.

### **Ablauf**

Zu Beginn jeder Messung wurden die Kugelhähne gemäß der Checkliste eingestellt und die zur Messung benötigten Pumpen eingeschaltet. Der Schieber wurde voll geöffnet und der Differenzdruck und Volumenstrom abgelesen. Daraus wurde später die Rohrnetzkenlinie berechnet. Wenn die verwendeten Pumpen zwei Drehzahlen besaßen, wurden Differenzdruck und Volumenstrom jeweils für beide Geschwindigkeiten notiert, um später eine genauere Messwertanalyse durchführen zu können, sowie Messungenauigkeiten zu minimieren. Danach wurde der Schieber schrittweise geschlossen, die resultierenden Wertepaare abgelesen und in das dazugehörige Protokoll eingetragen. Diese Messung wurde für jede in der Aufgabenstellung beschriebene Pumpenschaltung durchgeführt.

Nach Abschluss der jeweiligen Messung wurden die erhaltenen Werte in ein auf den Protokollen vorbereitetes Diagramm eingetragen und mit den erwarteten Werten verglichen. Diese Diagramme sollten helfen, so frühzeitig wie möglich eventuelle Fehlmessungen aufzudecken und damit zeitnahe Nachmessungen zu ermöglichen.

Im Anschluss an die Messungen wurde der Versuchsplatz aufgeräumt.

### **Auswertung und Schlussbetrachtungen**

Nachfolgend finden Sie die erstellten Diagramme der Messungen von Anlagenkennlinien und Pumpenkennlinien.

Diagramm 1  
Messung Nr. 1 und 2

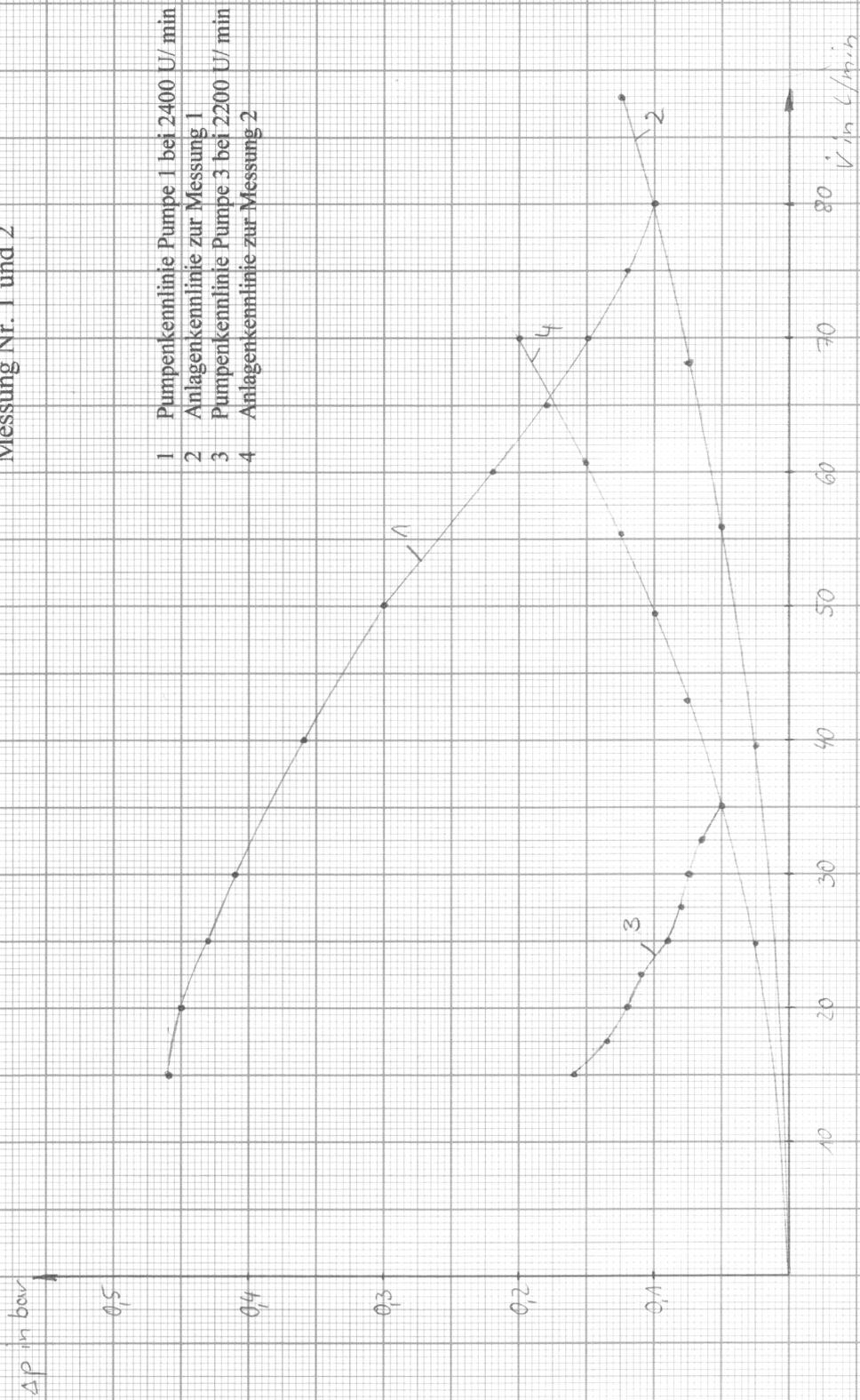
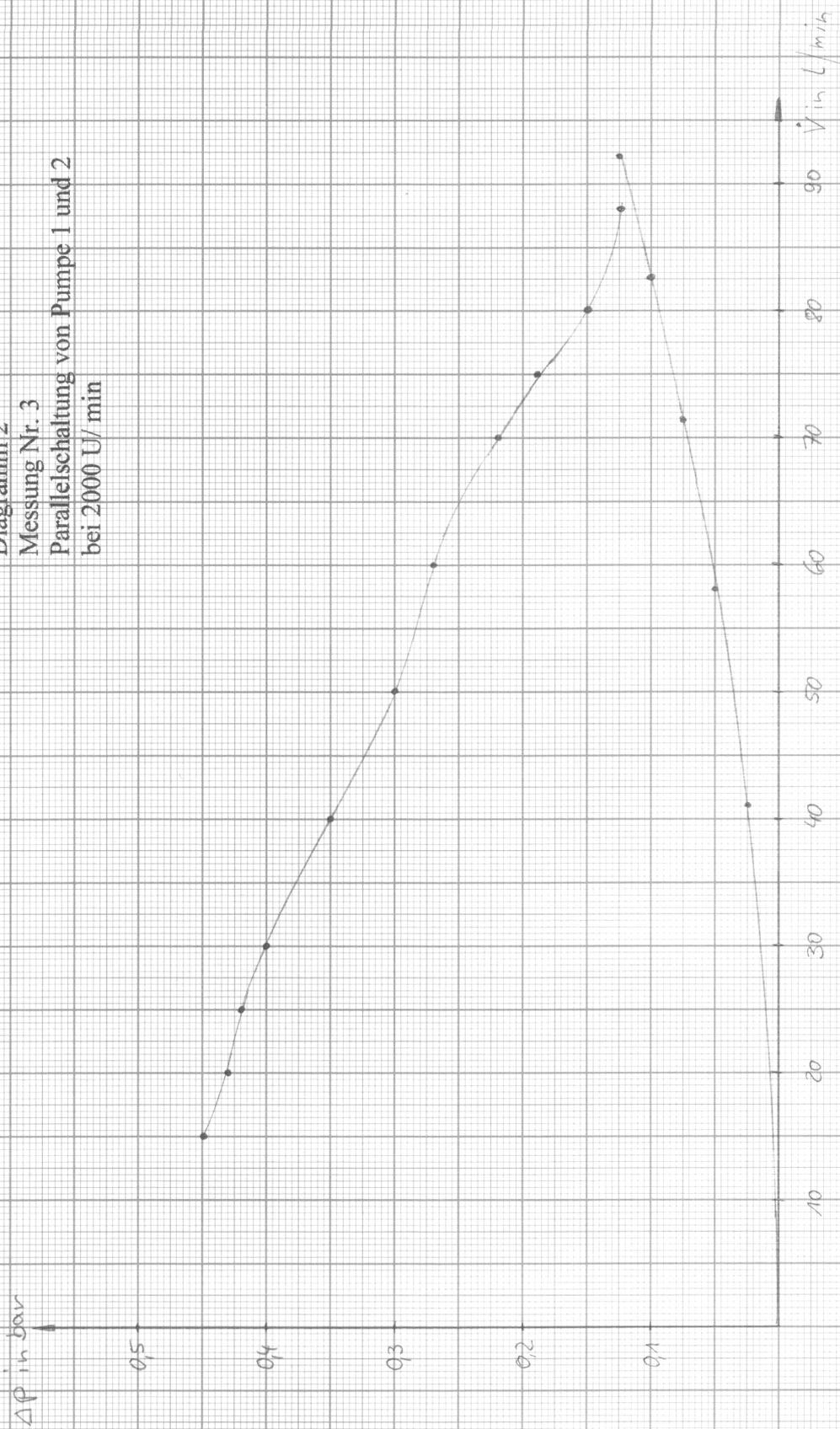
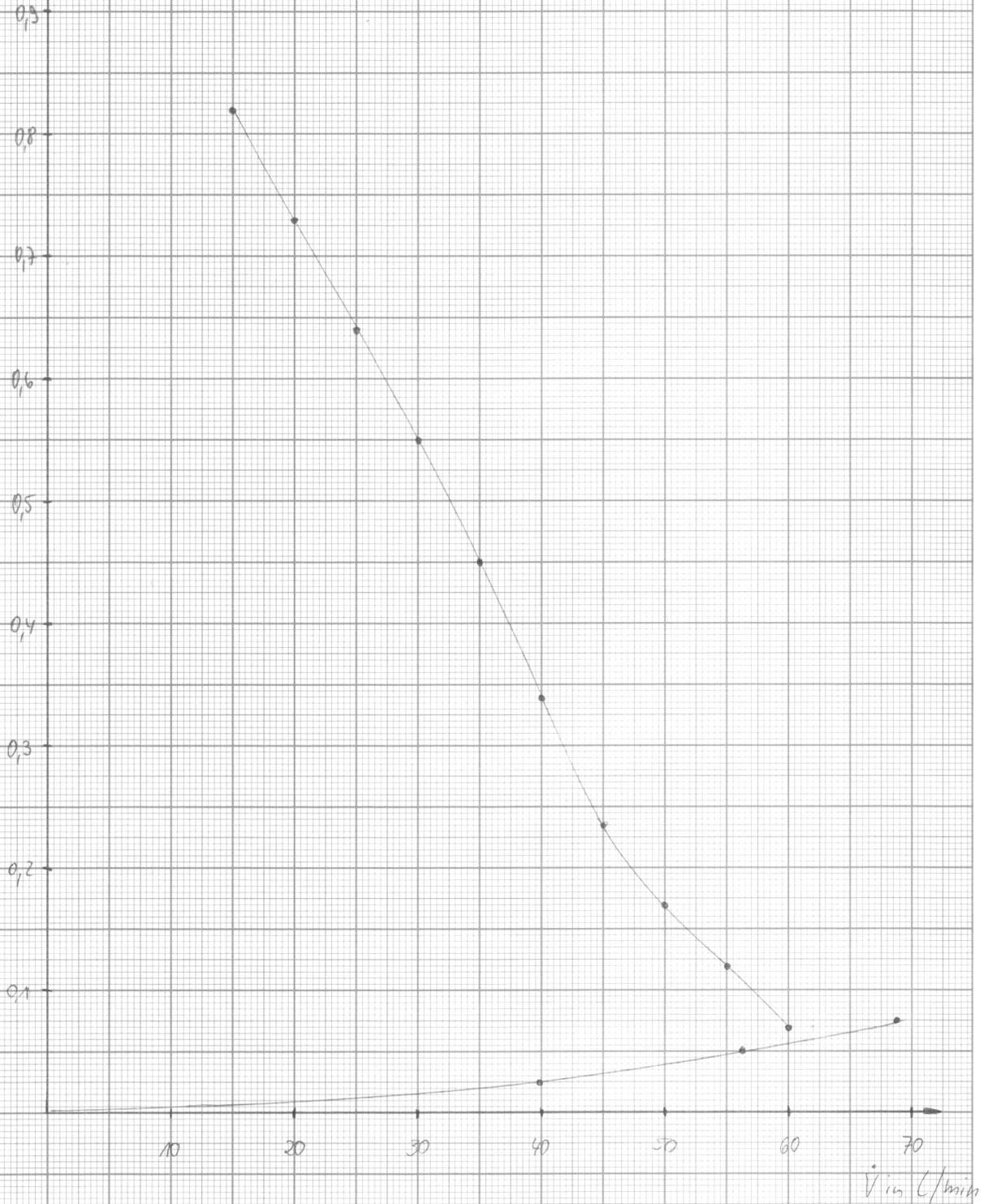


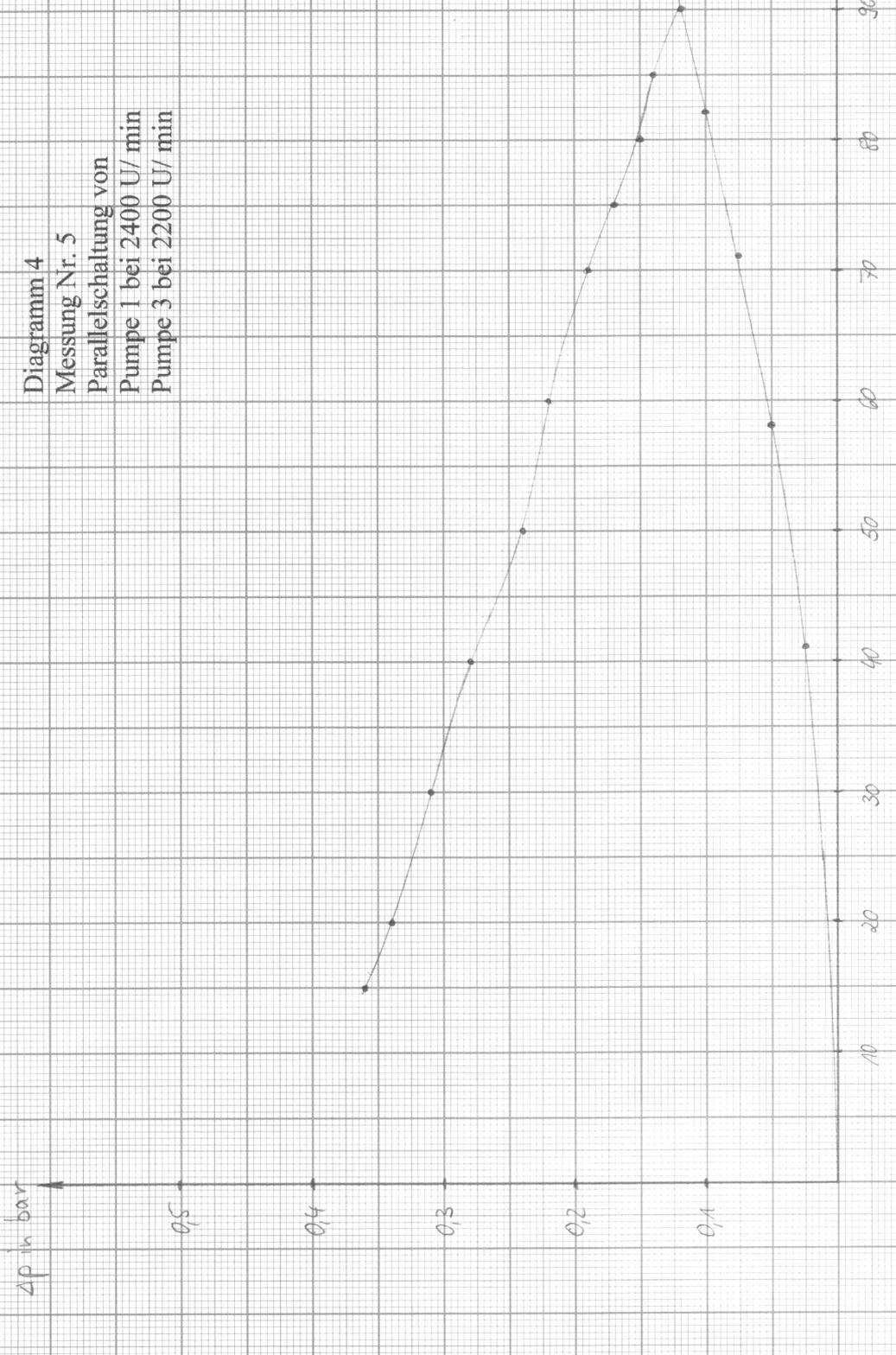
Diagramm 2  
Messung Nr. 3  
Parallelschaltung von Pumpe 1 und 2  
bei 2000 U/ min



$\Delta p$  in bar

Diagramm 3  
Messung Nr. 4  
Reihenschaltung von Pumpe 1 und 2  
bei 2000 U/min





Rückflusskennlinie von Pumpe 3  
Bei der Parallelschaltung  
von Pumpe 1 und 3

- 1 Pumpenkennlinie Pumpe 3
- 2 Pumpenkennlinie Pumpe 1
- 3 Gemessene Pumpenkennlinie bei Parallelschaltung von Pumpe 1 und Pumpe 3
- 4 Rückflusskennlinie

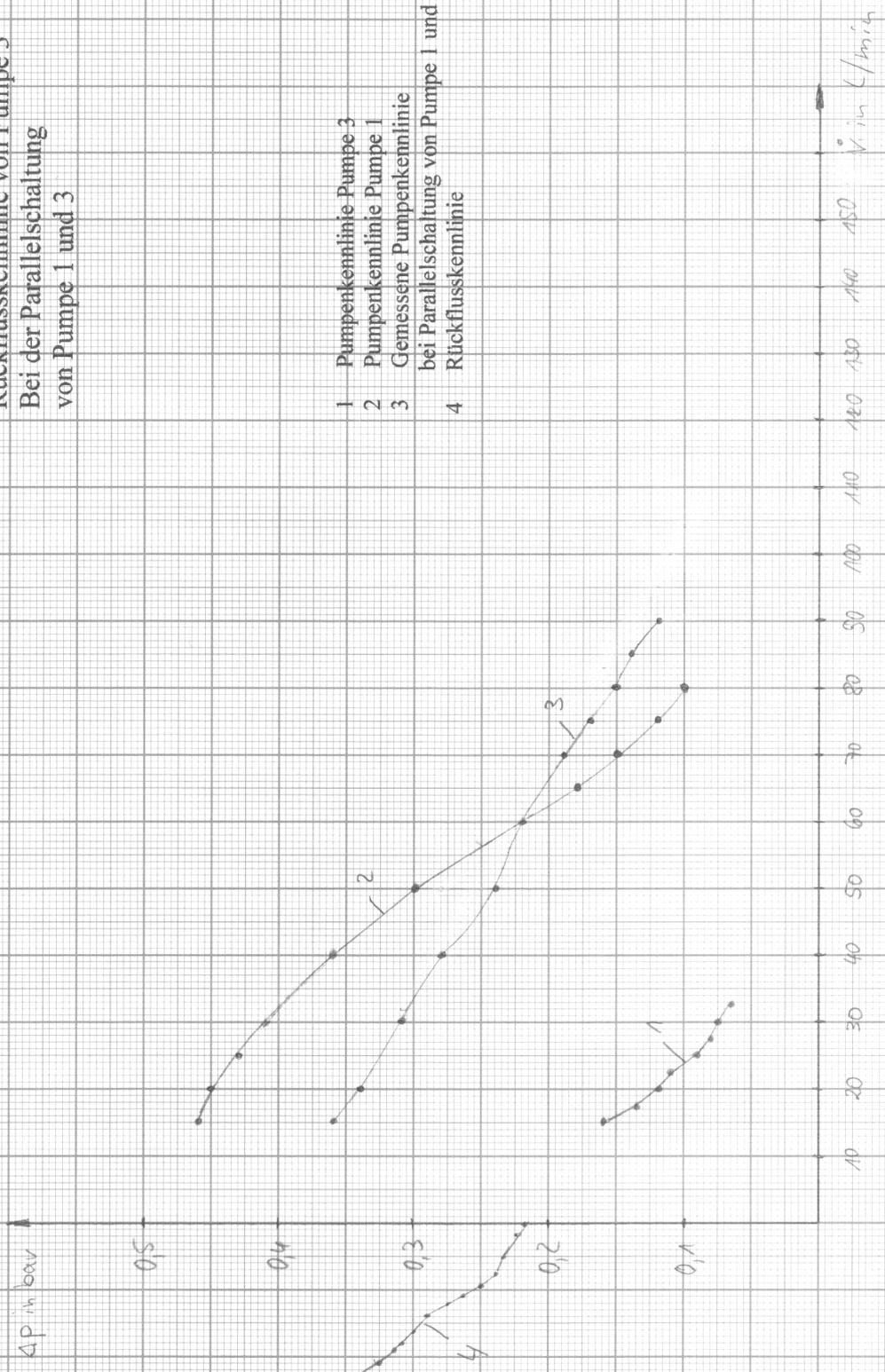
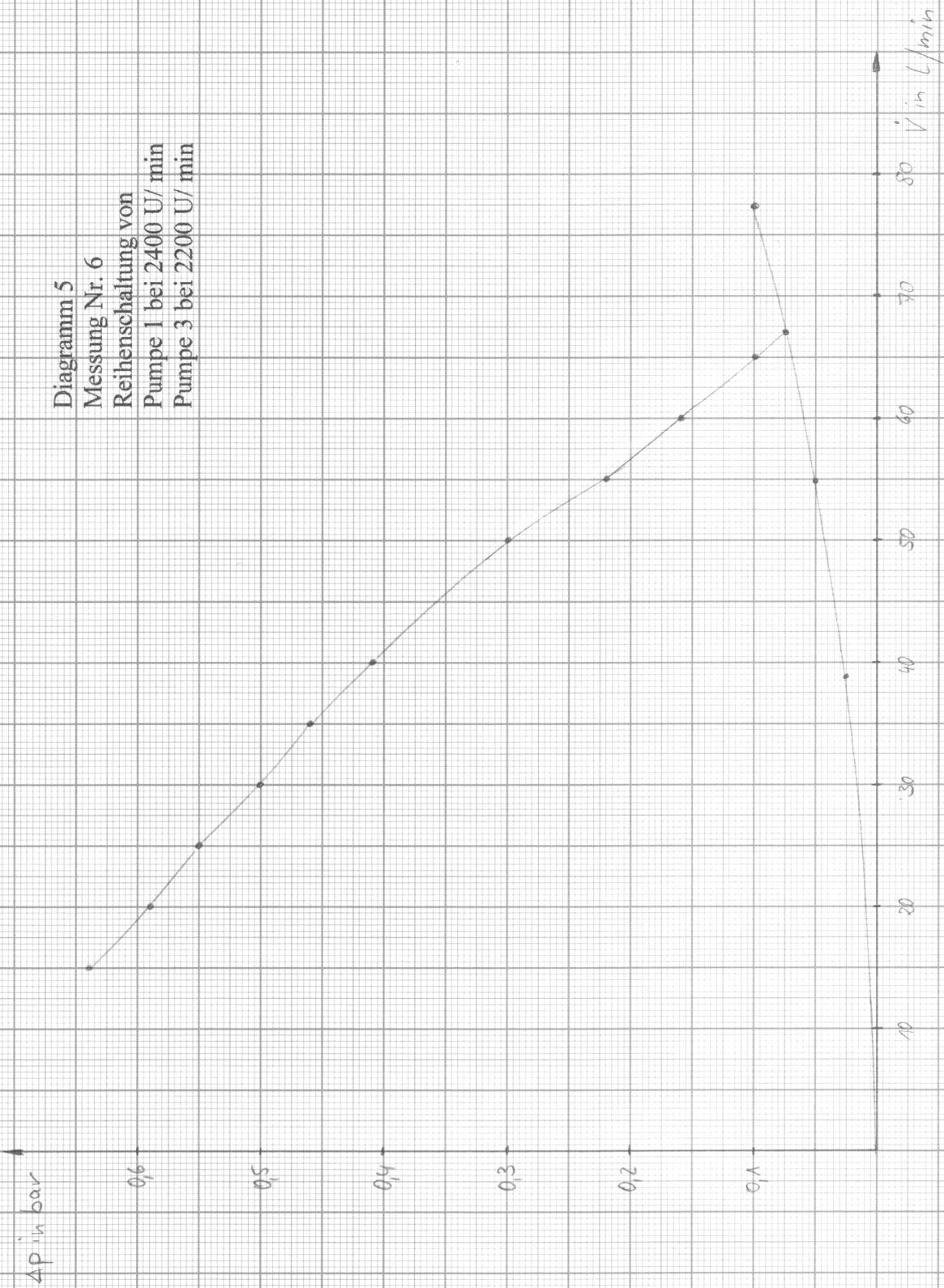


Diagramm 5  
 Messung Nr. 6  
 Reihenschaltung von  
 Pumpe 1 bei 2400 U// min  
 Pumpe 3 bei 2200 U// min



Widerstandskennlinie von Pumpe 3  
Bei der Reihenschaltung  
von Pumpe 1 und 3

$\Delta p$  in bar

0,8

0,7

0,6

0,5

0,4

0,3

0,2

0,1

- 1 Pumpenkennlinie Pumpe 3
- 2 Pumpenkennlinie Pumpe 1
- 3 Gemessene Pumpenkennlinie bei Reihenschaltung von Pumpe 1 und Pumpe 3
- 4 Widerstandskennlinie

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100  $\dot{V}$  in  $\text{l}/\text{min}$

Im Diagramm 1 sind die Pumpenkennlinie und die Rohrnetzkenlinie der Einzelpumpe 1 bei 2400 U/ min und der Einzelpumpe 3 bei 2200 U/ min zusammen dargestellt. Die unterschiedlichen Rohrnetzkenlinien resultieren aus einer Änderung der Kugelhahnstellung, wodurch sich eine Änderung des Strömungsweges und damit eine leichte Veränderung des Anlagenwiderstandes ergibt. Die Montage der Pumpen in einen Wechselrahmen wäre günstiger, um eine einheitliche Rohrnetzkenlinie zu garantieren.

Im Diagramm 2 ist die Parallelschaltung, im Diagramm 3 die Reihenschaltung gleicher Pumpen bei einer Drehzahl von 2000 U/ min dargestellt. Bei der Pumpenkennlinie fällt eine Abweichung der Messwerte von der Mittelwertkurve auf. Ob diese Abweichung durch Ungenauigkeiten beim Ablesen oder durch ein ungenaues Differenzdruckmessgerät hervorgerufen wurde, lässt sich im Nachhinein nicht klären. Sehr gut erkennbar ist die Druck- beziehungsweise Volumenstromerhöhung bei Einsatz von zwei Pumpen. Für diese beiden Diagramme wurde die Rohrnetzkenlinie aus zwei Messwerten errechnet und eingetragen, um genauere Ergebnisse zu erzielen. Daraus erklärt sich, warum sich Pumpenkennlinie und Rohrnetzkenlinie nicht schneiden, da hier die Rohrnetzkenlinie eine berechnete Größe darstellt. Allerdings konnte diese Methode nur bei Diagramm 2 und 3 angewendet werden, da nur hier zwei Drehzahlen für die Berechnung zur Verfügung standen.

Diagramm 4 und 5 zeigen wie Diagramm 2 und 3 eine Reihen- und Parallelschaltung, diesmal jedoch von ungleichen Pumpen. Auf den ersten Blick fällt kein großer Unterschied zu den vorhergehenden Diagrammen auf. Der Volumenstrom beziehungsweise die Druckdifferenz ist erwartungsgemäß niedriger, da ja eine kleinere Pumpe beteiligt ist. Interessant sind jedoch die Diagramm- Anlagen, auf denen jeweils die theoretischen Pumpenkennlinien zusätzlich zu den gemessenen eingezeichnet sind. Anzunehmen ist, dass die gemessenen Kurven ähnlich liegen wie die theoretischen Kurven. Aber das ist nicht der Fall, die gemessenen Kurven liegen weit unter den erwarteten Kurven. Bei einer Parallelschaltung und einer steilen Rohrnetzkenlinie, das heißt bei einem großen Anlagenwiderstand, schafft der durch die kleine Pumpe erzeugte Volumenstrom es nicht, einen Rückstrom des Wassers durch sie hindurch zu verhindern.

Bei der Reihenschaltung und einer steilen Rohrnetzkenlinie stellt die kleine Pumpe nur noch einen Widerstand dar, den die große Pumpe zusätzlich überwinden muss. Dadurch sinkt die Druckdifferenz, bei der die Pumpen noch einen bestimmten Volumenstrom fördern können. Der Anteil des Widerstandes beziehungsweise des rückströmenden Wassers wird in den Anlagen zu den Diagrammen 4 und 5 durch die Widerstands- und Rückflusskenlinie dargestellt.

## Quellenverzeichnis

Tabellenbuch, 4. Auflage, Ihle, Bader, Golla

Taschenbuch für Heizung und Klima Technik 2000, Recknagel / Sprenger / Schramek )

Der Zentralheizung und Lüftungsbauer Technologie, 3. korrigierte Auflage,  
ISBN 3.582.03123.3

Eigene Unterlagen aus dem Unterricht

# **Ermittlung von Pumpenkennlinien**

## **Anhang**

### **Laborübung 1**

### **Gruppe 3**

A1: Messprotokolle.....	11 Seiten
A2: Weitere Berechnungen.....	1 Seite
A3: Theoretische Grundlagen.....	3 Seiten
A4: Laborbericht in elektronischer Form und Selbständigkeitserklärung.....	1 Seite

## **Abbildungsverzeichnis**

Die im Anhang verwendeten Bilder stammen aus:

Der Zentralheizungs und Lüftungsbauer Technologie  
von Joachim Albers/ Rainer Dommel/ Henry Montaldo-Ventsam/ Harald Nedo/  
Eugen Übelacker/ Josef Wagner  
3. korrigierte Auflage, ISBN 3.582.03123.3

Bild a1: Seite 315 Bild 3

Bild a2: Seite 321 Bild 2

Bild a3: Seite 322 Bild 1

## **A1**

### **Messprotokolle**

Nachfolgend finden Sie die verwendeten Messprotokolle zur Ermittlung der Anlagenkennlinien und Pumpenkennlinien.

## Messprotokoll Ermittlung der Anlagenkennlinie und Pumpenkennlinie

Ort: Staatliche Technikerschule Berlin, Raum 120  
Bochumer Straße 8b  
10555 Berlin

Teilnehmer: Thomas Fritsch, Rayk Fleischfresser, Lutz Willek

Betreuer: Herr Tham

Beginn: 13.45

Ende: 15.15

### Verwendete Pumpen und Meßgeräte

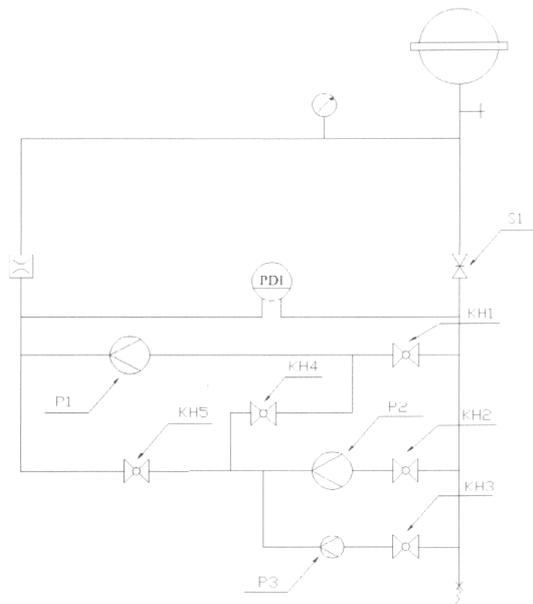
Differenzdruckmesser: kein Typenschild  
Rotameter: kirchner und Tochter, RA-65, Nr. 32329/82  
Pumpe 1: } Typenschild ist Nr. 865997/813.1  
Pumpe 2: } nicht Nr. 865997/813.1  
Pumpe 3: } lesbar Nr. 447993/794

### Messungen

1. Einzelpumpe 1 bei 2400 U / min
2. Einzelpumpe 3 bei 2200 U / min
3. Parallelschaltung Pumpe 1 und 2 bei 2000 U / min
4. Reihenschaltung Pumpe 1 und 2 bei 2000 U / min
5. Parallelschaltung Pumpe 1 bei 2400 U / min und Pumpe 3 bei 2200 U / min
6. Reihenschaltung Pumpe 1 bei 2400 U / min und Pumpe 3 bei 2200 U / min

### Bemerkungen

Differenzdruckmesser ungenau, es musste mehrmals die Nullstellung wiederhergestellt werden  
Anlagendruck vor Beginn der Versuchsdurchführung (in bar): 1,2 bar, konstant



05.04.05, Messprotokoll

**Pumpenanordnung**

(Checkliste für Labor / vor jeder Versuchsdurchführung:  
Pumpen abstellen und KH 1 - KH 5 schließen)

Anlagendruck 1,2 bar

Einzelpumpenanordnung / (n.r.? nicht regelbar)

13.50 zu 1 ✓

Pumpe	Stufe	KH 1	KH 2	KH 3	KH 4	KH 5
P 1	max	offen	/	/	/	/
Status	✓	✓	✓	✓	✓	✓

14.04 zu 2 ✓

Pumpe	Stufe	KH 1	KH 2	KH 3	KH 4	KH 5
P 3	n.r.	/	/	offen	/	offen
Status	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Pumpenparallelschaltung**

14.15 zu 3 ✓

Pumpe	Stufe	KH 1	KH 2	KH 3	KH 4	KH 5
P 1 und P 2	min / min	offen	offen	/	/	offen
Status	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Pumpenreihenschaltung**

14.25 zu 4 ✓

Pumpe	Stufe	KH 1	KH 2	KH 3	KH 4	KH 5
P 1 und P 2	min / min	/	offen	/	offen	/
Status	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Pumpenparallelschaltung**

14.32 zu 5 ✓

Pumpe	Stufe	KH 1	KH 2	KH 3	KH 4	KH 5
P 1 und P 3	max / n.r.	offen	/	offen	/	offen
Status	✓	✓	✓	✓	✓	✓

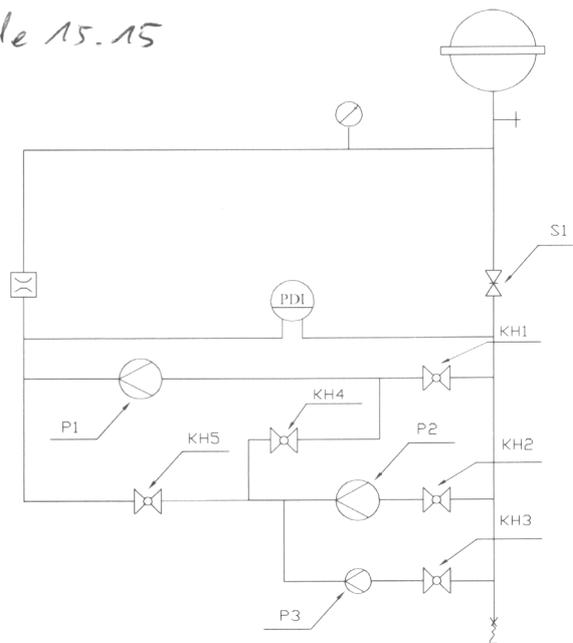
**Pumpenreihenschaltung**

14.40 zu 3.2. ✓

Pumpe	Stufe	KH 1	KH 2	KH 3	KH 4	KH 5
P 1 und P 3	max / n.r.	/	/	offen	offen	/
Status	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Ende 15.15

1,2 bar, konstant



u. Ma

Messung Nr. 1

Kugelhahnstellung

Nummer	1	2	3	4	5
Auf	X				
Zu		X	X	X	X

Pumpen

Pumpe Nr	1	/
Drehzahl	2400	/

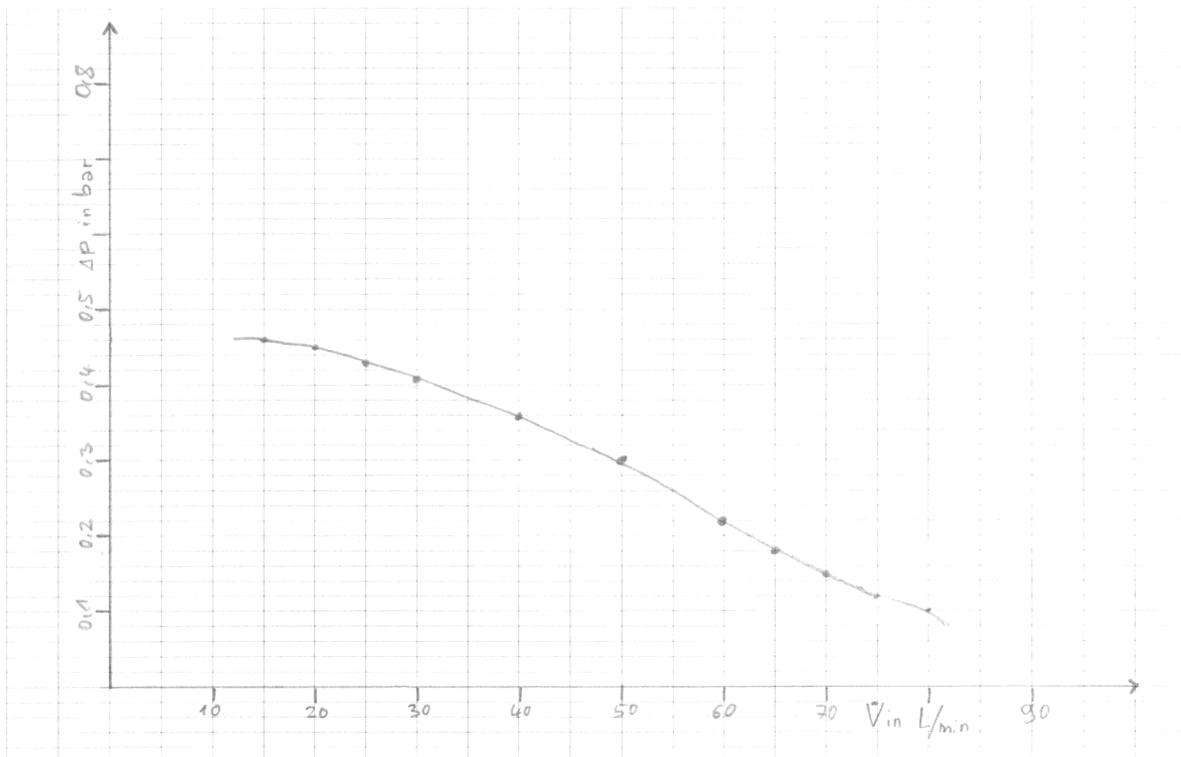
Netzkennlinie

Volumenstrom in l/min	80	55 /
Differenzdruck in bar	0,1	0,05 /

Pumpenkennlinie

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumenstrom in l/min	15	20	25	30	40	50	60	65	70	75
Differenzdruck in bar	0,46	0,45	0,43	0,41	0,36	0,3	0,22	0,18	0,15	0,12

Bemerkungen



Datum: 05.04.05

Unterschrift:

*A. Fran*

Messprotokoll Seite 3 von 11

Messung Nr. 2, 14.05

Kugelhahnstellung

Nummer	1	2	3	4	5
Auf			X		X
Zu	X	X		X	

Pumpen

Pumpe Nr	3	
Drehzahl	2200	

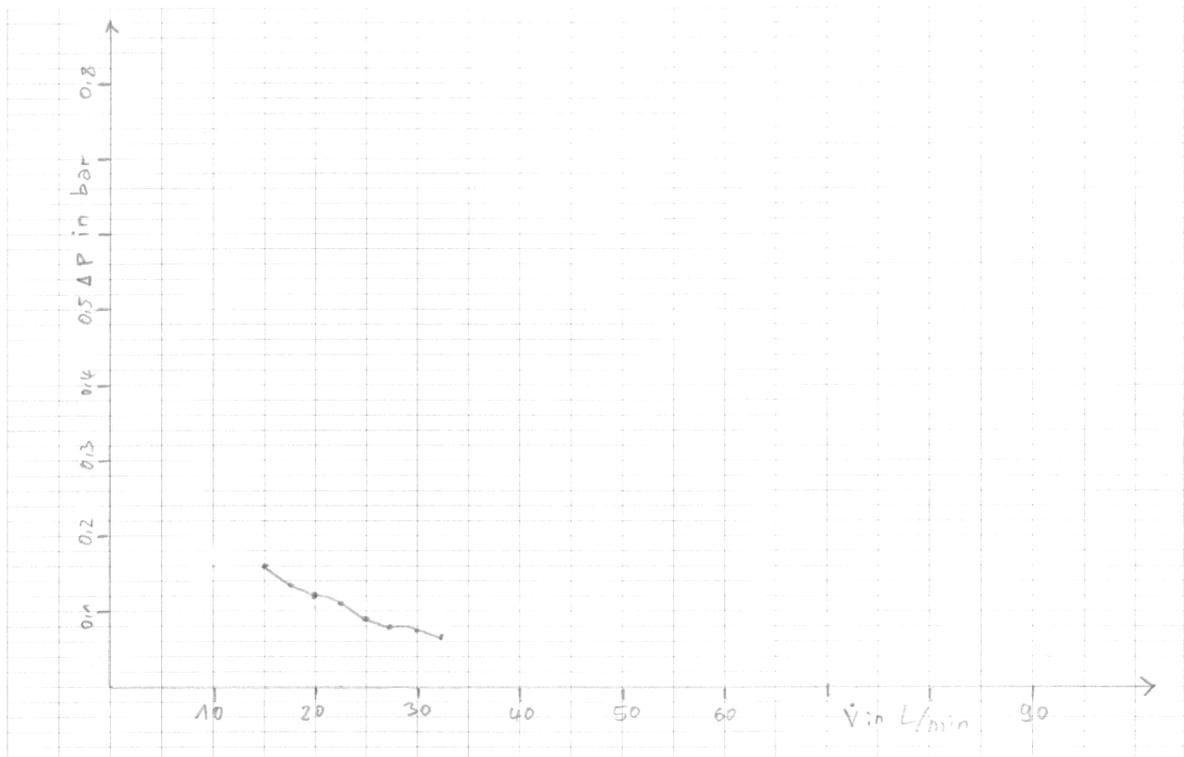
Netzkennlinie

Volumenstrom in l/ min	35	
Differenzdruck in bar	0,05	

Pumpenkennlinie

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumenstrom in l/ min	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5		
Differenzdruck in bar	0,16	0,135	0,12	0,11	0,09	0,08	0,075	0,065		

Bemerkungen



Messung Nr. 3 , 14.15

Kugelhahnstellung

Nummer	1	2	3	4	5
Auf	X	X			X
Zu			X	X	

Pumpen

Pumpe Nr	1	2
Drehzahl	2000	2000

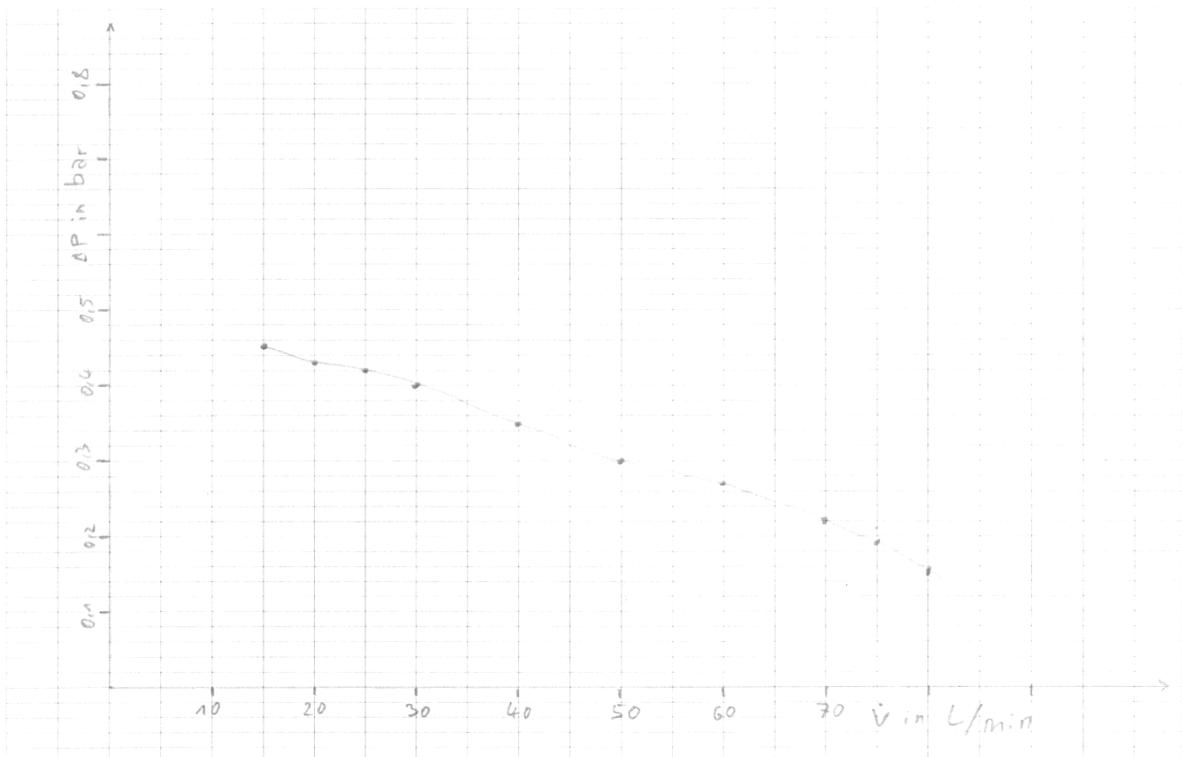
Netzkennlinie

Volumenstrom in l/ min	88	122
Differenzdruck in bar	0,125	0,2

Pumpenkennlinie

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumenstrom in l/ min	15	20	25	30	40	50	60	70	75	80
Differenzdruck in bar	0,45	0,43	0,42	0,4	0,35	0,3	0,27	0,22	0,19	0,15

Bemerkungen



Messung Nr. 4, 14.25

Kugelhahnstellung

Nummer	1	2	3	4	5
Auf		X		X	
Zu	X		X		X

Pumpen

Pumpe Nr	1	2
Drehzahl	2000	2000

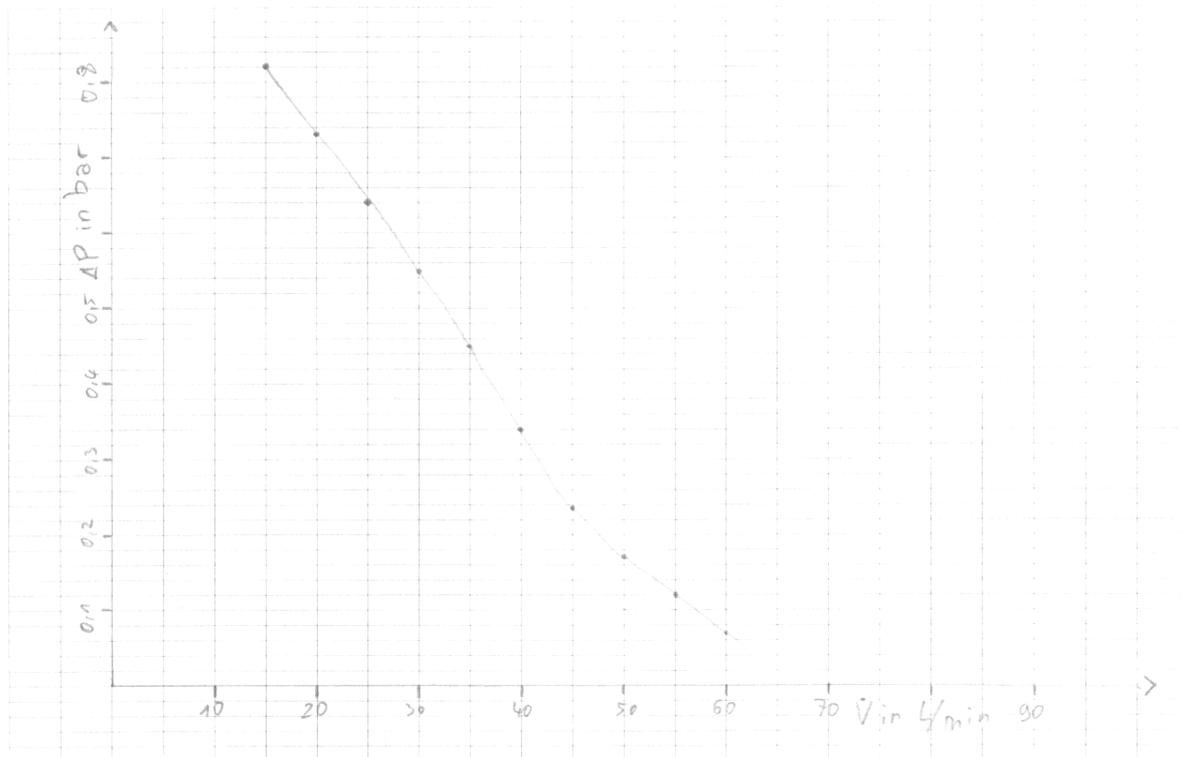
Netzkenlinie

Volumenstrom in l/ min	62	85
Differenzdruck in bar	0,07	0,1

Pumpenkennlinie

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumenstrom in l/ min	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Differenzdruck in bar	0,82	0,73	0,64	0,55	0,45	0,34	0,235	0,17	0,12	0,07

Bemerkungen



Messung Nr. **5** 14.30

Kugelhahnstellung

Nummer	1	2	3	4	5
Auf	X		X		X
Zu		X		X	

Pumpen

Pumpe Nr	1	3
Drehzahl	2400	2200

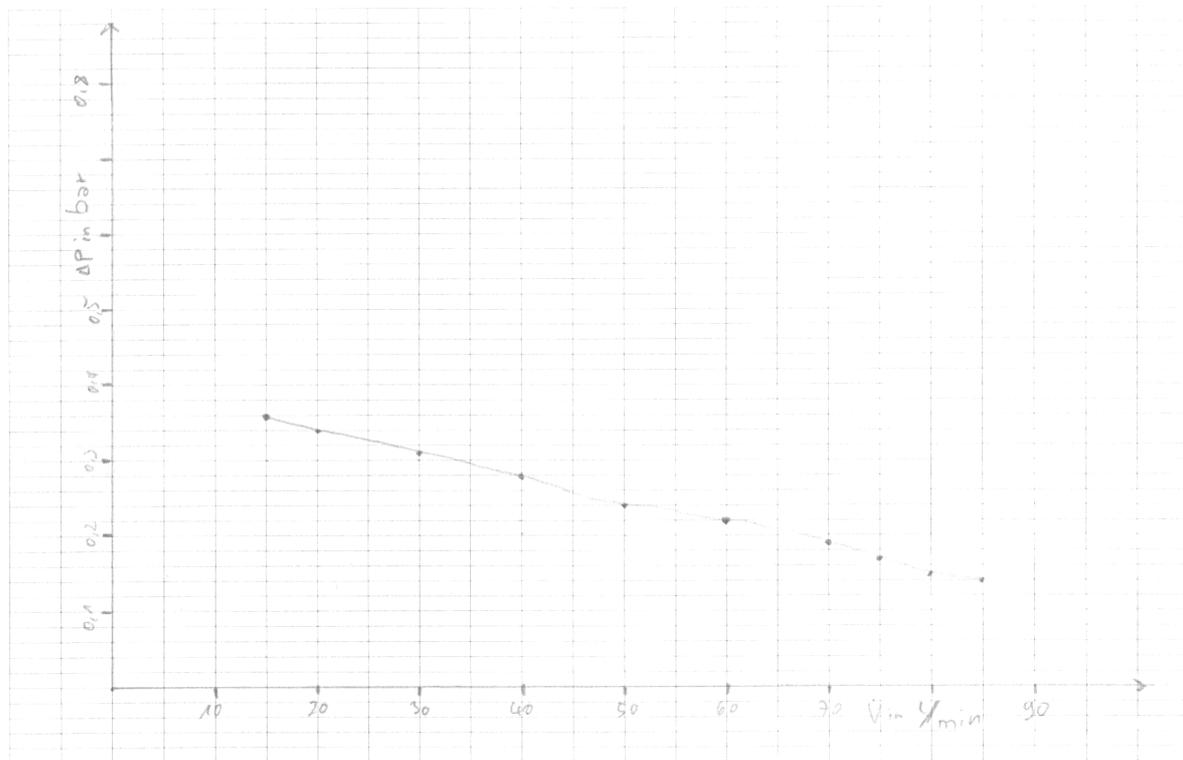
Netzkennlinie

Volumenstrom in l/ min	90
Differenzdruck in bar	0,12

Pumpenkennlinie

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumenstrom in l/ min	15	20	30	40	50	60	70	75	80	85
Differenzdruck in bar	0,36	0,34	0,31	0,28	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14

Bemerkungen



Datum: 05.04.05

Unterschrift:

*L. Me*

Messprotokoll Seite 7 von 11

Messung Nr. 6 14.40

Kugelhahnstellung

Nummer	1	2	3	4	5
Auf			X	X	
Zu	X	X			X

Pumpen

Pumpe Nr	1	3
Drehzahl	2400	2200

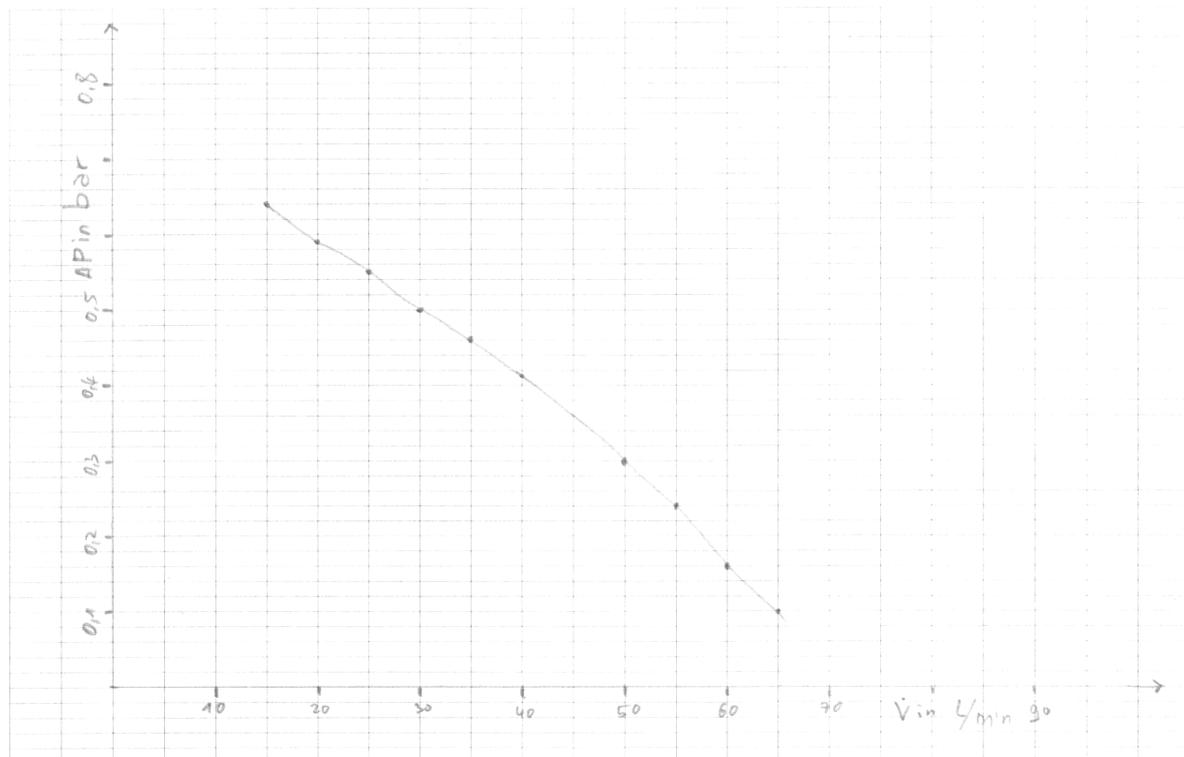
Netzkennlinie

Volumenstrom in l/ min	67
Differenzdruck in bar	0,075

Pumpenkennlinie

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumenstrom in l/ min	15	20	25	30	35	40	50	55	60	65
Differenzdruck in bar	0,64	0,59	0,55	0,5	0,46	0,41	0,3	0,24	0,16	0,1

Bemerkungen



Datum: 05.04.05

Unterschrift: *U. Jahn*

Messprotokoll Seite 8 von 11

Berechnung Netzkennlinie  
zu Messung Nr. 1

Volumenstrom in l/ min	$\dot{V}_{1,1}$	80	$\dot{V}_{1,2}$	55
Differenzdruck in bar	$\Delta p_{1,1}$	0,1	$\Delta p_{1,2}$	0,05

$x_1$	64000
$x_2$	60500

$\dot{V}_{2,1}$	80	113	139	160	179
$\Delta p_{2,1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

$\dot{V}_{2,2}$	78	110	135	156	174
$\Delta p_{2,2}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

$\dot{V}_{2,m}$	79	111,5	137	158	176,5
$\Delta p_{2,m}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Rechenwerte

$$x = \frac{\dot{V}_1^2}{\Delta p_1}$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{x \cdot \Delta p_2}$$

$$\dot{V}_{2,m} = \frac{\dot{V}_{2,1} + \dot{V}_{2,2}}{2}$$

Berechnung Netzkennlinie  
zu Messung Nr. 2

Volumenstrom in l/ min	$\dot{V}_{1,1}$	35	$\dot{V}_{1,2}$	
Differenzdruck in bar	$\Delta p_{1,1}$	0,05	$\Delta p_{1,2}$	

$x_1$	24500
$x_2$	

$\dot{V}_{2,1}$	35	42,9	49,5	55,3	60,6
$\Delta p_{2,1}$	0,05	0,075	0,10	0,125	0,15

$$x = \frac{\dot{V}_1^2}{\Delta p_1}$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{x \cdot \Delta p_2}$$

$\dot{V}_{2,2}$					
$\Delta p_{2,2}$					

$\dot{V}_{2,m}$					
$\Delta p_{2,m}$					

$$\dot{V}_{2,m} = \frac{\dot{V}_{2,1} + \dot{V}_{2,2}}{2}$$

Berechnung Netzkennlinie  
zu Messung Nr. 3

Volumenstrom in l/ min	$\dot{V}_{1,1}$	88	$\dot{V}_{1,2}$	122
Differenzdruck in bar	$\Delta p_{1,1}$	0,125	$\Delta p_{1,2}$	0,2

$x_1$	61952
$x_2$	74420

$\dot{V}_{2,1}$	79	97	125	147	167
$\Delta p_{2,1}$	0,1	0,15	0,25	0,35	0,45

$$x = \frac{\dot{V}_1^2}{\Delta p_1}$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{x \cdot \Delta p_2}$$

$\dot{V}_{2,2}$	86	106	137	161	183
$\Delta p_{2,2}$	0,1	0,15	0,25	0,35	0,45

$\dot{V}_{2,m}$	82,5	101,5	131	154	175
$\Delta p_{2,m}$	0,1	0,15	0,25	0,35	0,45

$$\dot{V}_{2,m} = \frac{\dot{V}_{2,1} + \dot{V}_{2,2}}{2}$$

Berechnung Netzkennlinie  
zu Messung Nr. 4

Volumenstrom in l/ min	$\dot{V}_{1,1}$	62	$\dot{V}_{1,2}$	85
Differenzdruck in bar	$\Delta p_{1,1}$	0,07	$\Delta p_{1,2}$	0,1

$x_1$	54914
$x_2$	72250

$\dot{V}_{2,1}$	52	105	148	182	210
$\Delta p_{2,1}$	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8

$$x = \frac{\dot{V}_1^2}{\Delta p_1}$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{x \cdot \Delta p_2}$$

$\dot{V}_{2,2}$	60	120	170	208	240
$\Delta p_{2,2}$	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8

$\dot{V}_{2,m}$	56	112,5	159	195	225
$\Delta p_{2,m}$	0,05	0,2	0,4	0,6	0,8

$$\dot{V}_{2,m} = \frac{\dot{V}_{2,1} + \dot{V}_{2,2}}{2}$$

Berechnung Netzkennlinie  
zu Messung Nr. 5

Volumenstrom in l/ min	$\dot{V}_{1,1}$	90	$\dot{V}_{1,2}$	
Differenzdruck in bar	$\Delta p_{1,1}$	0,12	$\Delta p_{1,2}$	

$x_1$	
$x_2$	

$\dot{V}_{2,1}$	101	116	130	142	154
$\Delta p_{2,1}$	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35

$$x = \frac{\dot{V}_1^2}{\Delta p_1}$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{x \cdot \Delta p_2}$$

$\dot{V}_{2,2}$					
$\Delta p_{2,2}$					

$\dot{V}_{2,m}$					
$\Delta p_{2,m}$					

$$\dot{V}_{2,m} = \frac{\dot{V}_{2,1} + \dot{V}_{2,2}}{2}$$

Berechnung Netzkennlinie  
zu Messung Nr. 6

Volumenstrom in l/ min	$\dot{V}_{1,1}$	67	$\dot{V}_{1,2}$	
Differenzdruck in bar	$\Delta p_{1,1}$	0,075	$\Delta p_{1,2}$	

$x_1$	59853
$x_2$	

$\dot{V}_{2,1}$	67	109	145	173	197
$\Delta p_{2,1}$	0,075	0,2	0,35	0,5	0,65

$$x = \frac{\dot{V}_1^2}{\Delta p_1}$$

$$\dot{V}_2 = \sqrt{x \cdot \Delta p_2}$$

$\dot{V}_{2,2}$					
$\Delta p_{2,2}$					

$\dot{V}_{2,m}$					
$\Delta p_{2,m}$					

$$\dot{V}_{2,m} = \frac{\dot{V}_{2,1} + \dot{V}_{2,2}}{2}$$

## A2 Weitere Berechnungen

Messung 1	Volumenstrom l/min			max 80	min 55								
	Differenzdruck bar			0,1	0,05	x1		x2					
	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Differenzdruck	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Volumenstrom(x1)	40,0	56,6	69,3	80,0	89,4	98,0	113,1	126,5	138,6	149,7	160,0	169,7	178,9
Volumenstrom(x2)	38,9	55,0	67,4	77,8	87,0	95,3	110,0	123,0	134,7	145,5	155,6	165,0	173,9
Volumenstrom $\dot{V}_m$	39,4	55,8	68,3	78,9	88,2	96,6	111,6	124,7	136,6	147,6	157,8	167,4	176,4

Messung 2	Volumenstrom l/min			max 35	min 35								
	Differenzdruck bar			0,05	0,05	x1		x2					
	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Differenzdruck	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Volumenstrom(x1)	24,7	35,0	42,9	49,5	55,3	60,6	70,0	78,3	85,7	92,6	99,0	105,0	110,7
Volumenstrom(x2)	24,7	35,0	42,9	49,5	55,3	60,6	70,0	78,3	85,7	92,6	99,0	105,0	110,7
Volumenstrom $\dot{V}_m$	24,7	35,0	42,9	49,5	55,3	60,6	70,0	78,3	85,7	92,6	99,0	105,0	110,7

Messung 3	Volumenstrom l/min			max 88	min 122								
	Differenzdruck bar			0,125	0,2	x1		x2					
	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Differenzdruck	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Volumenstrom(x1)	39,4	55,7	68,2	78,7	88,0	96,4	111,3	124,5	136,3	147,3	157,4	167,0	176,0
Volumenstrom(x2)	43,1	61,0	74,7	86,3	96,4	105,7	122,0	136,4	149,4	161,4	172,5	183,0	192,9
Volumenstrom $\dot{V}_m$	41,2	58,3	71,4	82,5	92,2	101,0	116,7	130,4	142,9	154,3	165,0	175,0	184,4

Messung 4	Volumenstrom l/min			max 62	min 85								
	Differenzdruck bar			0,07	0,1	x1		x2					
	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Differenzdruck	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Volumenstrom(x1)	37,1	52,4	64,2	74,1	82,9	90,8	104,8	117,2	128,4	138,6	148,2	157,2	165,7
Volumenstrom(x2)	42,5	60,1	73,6	85,0	95,0	104,1	120,2	134,4	147,2	159,0	170,0	180,3	190,1
Volumenstrom $\dot{V}_m$	39,8	56,3	68,9	79,6	88,9	97,4	112,5	125,8	137,8	148,8	159,1	168,8	177,9

Messung 5	Volumenstrom l/min			max 90	min 90								
	Differenzdruck bar			0,12	0,12	x1		x2					
	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Differenzdruck	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Volumenstrom(x1)	41,1	58,1	71,2	82,2	91,9	100,6	116,2	129,9	142,3	153,7	164,3	174,3	183,7
Volumenstrom(x2)	41,1	58,1	71,2	82,2	91,9	100,6	116,2	129,9	142,3	153,7	164,3	174,3	183,7
Volumenstrom $\dot{V}_m$	41,1	58,1	71,2	82,2	91,9	100,6	116,2	129,9	142,3	153,7	164,3	174,3	183,7

Messung 6	Volumenstrom l/min			max 67	min 67									
	Differenzdruck bar			0,075	0,075	x1		x2						
	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,65
Differenzdruck	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,65
Volumenstrom(x1)	38,7	54,7	67,0	77,4	86,5	94,8	109,4	122,3	134,0	144,7	154,7	164,1	173,0	197,2
Volumenstrom(x2)	38,7	54,7	67,0	77,4	86,5	94,8	109,4	122,3	134,0	144,7	154,7	164,1	173,0	197,2
Volumenstrom $\dot{V}_m$	38,7	54,7	67,0	77,4	86,5	94,8	109,4	122,3	134,0	144,7	154,7	164,1	173,0	197,2

## A3

### Theoretische Grundlagen

Die Verbraucher wurden am Messplatz mit einem Schieber simuliert. Durch Öffnen oder Schließen kann ein unterschiedlicher Druckverlust der Anlage eingestellt werden. Normalerweise entsteht dieser Druckverlust durch die Verbraucher, beispielsweise Heizkörper oder Auslaufventile und natürlich auf dem Weg dorthin durch Rohre, Winkel und Einstellventile.

Der Widerstand der Anlage wird charakterisiert durch die sogenannte Rohrnetzkenlinie. Sie stellt den Druckverlust abhängig vom Volumenstrom dar.

Zum Auslegen der Pumpe müssen also zwei Faktoren bekannt sein. Der zu fördernde Volumenstrom und der Widerstand, den die Pumpe genau bei diesem Volumenstrom überwinden muss. Dieser Punkt ist bei jeder Anlage anders und wird als Betriebspunkt bezeichnet.

Die Pumpe wird durch die jeweilige Pumpenkennlinie beschrieben, die genau wie die Rohrnetzkenlinie den Druckverlust abhängig vom Volumenstrom beschreibt. Liegt der Arbeitspunkt der Anlage auf einem Punkt der Pumpenkennlinie, ist die Pumpe richtig dimensioniert. Manchmal ist es notwendig, zwei Pumpen einzubauen, da der gewünschte Arbeitspunkt mit einer Pumpe allein nicht erreicht werden kann. Was dabei zu beachten ist wurde in diesem Laborversuch auch sehr deutlich gezeigt.

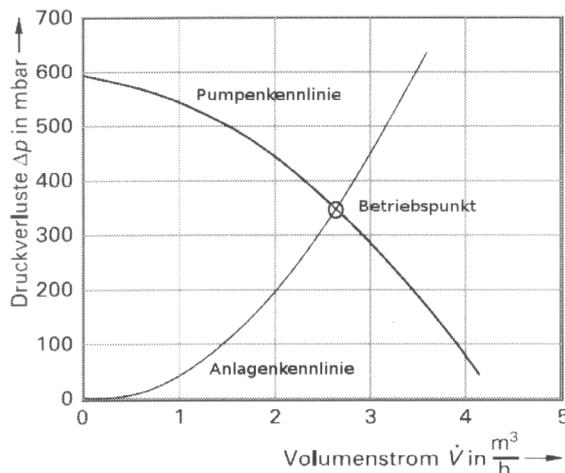


Bild 5:  
Zusammenhang zwischen Anlagenkennlinie,  
Pumpenkennlinie und Betriebspunkt

Aber wie kommt man nun zu der jeweiligen Kennlinie? Zum einen lassen sich solche Kennlinien natürlich messen, wie es zum Beispiel auch die Pumpenhersteller machen. Eine Pumpe wird in einem Rohrkreislauf betrieben, der Druckverlust wird verändert und der Volumenstrom wird gemessen. Exakt genauso sind wir auch bei unserer Messung der Pumpenkennlinie vorgegangen, natürlich mit weitaus bescheideneren Mitteln. Die Druckverlustmessungen der Hersteller sind weitaus genauer, um nur ein Beispiel zu nennen.

Man kann auch die Rohrnetzkenlinie ermitteln, was aber eine Möglichkeit, den Volumenstrom ändern zu können, voraussetzen würde. Da im Pumpenmessplatz keine Pumpe mit variabler Drehzahl eingebaut war, entfiel diese Möglichkeit für uns. Da aber der Druckverlust einer Anlage quadratisch zum geförderten Volumenstrom steigt, reicht es aus, ein Wertepaar zu kennen, um die Anlagenkennlinie hinreichend genau zu errechnen.

Beim Berechnen der Anlagenkennlinie gilt der Zusammenhang:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left( \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^2$$

Das Wertepaar  $\Delta p_1$  und  $\dot{V}_1$  wurden gemessen. Nach Umstellen der Formel auf  $\dot{V}_2$  ergibt sich:

$$\dot{V}_2 = \sqrt{\frac{\dot{V}_1^2}{\Delta p_1} \cdot \Delta p_2}$$

Setzt man nun noch für  $\frac{\dot{V}_1^2}{\Delta p_1} = x$  als Verhältnis in diese Formel ein, ergibt sich:

$$\dot{V}_2 = \sqrt{x \cdot \Delta p_2}$$

Zusammen mit einer Wertetabelle für  $\Delta p_2$  genügt das, um sich fehlende Werte zu berechnen. Bei Pumpen mit zwei Drehzahlen wurden jeweils zwei Wertepaare gemessen und aus dem Mittelwert der Ergebnisse wurde die Rohrnetzkenlinie gebildet. Dadurch werden Messungenauigkeiten besser ausgeglichen.

Die Pumpenkennlinie ergibt sich aus der Druckdifferenz bei einem Volumenstrom. Je mehr Volumenstrom die Pumpe fördern muss umso weniger Druck kann sie aufbauen. Der Differenzdruck wird bei verschiedenen Volumenströmen gemessen und in ein Diagramm eingetragen.

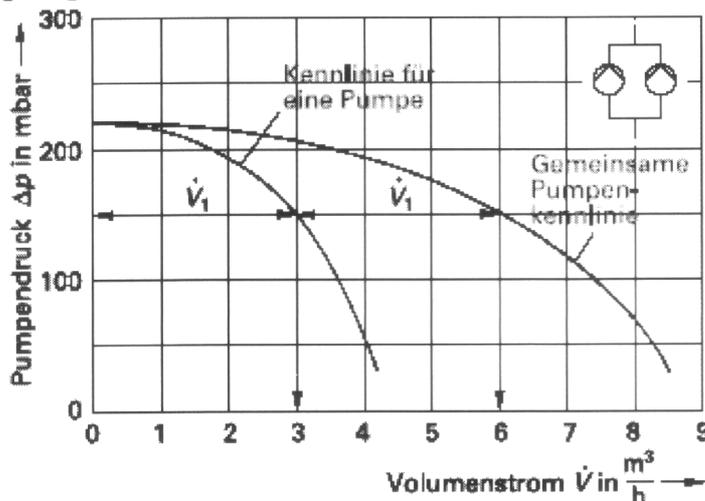


Bild 6: Pumpen im Parallelbetrieb

Zwei Pumpen im Parallelbetrieb erhöhen den förderbaren Volumenstrom, die maximale Förderhöhe hingegen bleibt gleich.

## A4

### **Laborbericht in elektronischer Form**

Angehängt an diese Seite finden Sie den kompletten Laborbericht auf CD im Pdf- Format.

## A4

### **Selbständigkeitserklärung**

**Wir versichern hiermit an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit bzw. die von uns namentlich gekennzeichneten Teile selbständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel verfasst haben.**

Berlin, der 17.4.2005

Thomas Fritsch

Rayk Fleischfresser

Lutz Willek