



Inbetriebnahme und Optimierung eines Pumpenversuchsstandes zur Ermittlung verfahrenstechnischer Kenndaten

Bachelor-Thesis
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Engineering (B. Eng.)
an der Hochschule Merseburg

Eingereicht von
Xu Zhang
geboren am 22. März 1991 in Nan Jing / China

Betreuer: Prof. Dr.nat.techn. Ulf Schubert
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Vahldieck

Merseburg, 19.10.2015

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, recht herzlich danken. Zuerst möchte ich meinem Betreuer Herrn Professor Schubert danken. Ich danke für seine Gewissenhaftigkeit. Durch das Thema von Projekt- und Bachelorarbeit bekommen ich mehr Kenntnisse der Pumpe und Ventil. Ich danke aber seine Geduld. Er unterrichtet ich über Führung der Pumpe und noch korrigiert mein Fehler in Arbeit. Dank seiner herausragenden Expertise konnte er mich immer wieder in meiner Recherche und bei meinen Fragen unterstützen.

Als nächstes muss ich meinem Betreuer Herr Valdick danken, der viel Zeit in die Helfen und Kommunikation mit uns investiert hat. Durch stetig kritisches Hinterfragen und konstruktive Kritik verhalf er mir zu einer guten Lösungsfindung. Er kann immer meine Räsel detailliert beantworten.

Danach muss ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir das Studium in Deutschland überhaupt ermöglicht hat.

Zuletzt möchte ich meinem Kommilitone Chenyang Xu ein besonderer Dank gelten, mit dem ich das gesamte Studium durchlaufen durfte und der mir stets mit Rat zur Seite stand.

Abstract

Beim Anlagenbau ist es u.a. erforderlich, den Druckverlust durch Rohrreibung und Armaturen sowie geodätische Verluste zu kennen und diese mittels Pumpen wieder auszugleichen. Bei dem Versuch „Armatur- und Pumpenprüfstand“ sollen verschiedenste Kennlinien aufgenommen und interpretiert werden. Dabei handelt es sich um Pumpenkennlinie, die durch Einzelbetrieb aber auch durch einen parallelen und einen seriellen Betrieb von Kreiselpumpen aufgenommen werden können. Weiter handelt es sich um eine Teil-Anlagenkennlinie und eine Ventilkennlinie.

Dieser Pumpenprüfstand wurde neu errichtet und war nun in Betrieb zu nehmen und Optimierungen vorzunehmen. Dabei stellte sich heraus, dass geringfügige Rohrleitungsänderungen und eine Anpassung der Elektronik erforderlich waren. Zu diesen Änderungen wurden Planungen durchgeführt. Die Änderungen wurden dann technisch umgesetzt, sodass dann erneut zufriedenstellende Kennlinien aufgenommen werden konnten.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	7
2 Aufgabenstellung.....	9
3 Grundlagen.....	10
3.1 Pumpenkennlinien.....	10
3.1.1 Kennlinie.....	10
3.1.2 Funktionweise der Kreiselpumpe.....	12
3.2 Anlagenkennlinien.....	14
3.3 Ventilkennlinien.....	15
4 Aufnahme der „As-build“-Dokumentation vor der Optimierung.....	18
5 Optimierungsvorschläge und technische Umsetzung.....	20
6 Aufnahme der Kennlinien nach der Optimierung.....	27
7 Ergebnisse und Diskussion.....	29
7.1 Pumpenkennlinien.....	29
7.2 Ventilkennlinien.....	43
7.3 Anlagenkennlinien.....	49
8 Literaturverzeichnis.....	54
9 Tabellenverzeichnis.....	55
10 Abbildungsverzeichnis.....	57
11 Abkürzungsverzeichnis.....	60

1 Einleitung

Verfahrenstechnische Kenndaten in der Verfahrenstechnik sind maßgeblich zur Auslegung erforderlicher Apparate und Anlagenteile im Anlagenbau. So sind für Pumpen Pumpenkennlinie, Anlagekennlinien und Ventilkennlinien von großer Bedeutung.

Somit soll im Studium Chemie- und Umwelttechnik an der Hochschule Merseburg dieser Lehrinhalt in einem Praktikum an einer Versuchsanlage praktisch umgesetzt werden. Dazu wurden bereits mehrere Abschlussarbeiten geschrieben, die von der Konzeptionierung, über die Grobplanung bis zur Ausführungsplanung gingen. Zuletzt wurde die Anlage gebaut und soll nun in Betrieb genommen werden und, wie in der Aufgabenstellung noch zu lesen, optimiert werden.

2 Aufgabenstellung

Aus der Aufgabenstellung ist folgendes zu entnehmen: „An der Hochschule Merseburg soll im anlagentechnischen Praktikum ein neuer Versuchsstand zur Ermittlung von verfahrenstechnischen Kenndaten in Betrieb genommen werden. Bei den verfahrenstechnischen Kenndaten handelt es sich um Pumpen-, Ventil- und Anlagenkennlinien. Dazu ist zunächst der Ist-Zustand der Anlage „As-build“ aufzunehmen (Kennlinien und Dokumentation). Anschließend sind Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten und technisch umzusetzen. Entsprechend ist die Dokumentation nachzupflegen als „As-build“. Wenn erforderlich, sind auch die Kennlinien erneut aufzunehmen. Ziel ist, für die Studenten gut zu interpretierende Kennlinien zu erhalten und eine einfache Bedienung der Anlage zu gewährleisten.“

3 Grundlagen

3.1 Pumpenkennlinien

3.1.1 Kennlinie

Kreiselpumpen haben einen von der Förderhöhe H abhängigen Förderstrom Q. Die Funktion $Q=f(H)$ nennt man Pumpenkennlinie. Diese wird aufgenommen, indem ein Regelventil auf der Druckseite der Pumpe schrittweise geöffnet wird und so unterschiedliche Volumenströme und die dazugehörigen Druckdifferenzen Saugseite zu Druckseite in einem H/Q-Diagramm aufgenommen werden.

Förderstrom und Förderhöhe einer Pumpe

$$H = \frac{W_Q}{F_G} = \frac{\frac{W_Q}{t}}{\rho \cdot g \cdot \frac{V}{t}} = \frac{P_u}{\rho \cdot g \cdot QV}$$

W_Q =Förderenergie

P_u =Förderleistung der Pumpe=2,2KW

ρ =Dicht der Förderflüssigkeit =1000kg/m³

g = Erdbeschleunigung =9,81 N/kg

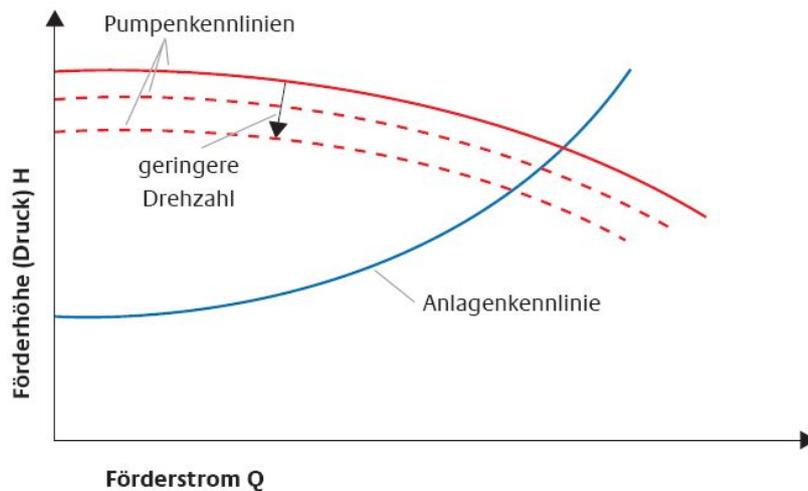


Abbildung1:Pumpenkennlinie (rot) und Anlagenkennlinie (blau)(Quelle:Prof. Schubert, Broschüre Apparatetechnik WS2012.)

Der augenblickliche Betriebspunkt ergibt sich als Schnittpunkt von Anlagen und Pumpenkennlinie (Abbildung 1). Es zeigt den geförderten Volumenstrom bei einer dazugehörigen Druckerhöhung, hier in Förderhöhe H ausgedrückt.

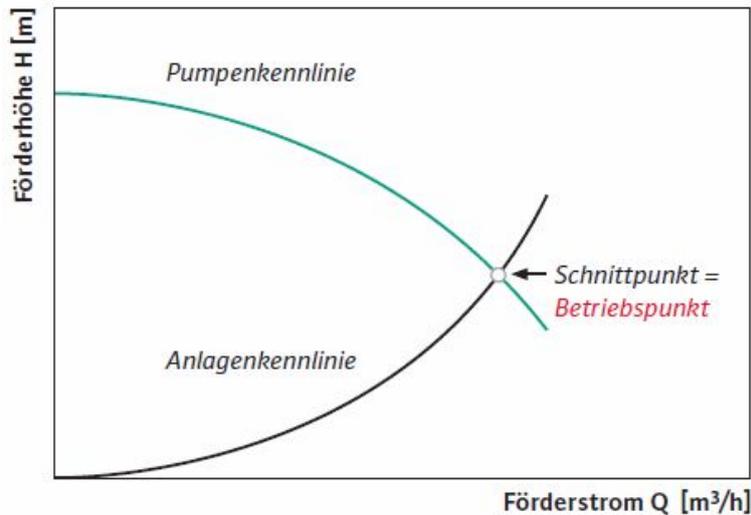


Abbildung 2: Betriebspunkt (Quelle: <http://www.haustechnikdialog.de/shkwiss-en/images/Pumpenkennlinie-Betriebspunkt-1.jpg>, abgerufen am: 28.02.2013.)

Es werden zwei Möglichkeiten der Betriebspunktanpassung vorgestellt:

- Bei der ersten Variante auch aus Lärmemissionsgründen ins Spiel gebracht wurde, soll eine Umrüstung des Pumpenantriebs auf drehzahlvariablen Betrieb erfolgen (Abbildung 3, a)).
- Bei der zweiten Variante wird der Pumpenantrieb nicht verändert. Der Betriebspunkt wird dann mit einem der eingebauten Schieber eingestellt (Abbildung 3, b)).

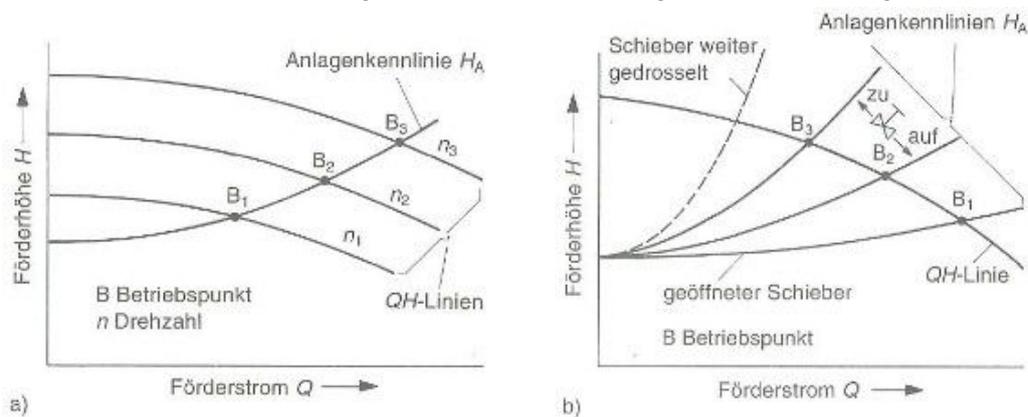


Abbildung 3: Lageänderung des Betriebspunktes durch zunehmende Drosselung und durch Erhöhung der Pumpendrehzahl von n_1 auf n_2 (Quelle: Wagner, Walter, Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen: Vogel, 1994, S.94.)

Pumpen können seriell und parallel geschaltet werden. Der Einfluss auf deren Kennlinien ist in Abbildung 4 zu sehen.

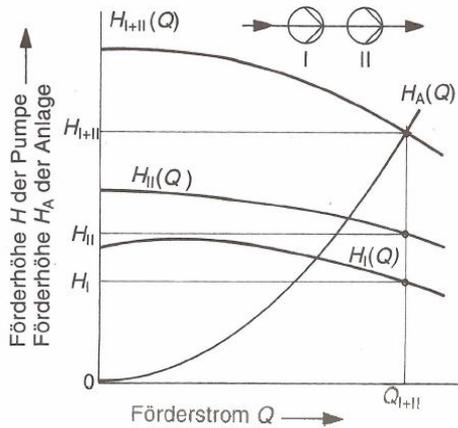


Bild 4.25 Serienschaltung zwei Kreiselpumpen I und II mit Kennlinien beliebiger Form

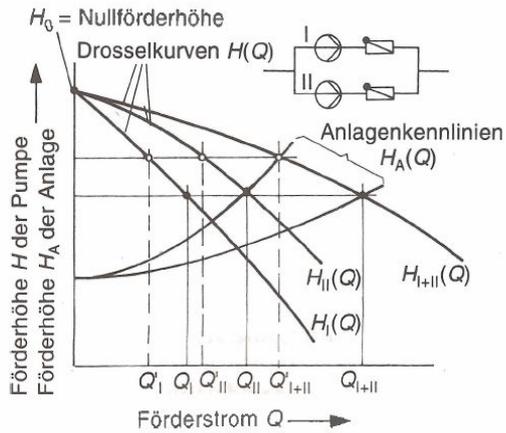


Bild 4.26 Parallelbetrieb zweier Kreiselpumpen I und II mit stabilen Drosselkurven

Abbildung 4: Parallelschaltung und Serielle Schaltung von Kreiselpumpen (Quelle: Prof. Schubert, Vorlesungsskript Apparatetechnik WS2012.)

3.1.2 Funktionsweise der Kreiselpumpe

Kreiselpumpen besitzen ein spiralförmiges Pumpengehäuse, in dem ein schaufelbesetztes Laufrad mit hoher Drehzahl rotiert. Es wird über die Pumpenwelle von einem Elektromotor angetrieben.

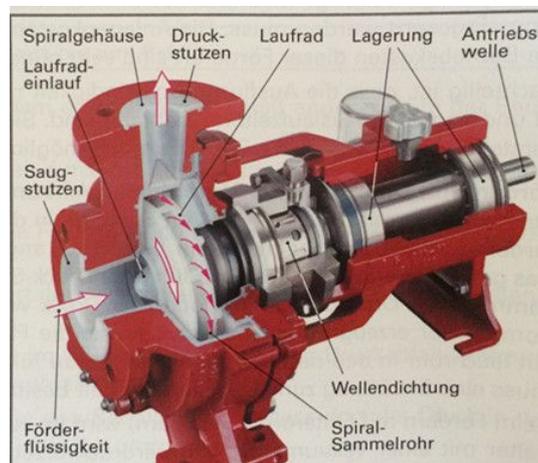


Abbildung 5: Blick in eine Kreiselpumpe (Quelle: aus der Buch: Chemietechnik)

Die Förderflüssigkeit tritt durch den in der Drehachse angeordneten Saugstutzen in die Pumpe ein und gelangt in den Laufradrumlauf. Dort wird sie vom rotierenden Laufrad auf eine Kreisbahn beschleunigt,

Durch die Wirkung der Zentrifugalkraft strömt die Förderflüssigkeit von der Drehachse radial nach außen in das spiralförmige Sammelrohr und von dort über den Druckstutzen in die Förderleitung. Durch die unterschiedlichen Stellen der Pumpe unterschiedliche Drücke.

Am Saugstutzen der Pumpe wird die Flüssigkeit angesaugt. Es herrscht dort Unterdruck, er entspricht der Saughöhe der Pumpe. In ihr wird die Förderflüssigkeit abgebremst und dabei ein Großteil, der in der schnell strömenden Flüssigkeit enthaltenen Bewegungsenergie, in statische Druckenergie umgewandelt.

Am Druckstutzen verlässt die Förderflüssigkeit die Pumpe mit einem Überdruck, er entspricht der Druckhöhe der Pumpe. Aufgrund der radial wirkenden Zentrifugalkraft werden Kreisumpen auch als Zentrifugalumpen oder Radialkreisumpen bezeichnet. (Ignatowitz, Chemietechnik, 2009)

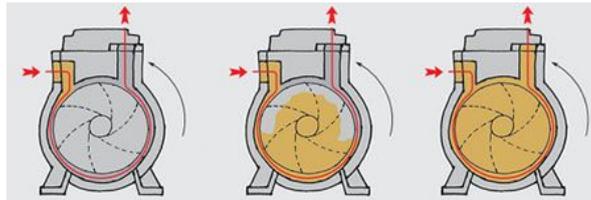


Abbildung 6: Kreiselpumpe (Quelle: http://www.krampitz.de/equipment_pics/kreiselpumpe_2.jpg)

Das wichtigste Stück von einer Kreiselpumpe ist das Laufrad. Es gibt viele Formen vom Laufrad. Das untere Bild zeigt ein offenes Laufrad. Die leicht gebogene Schaufel stellen zwischen zwei Scheiben, wobei die vordere Scheibe ein mittiges Ansaugloch besitzt. Das Laufrad teilt nach der Abströmrichtung der Förderflüssigkeit drei Typen: Radial-Laufräder, Axial-Laufräder, und Halbaxial-Laufräder.

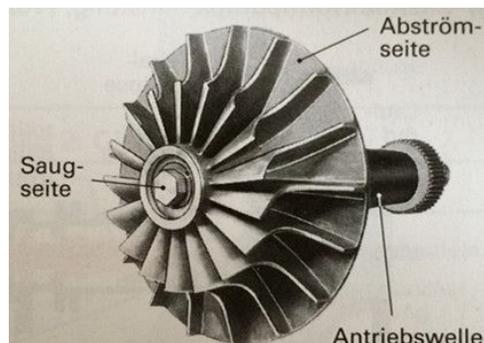


Abbildung 7: Pumpenlaufrad (Quelle: aus dem Buch: Chemietechnik)

Radial-Laufräder bewirken eine relativ große Förderhöhe bei geringem Förderstrom, Axial-Laufräder einen großen Förderstrom und eine geringe Förderhöhe, Halbaxial-Laufräder liegen in ihren Kennwerten dazwischen. (Ignatowitz D.-I. E., 2009)

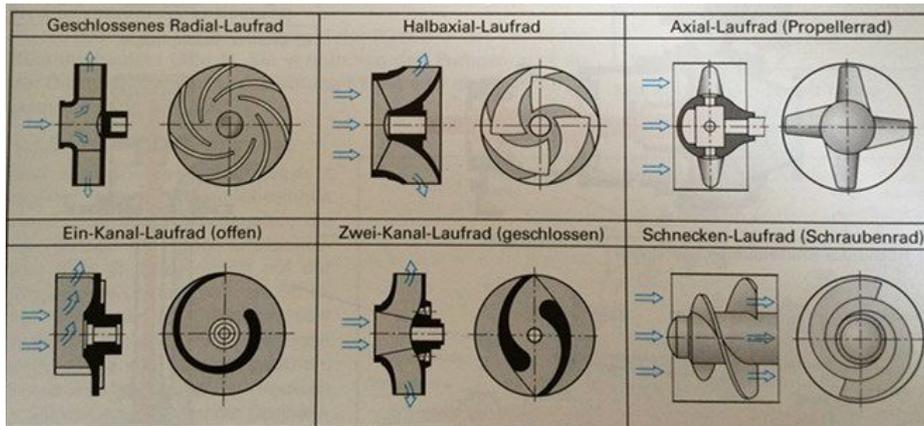


Abbildung 8: Laufradformen von Kreiselpumpen (Quelle: aus der Buch: Chemietechnik)

Der Förderstrom (Q) einer Kreiselpumpe ist der von der Pumpe durch ihren Austrittsquerschnitt geförderte nutzbare Volumenstrom. Die Volumenströme, welche vor dem Austrittsquerschnitt der Ermittlung des Förderstroms der Pumpe berücksichtigt werden.

Bei merklicher Kompressibilität der Förderflüssigkeit ist auf der Zustand im Pumpensaugstutzen umzurechnen. Und Volumen ist das arithmetische Mittel $(Q_s + Q_d)/2$ maßgebend. Die Einheit des Förderstroms ist m^3/s , aber gebräuchlicher in der Kreiselpumpentechnik sind m^3/h und l/s . Für die Messung des Förderstroms gibt es diverse Messverfahren. Im Zusammenhang mit der Drosselkurve gibt es verschiedene Förderströme.

Förderströme und ihre Bedeutung:

1. Best-Förderstrom (Q_{pt}): Förderstrom im Betriebspunkt besteht. Wirkungsgrades bei Drehzahl und Förderflüssigkeit nach Liefervertrag.
2. Nennförderstrom (Q_v): Förderstrom für den die Pumpe ausgelegt ist.
3. Liefervertragsstrom (Q_{lie}): im Liefervertrag (Auftragsbestätigung) vereinbarter Förderstrom.
4. Mindest-Förderstrom (Q_{min}): kleinstet zulässiger Förderstrom, welchen die Pumpe ohne Schaden zu nehmen dauernd bei Drehzahl und Förderstrom im Scheitelpunkt einer instabilen Drosselkurve.

3.2 Anlagenkennlinien

Kreiselpumpen fördern einen pulsationsarmen Förderstrom Q durch eine Rohrleitung.

Dabei erfährt die Strömung Widerstände in Form von Rohrreibung, Umlenkung, Strömungseinschnürung. Diese Widerstände und daraus resultierenden Druckverluste werden mit steigender Strömungsgeschwindigkeit größer. In der Praxis werden die Druckverluste als Verluhöhen umgerechnet, um von der Dichte des geförderten Mediums unabhängig zu sein.

Die Funktion $H=f(Q)$ bezeichnet man als Anlagenkennlinie (Abbildung 7). Diese setzt sich nach Bernoulli aus drei Teilen (geodätischer Druck, statischer Druck, dynamischer Druck) und einem vierten Reibungsverlustteil, der ebenfalls dynamischer Art ist, zusammen.

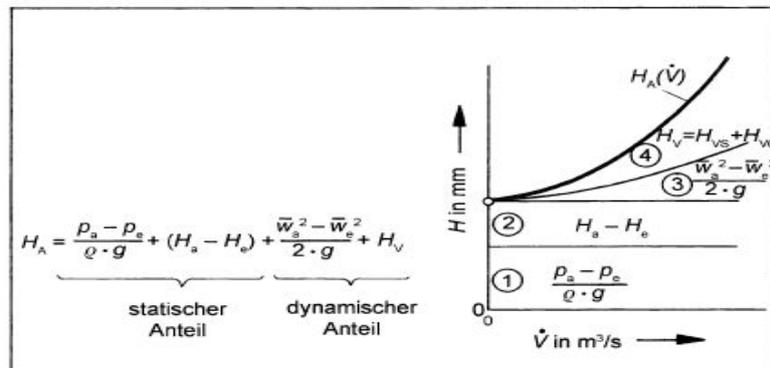


Abbildung 9: Anlagenkennlinie/Rohrleitungskennlinie(Quelle:Prof. Schubert, Vorlesungsskript Apparatechnik WS2012.)

3.3 Ventilkennlinien

Armaturen, auch Absperrorgane oder Stellglieder genannt, dienen zum Sperrern und Öffnen von Rohrleitungen (Schalten), zum Regulieren von Fluidströmen (Stellen) sowie zur Sicherung von Anlagen. (Ignatowitz, 2009) Armaturen wird in Schieber, Klappen, Hähne, Ventile verteilt. Sie bewirken die geforderte Öffnung, Änderung oder Zustellung des Fluidstroms.

Schieber: Der Absperrkörper bewegt sich quer zur Fließrichtung.

Klappen: Der Absperrkörper bewegt sich um eine Drehachse quer zur Fließrichtung. Das Fluid umströmt den Absperrkörper. Er kann sich um 90° drehen.

Hähne: Der Absperrkörper bewegt sich um eine Drehachse quer zur Fließrichtung. Das Fluid durchströmt den Absperrkörper. Er kann sich um 90° drehen.

Ventile: Der Absperrkörper bewegt sich gegen die Richtung des Fluids oder in seine Richtung.

Ventile sind die am meisten verwendeten Schalt- und Stellarmaturen. Das Ventil ist ein Bauteil zur Absperrung oder Regelung des Durchflusses von Fluiden (Flüssigkeiten und Gasen). In Ventilen wird ein Verschlussstück (z. B. ein Kegel oder eine Kugel) nahezu parallel zur Strömungsrichtung des Fluids bewegt. Die Strömung wird reduziert oder unterbrochen, indem das Verschlussstück über einen gesamten Umfang auf einer passend geformten Öffnung angepresst wird. Sie werden nach ihrem Einsatzort unterscheiden. Vor Schaltarmaturen gibt es Absperrventile, Regelventile, selbstschließende Ventile, Sicherheitsventile, 3-Weg-Hahn (Dreiweghahn) usw.

Das Kolbenventil ist ein Typ von Absperrkörper mit einem zylindrischen Kolben. Das Öffnen und das Schließen vom Kolbenventil wird durch einen unten angeschrägten Kolben, der mit Hilfe der Spindel in den unteren Ventiltring geschoben wird. Durch den oberen Ventiltring, der

die Funktion einer Stopfbuchse hat und gleichzeitig als Führungslager für den Kolben dient, wird der Ventilraum nach außen abgedichtet. Beim Nachlassen des elastischen Ventilrings wird das Ventiloberteil angezogen. Dadurch presst sich der obere Ventilring an den Kolben und dichtet nach außen ab. (tu 36)

Der Durchsatz einer Flüssigkeit oder eines Gases durch eine Armatur- bei speziellem Hub oder auch Öffnungsgrad- wird als K_V -Wert angegeben und dient zur Auswahl und Dimensionierung der Ventile.

Als Hub wurde früher ausschließlich die senkrechte Bewegung eines Objekts von unten nach oben bezeichnet. Das ursprüngliche Wort „Hub“ lässt sich daher von heben ableiten.

Der K_V -Wert wird auch als Durchflussfaktor oder als Durchflusskoeffizient bezeichnet. Er ist ein Maß für den erzielbaren Durchsatz einer Flüssigkeit oder eines Gases durch ein Ventil und dient zur Auswahl und Dimensionierung von Ventilen. Der K_V -Wert wird in der Einheit m^3/h angegeben und ist als effektiver Querschnitt interpretierbar. Je nach der Größe der Ventil wird er häufig auch in l/min angegeben. Bei Flüssigkeiten entspricht der K_V -Wert dem Wasserdurchfluss $[m^3/h]$ durch ein Ventil bei einer Druckdifferenz von 1bar und einer Wassertemperatur von $5-30^\circ C$ (Dichteunterschied in diesem Temperaturbereich vernachlässigbar klein). Der K_V -Wert eines Ventils bei Nennhub, sprich bei 100% Öffnungsgrad, wird als K_{VS} -Wert bezeichnet. Der K_{VS} -Wert ist ein Maß für den Durchfluss durch ein Regelventil bei vollständig geöffneten Ventil und einem Druckverlust von 1bar entlang des Ventils, Damit ist der K_{VS} -Wert ein Sonderfall des K_V -Wert der den Durchfluss durch ein Regelventil bei vorgegebener Ventilstellung und einem Druckverlust von 1 bar entlang des Ventils beschreibt. Anhand des K_{VS} -Wert kann bei einem Ventil der maximal mögliche Durchsatz ermittelt werden.

Die folgende Gleichung dient der Berechnung des K_V -Wertes bei Druckverlusten zwischen 0,35 und 1 bar:

$$K_V = Q \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p} \cdot \frac{\rho}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

mit:

- K_V = Durchflusskoeffizient $[m^3/h]$
- Q = Volumendurchfluss $[m^3/h]$
- Δp = Druckdifferenz (Eintrittsdruck-Ausdruck) [bar]
- ρ = Dichte des Fluids $[kg/m^3]$

Für Wasser als Medium vereinfacht sich die Formel zu:

$$K_V = Q \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p}}$$

Genau genommen gilt dieser Zusammenhang nur für kaltes Wasser, da die Dichte mit steigender Temperatur abnimmt. Wasser von $100^\circ C$ hat z.B. eine ca. 4% geringere Dichte.

Bei bekanntem K_V -Wert lässt sich der Durchsatz für beliebige Dichten und Druckdifferenzen bestimmen. Dabei gilt allgemein (unter Annahme der Inkompressibilität)

$$\text{Volumenstrom} \sim \sqrt{\frac{\text{Druckdifferenz}}{\text{Dichte}}}$$

Zur Erstellung einer Ventilkennlinie wird der Kv-Wert gegen den Öffnungsgrad des Ventils (z.B. 0-100%) aufgetragen. Es werden somit die resultierenden Förderströme Q [m^3/h] und die resultierenden Druckverluste Δp bei verschiedenen Ventilstellungen [%] aufgenommen. Diese Daten werden mit obiger Gleichung zu den dazugehörigen Kv-Werten umgerechnet, so dass letztendlich ein Kv/Öffnungsgrad-Diagramm als Ventilkennlinie resultiert.

Die Spindel des Gradsitzventil ist senkrecht zur Strömungsrichtung. Die Strömung muss viermal um 90° umgelenkt werden. Die Widerstände sind deshalb hoch. Die Strömung wird weniger stark umgelenkt bei dem Schrägsitzventil. Deshalb sind die Druckverluste geringer.

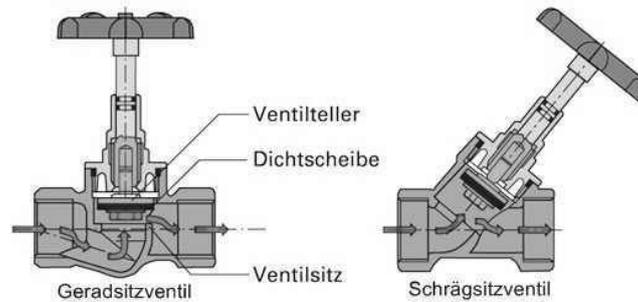


Abbildung 10: Geradsitz- und Schrägsitzventil (Quelle: <http://www.bosy-online.de/Absperrarmaturen.htm>, abgerufen am: 03.03.2013.)

4 Aufnahme der „As-build“-Dokumentation vor der Optimierung

Das ist das ursprünglich R&I des geplanten Prüfstands. Das Wasser muss durch die Leitungen mit die Pumpen versorgte Energie den Behälter erreichen. Wenn das Wasser durch die Leitungen (Rohrregister) flüssigen, gibt es großen Widerstand, so dass die Leistung reduziert.

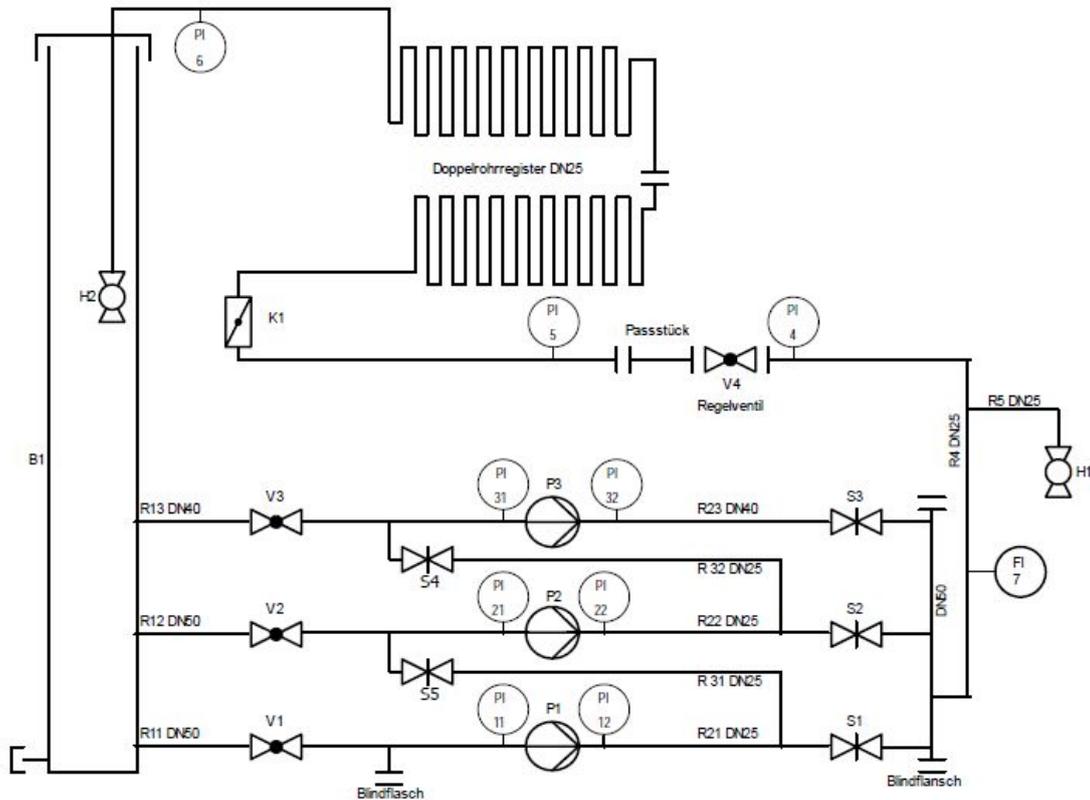


Abbildung 11: R&I Prüfungsstand vor der Optimierung

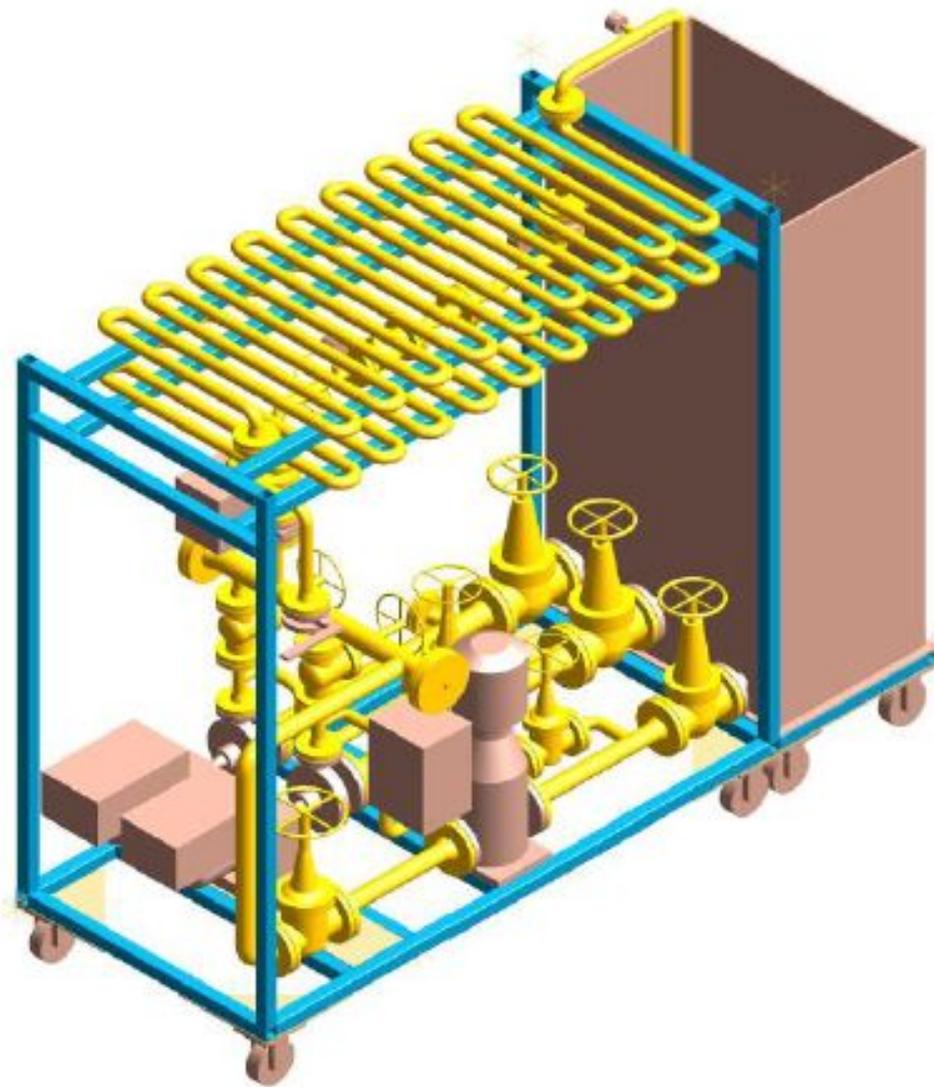


Abbildung 12: 3D AVEVA Isometrie der Pumpenanlage

Bei der Aufnahme der Kennlinien wurde festgestellt, dass der Reibungswiderstand im Rohrregister zur Aufnahme von Pumpenkennlinien zu groß ist. Diese Erkenntnis floss mit in die Optimierung ein.

5 Optimierungsvorschläge und technische Umsetzung

Es gibt drei Optimierungen vorgeschlagen:

1. Neues Stellventil mit verbesserter Regelbarkeit.
2. Kurzschlussleitung, um bei der Aufnahme von Pumpenkennlinien nicht über das verlustreichen Rohrregister fahren zu müssen
3. E-Schaltkasten zur separaten ein/aus-Schaltung der Pumpen

Diese Optimierungsvorschläge sind im „neuen“ R&I berücksichtigt (siehe Abbildung XY).

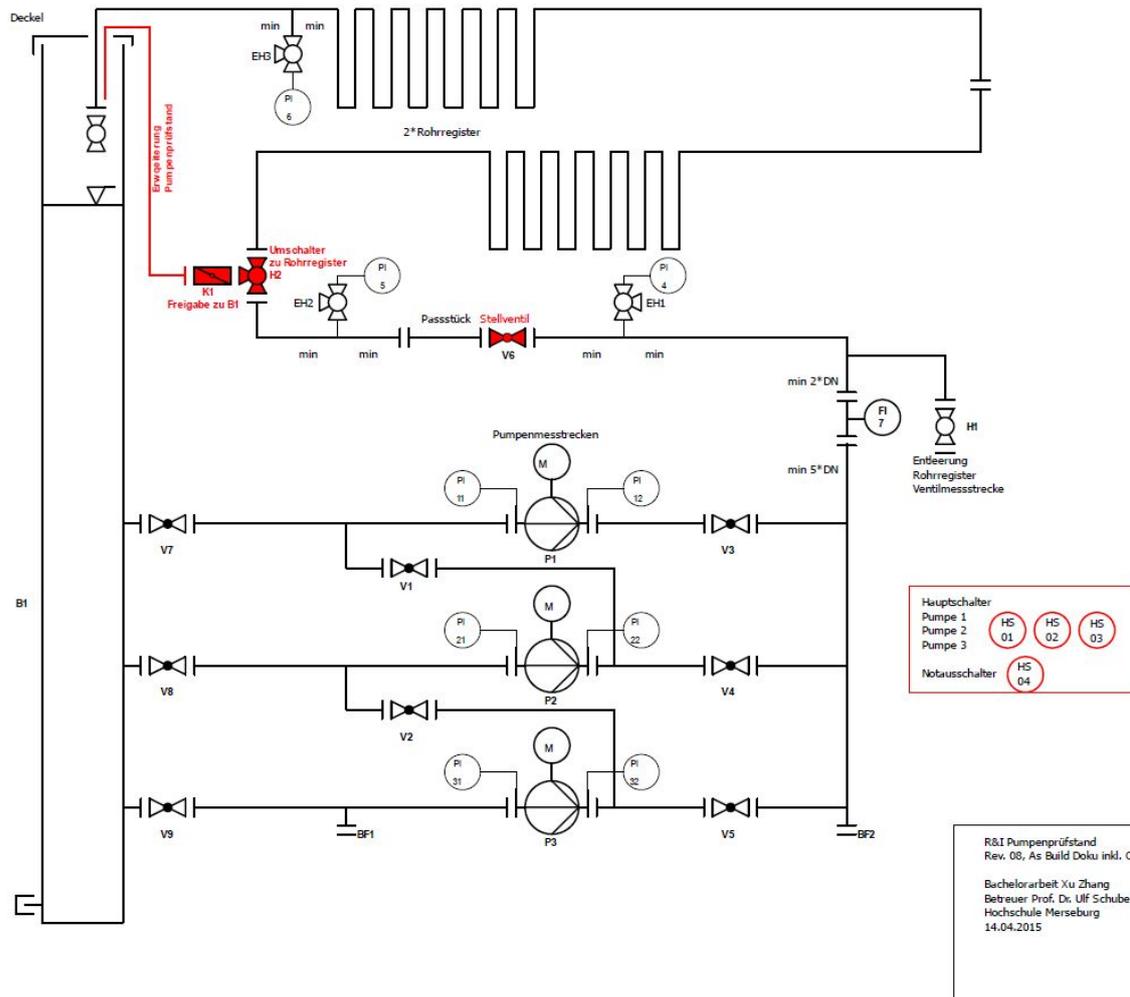


Abbildung 13: ein verwendet "As-Bild" von Opterimierung

5.1 Neues Stellventil

Dazu wurde recherchiert und Anfragen gestellt. 3 Angebote wurden eingeholt und sind in der folgenden Tabelle ausgewertet:

Ventil - Nr.	1		2		3		4	
Armatur	Stellventil		Schrägsitz- Absperrventil		Kolbenschieberventil		Zweiwegeventil	
Anbieter	ARI Armaturen		ACI-Industriearmaturen		Klinger-Schöneberg		Oventrop	
Angeb. Nr.	500030283	Preis [€]	240315- GF009	Preis [€]	1342670	Preis [€]	per Telefon	Preis [€]
technisch	ARI- Ventil	412.20	KSB-Ventil	285.00	Klinger- Schöneberg	129.58	Oventrop brutto	168.95
	Handrad		Handrad		Handrad		ohne Handrad	20.00
	gleichprozentig		linear		linear		linear	
	PN16, DN25		PN25/40, DN25		PN16, DN25		PN16, DN25	
	Guss, Kennlinie verfügbar		Guss, Kennlinie verfügbar		Guss, Kennlinie nicht verfügbar		Guss, Kennlinie nicht verfügbar	
kaufmännisch	30 Tage netto		14 Tage netto		30 Tage netto		nicht bekannt	
	8 Tage 2% Skonto		kein Skonto		kein Skonto		nicht bekannt	
	3 Wochen Lieferzeit		4-5 Wochen Lieferzeit		ab Lager		nicht bekannt	
					Mindestbestellwert 150€ netto			
	Incotherms 2010 CPT	0.00	ab Werk zz. Verpackung	30.00	EXW, zzgl. Verpackung	30.00	EXW, zzgl. Verpackung	30.00
netto Summe		412.20		315.00		159.58		218.95
+19% Ust								
brutto Summe		490.51 8		374.85		189.90		218.95
				Bestellung!				

Tagbelle 1: Vergleich Beschaffung Regelventile

Kaufentscheidung: Technisch ist Ventil Nr. 1 ein Stellventil mit Ventilkennlinie, welches allen technischen Ansprüche erfüllt. Ventil Nr. 2 ist ein Absperrventil und kein Stellventil, hat aber eine verfügbare, brauchbare Kennlinie, ist in PN25/40 lieferbar und passt somit noch zu PN16. Die Ventile Nr. 3 und 4 haben keine Kennlinien, 3 scheidet kaufmännisch aus, da

Nettobestellwert <150€, 4 scheidet aus, da spezielles Handrad erforderlich. Fällt die Entscheidung zwischen 1 und 2. 2 ist günstiger als 1, ist technisch schlechter, scheint jedoch den Anforderungen zu genügen --> somit 2 bestellen.

In Abbildung 19 ist das alte und das neue Regelventil zu sehen.

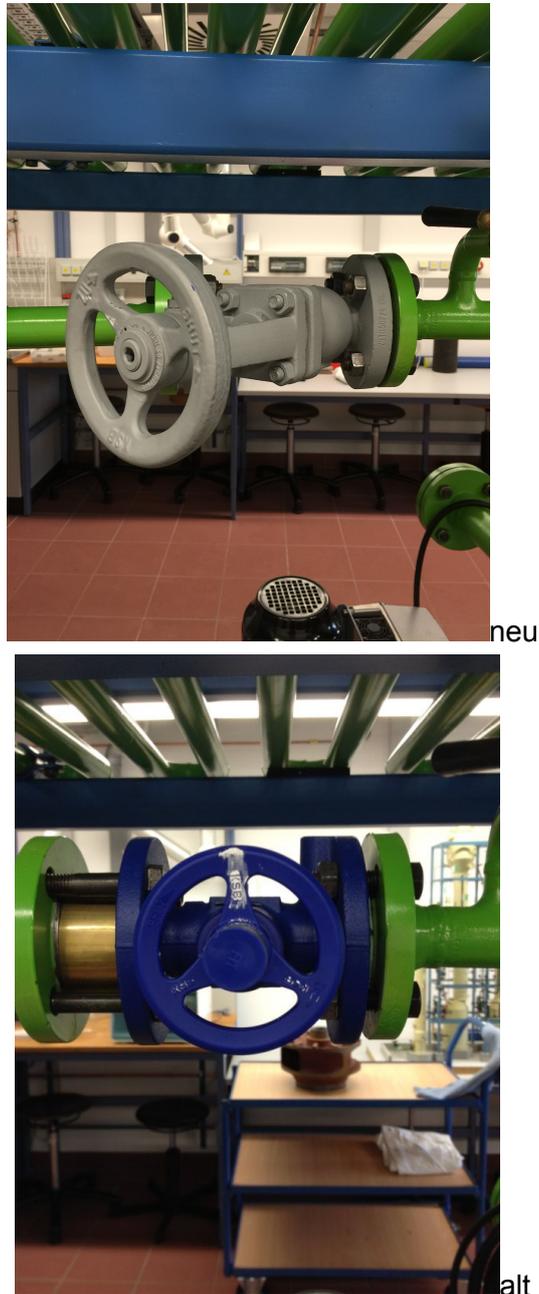


Abbildung 14: das Schrägsventil und das Stellventil

Das Schrägsventil ersetzt das Stellventil als die Kontrolle vom Volumenstrom.

5.2 Kurzschlussleitung

Zur Planung wurde eine isometrische Rohrleitungszeichnung per Hand erstellt, sodass das Material inkl. 3Wegehahn bestellt und die Leitung geschweißt werden konnte. (Abbildung XY). Die fertige Rohrleitung ist in den Abbildungen XY zu sehen)

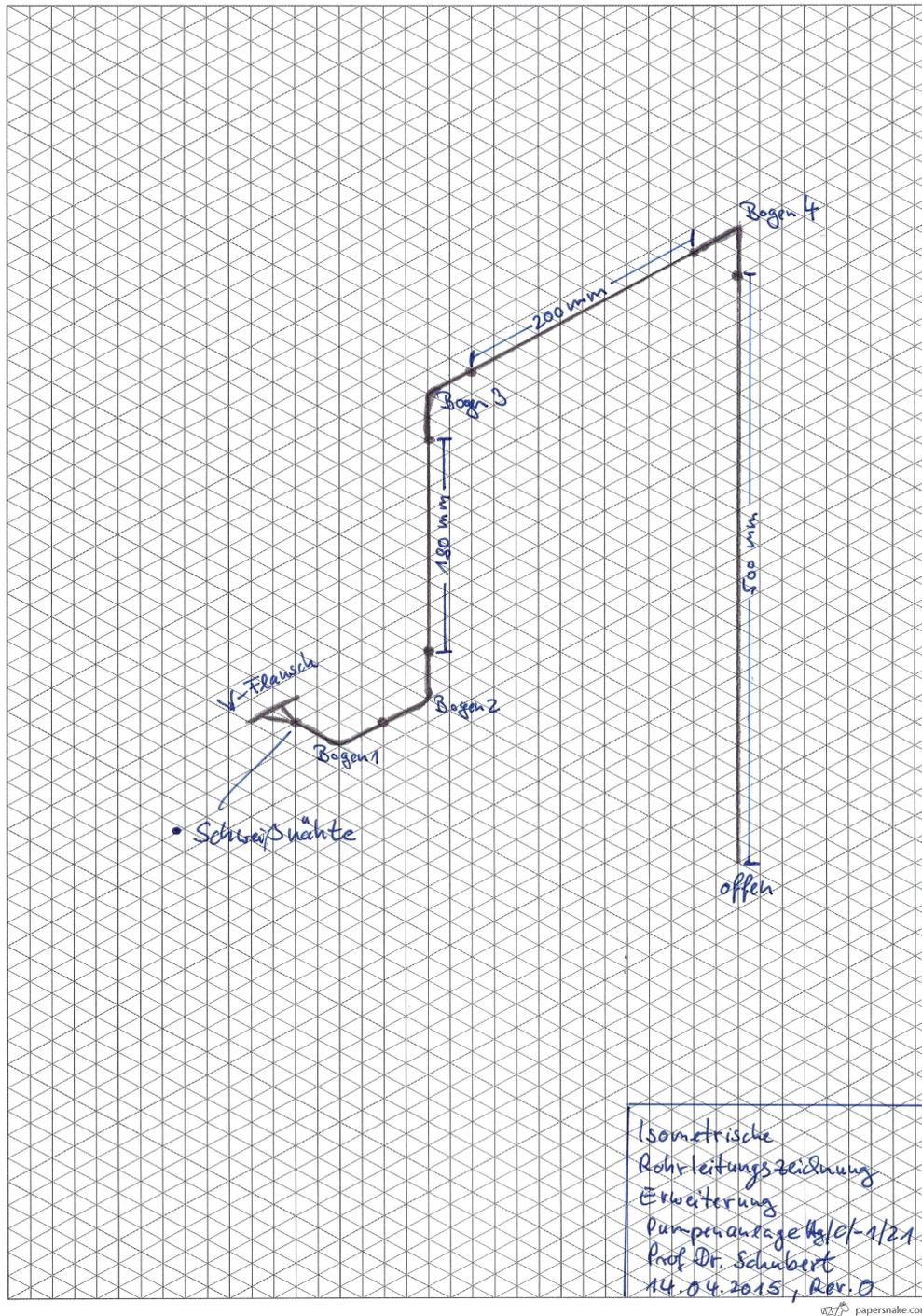


Abbildung 15: die Rohrleitungen von Optimierung

Das opterierte „As-Bild“ ist in Kraft gesetzt. Nur der hinzufügte Weg unterscheidet zu davor. Der Vorteil ist, dass man nicht ein Loch in der Wand vom Behälter braucht, das heißt, die optimierte Schritte werden vereinfacht.



Abbildung 16: die zunehmende Wasserleitungen von „As-Bild“

Die zunehmende Wasserleitung besteht aus drei Bogen, drei Rohrleitungen und ein Verbindung. Der Apparat verbindet den zweiten Weg und den Wasserbehälter.



Abbildung 17: der Drei-Weg-Hahn

Durch Drehung des Griffs kann die zwei Wegen gegenseitig wechselt werden.

5.3 E-Schaltkasten

Um den Überstrom beim Einschalten zu verhindern, der regelmäßig zum Auslösen der Sicherung führt, wurde ein Schaltkasten mit separater Einschaltung jeder Pumpe geplant und gebaut. Der „Not-Aus-Taster“ wurde technisch nicht umgesetzt. In der Abbildung 20, sind die Planung sowie die Umsetzung zu sehen. Die elektrotechnische Planung und Umsetzung wurde von elektrotechnischen Fachleuten vorgenommen, ebenso die Abnahme der Anlage.

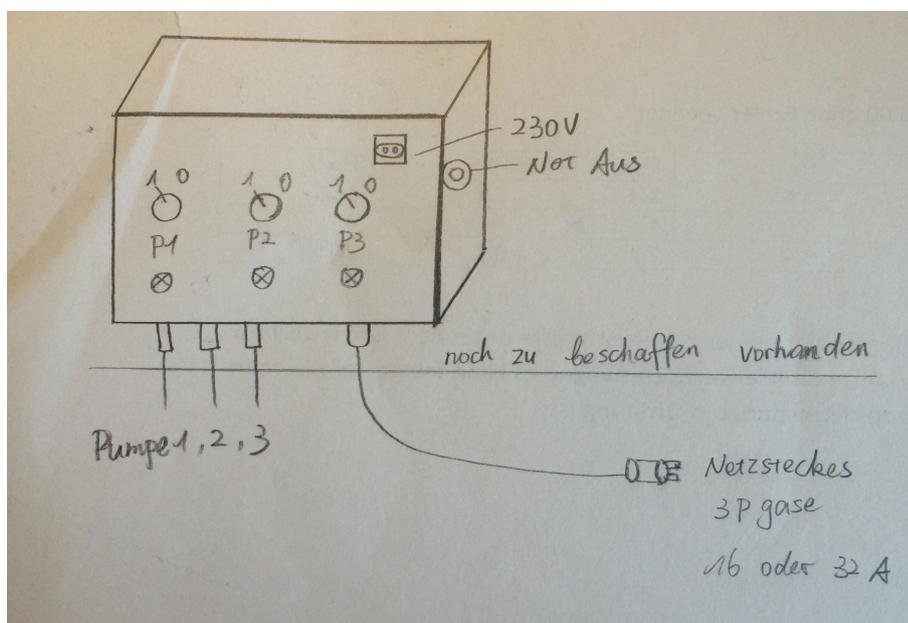
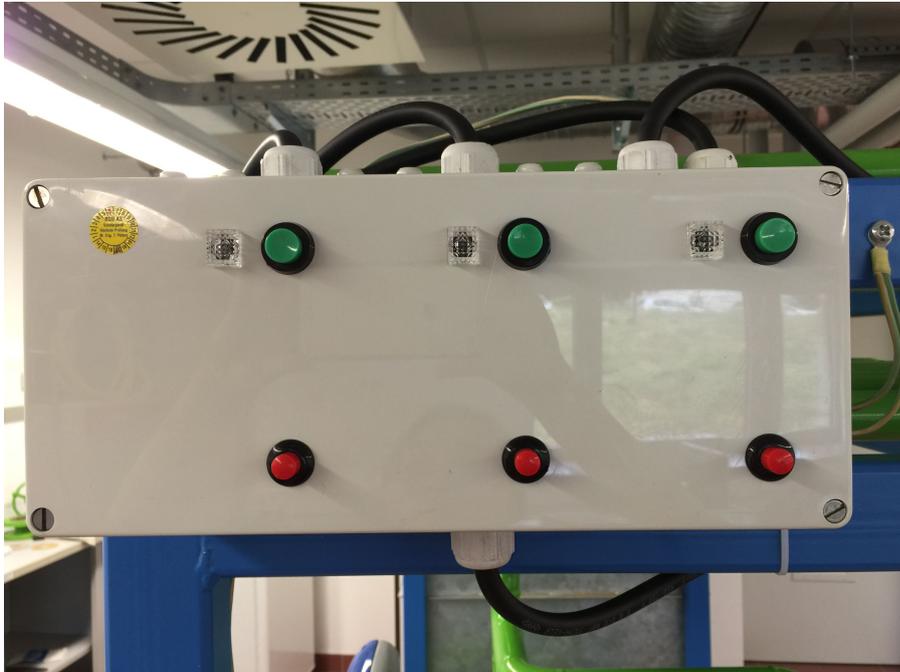


Abbildung 18: Planung und Umsetzung des Schaltkastens für die Pumpen

6 Aufnahme der Kennlinien nach der Optimierung

Es wurden zahlreiche Kennlinien aufgenommen. Dazu zählen Parallelschaltungen sowie serielle Pumpenschaltungen ebenso, wie die Aufnahme jeder einzelnen Pumpe mit der Strömung über das Rohrregister und im Kurzschluss am Rohrregister vorbei direkt in den Pufferbehälter B1. Die Strömungswege sind in Abbildung 19 verdeutlicht, die Schaltungsvarianten der Versuche sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Ergebnisse sind in 7 gezeigt und diskutiert.

Versuch Nr	Ventilkennlinie	Teil-Anlagenk.	P1, P2, P3 seriell,parall, einz.
1	-	-	P1 einzeln, Weg 1*
2	-	-	P1 einzeln, Weg 2**
3	-	-	P2 einzeln, Weg 1
4	-	-	P2 einzeln, Weg 2
5	-	-	P3 einzeln, Weg 1
6	-	-	P3 einzeln, Weg 2
7	-	-	P1 parallel P2, Weg 1
8	-	-	P1 parallel P2, Weg 2
9	-	-	P1 parallel P3, Weg 1
10	-	-	P1 parallel P3, Weg 2
11	-	-	P2 parallel P3, Weg 1
12	-	-	P2 parallel P3, Weg 2
13	-	-	P1 ,l P2 parallel P3, Weg 1
14	-	-	P1 ,l P2 parallel P3, Weg 2
-	-	-	serielle Pumpenschaltungen fehlen
15	Weg 1, P1	-	-
16	Weg 2, P1	-	-
17	Weg 1, P2	-	-
18	Weg 2, P2	-	-
19	Weg 1, P3	-	-
20	Weg 2, P3	-	-
21	-	Weg 1, P1	-
22	-	Weg 1, P2	-
23		Weg 1, P3	
24		Weg 1, P1+P2 parallel	

* Weg 1: der Strom durch das „Rohrregister“

**Weg 2: der Strom nicht durch das „Rohrregister“, über „neuen“ Bypass an dem Rohrregister vorbei

Tabelle2: Versuche zur Aufnahme der Kennlinien und Angabe der Strömungswege

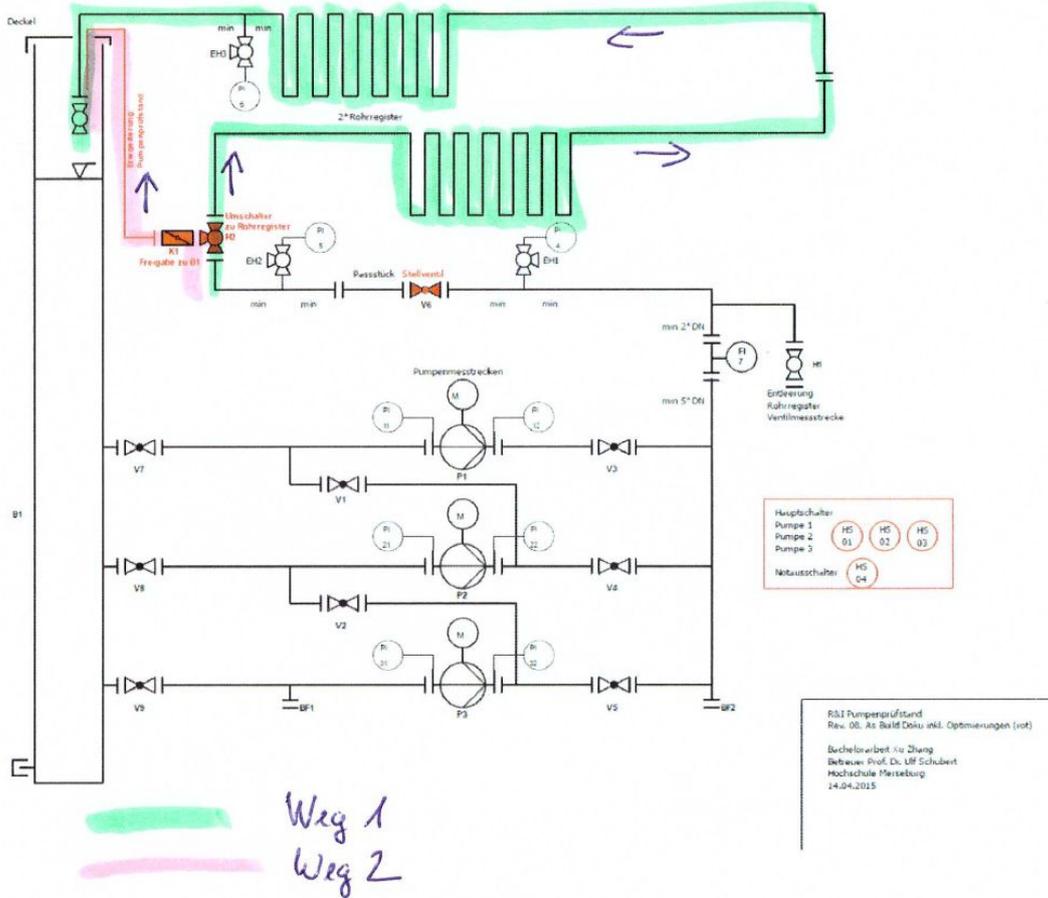


Abbildung 19: Darstellung der möglichen Strömungswege bei den Kennlinienaufnahmen (Weg 1 über das Rohrregister, Weg 2 über den Kurzschluss)

7 Ergebnisse und Diskussion

7.1 Pumpenkennlinien

Versuch Nr. 1: Pumpe 1 einzeln, Strömungsweg: Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom (m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	17.2
1	2.2	16.8
2	2.8	16.2
3	2.9	15.9
4	3	15.8
5	3.1	15.7
6	3.1	15.5

Tabelle 3: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

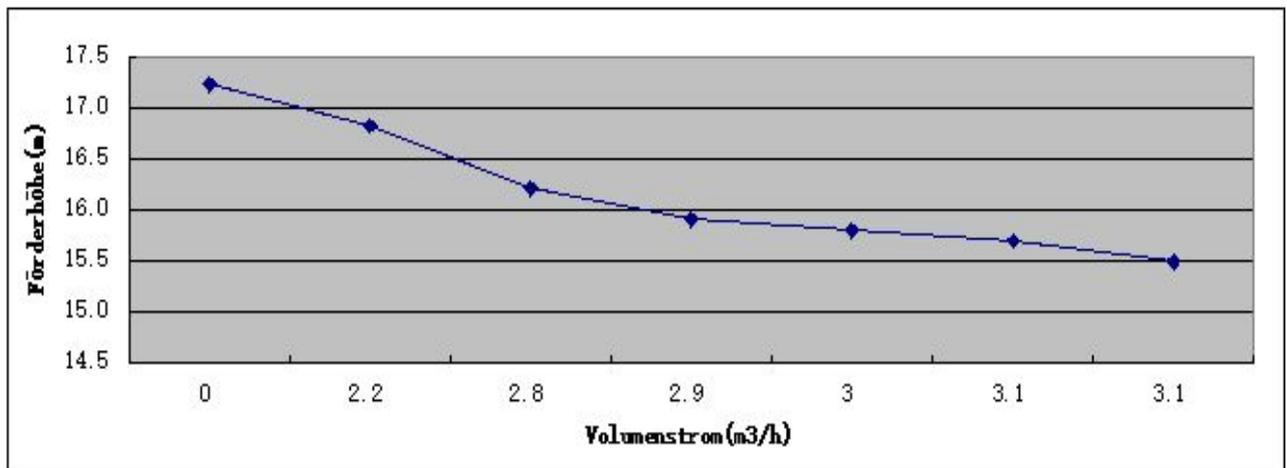


Abbildung 20: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 2: Pumpe 1 einzeln, Strömungsweg: Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	17.6
1	2.6	16.3
2	4	16.1
3	4.4	15.8
4	4.7	15.4
5	4.9	15.2
6	5	15.0

Tabelle 4: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

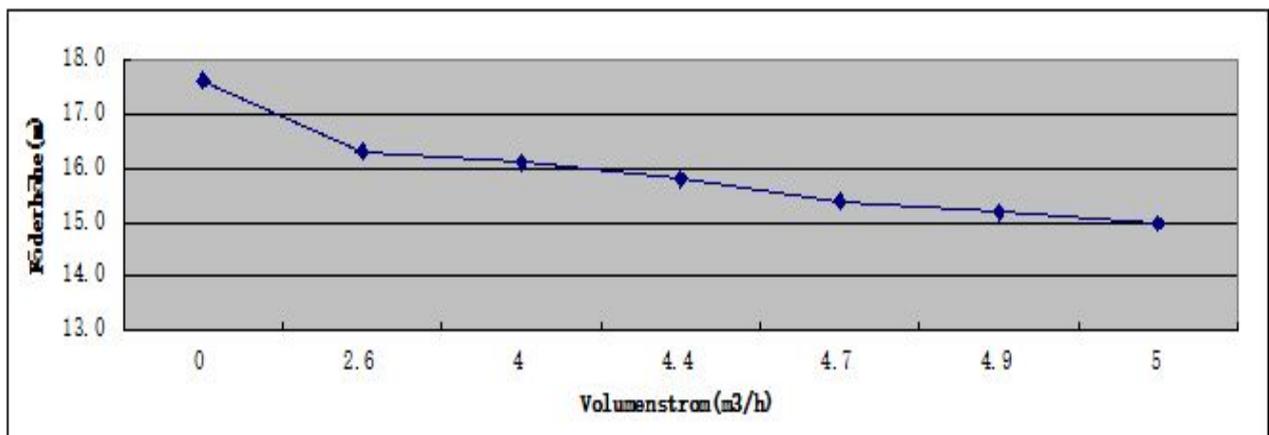


Abbildung 21: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

Versuch Nr. 3: Pumpe 2 einzeln, Strömungsweg: Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	16.3
1	2.1	15.2
2	2.7	14.9
3	2.9	14.9
4	3,0	14.9
5	3,0	14.8
6	3.1	14.7

Tabelle 5: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

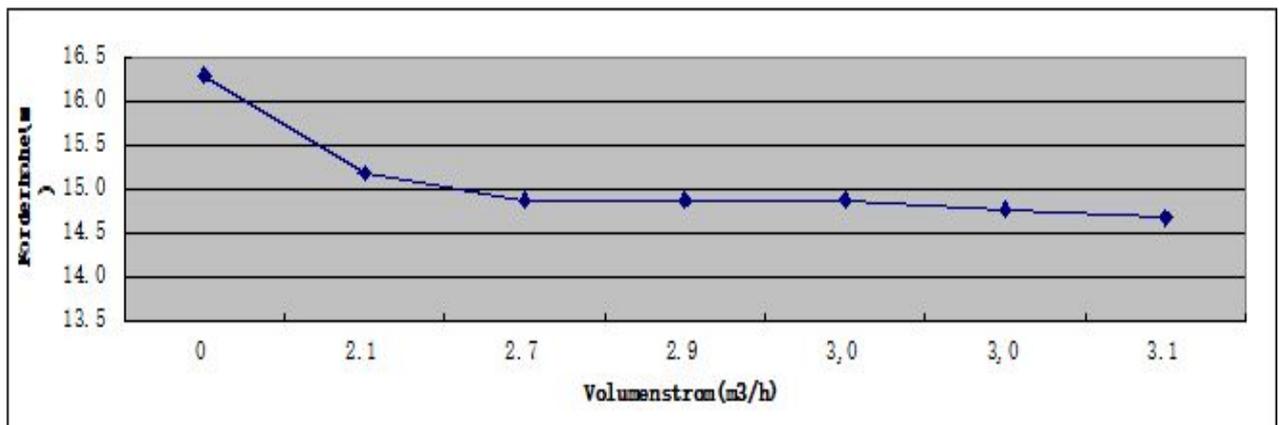


Abbildung 22: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 4: Pumpe 2 einzeln, Strömungsweg: Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	16.3
1	2.6	14.8
2	3.9	14.4
3	4.3	14.1
4	4.6	14.1
5	4.8	14.1
6	4.9	14.0

Tabelle 6: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

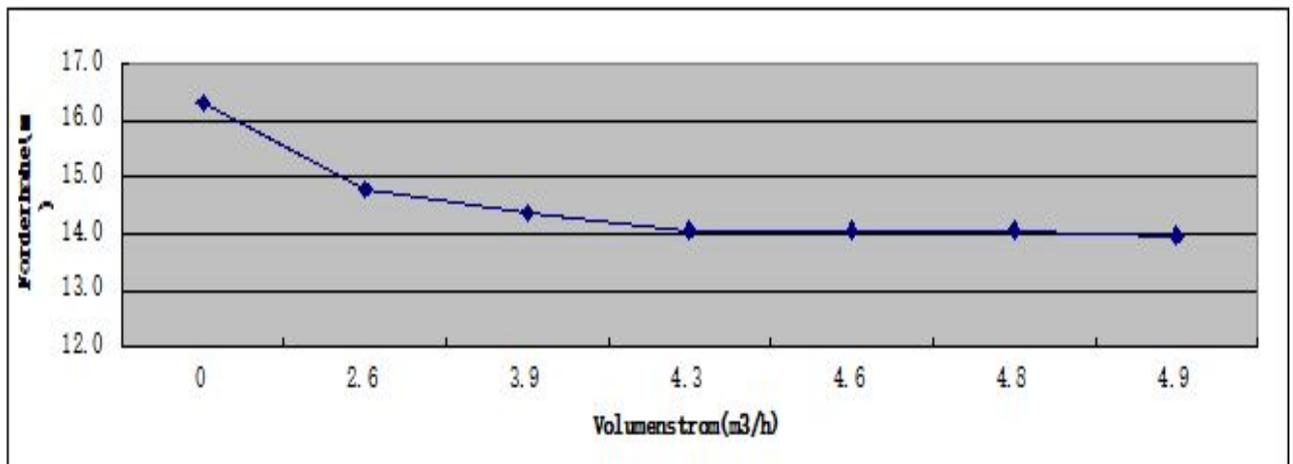


Abbildung 23: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

Versuch Nr. 5: Pumpe 3 einzeln, Strömungsweg: Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	8.4
1	0.9	8.1
2	1.4	7.7
3	1.5	7.5
4	1.6	7.3
5	1.6	7.2
6	1.6	7.2

Tabelle 7: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

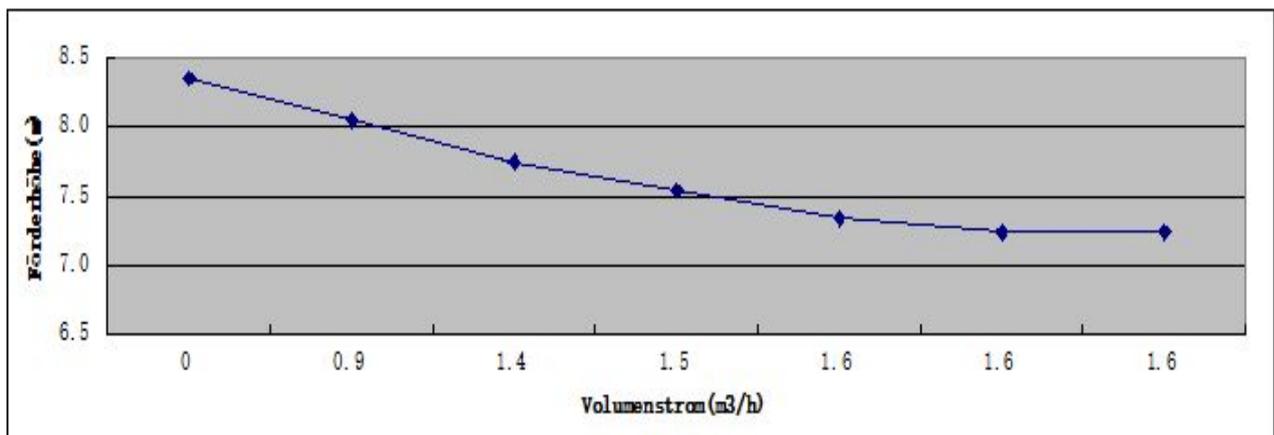


Abbildung 24: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 6: Pumpe 3 einzeln, Strömungsweg: Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	9.0
1	1.4	8.6
2	2.1	8.3
3	2.5	8.1
4	2.8	7.8
5	2.9	7.6
6	3	7.6

Tabelle 8: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom manche durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

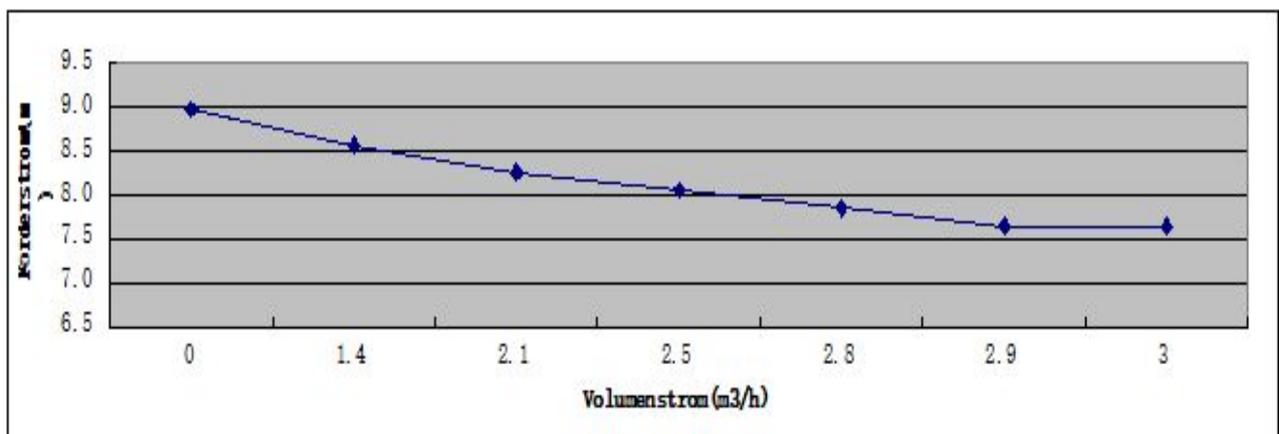


Abbildung 25: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom manche durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

Versuch Nr. 7: Pumpe 1+2 parallel, Strömungsweg: Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	3.0
1	2.1	2.7
2	2.7	2.4
3	2.9	2.4
4	3	2.3
5	3	2.1
6	3	2.0

Tabelle 9: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

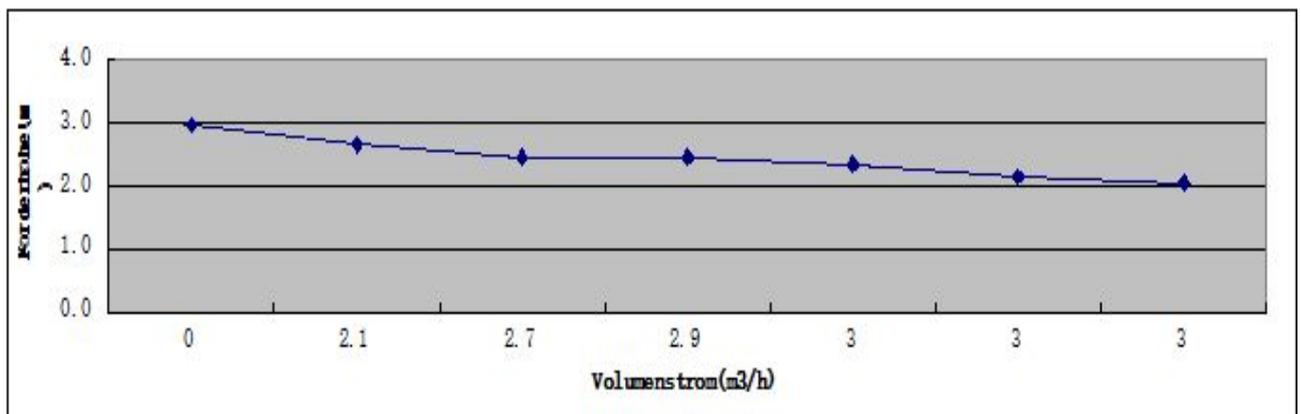


Abbildung 26: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 8: Pumpe 1+2 parallel, Strömungsweg: Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	22.8
1	4.7	22.7
2	7.9	22.6
3	9.2	22.2
4	9.6	22.0
5	9.9	21.9
6	10.1	21.9

Tabelle 10: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

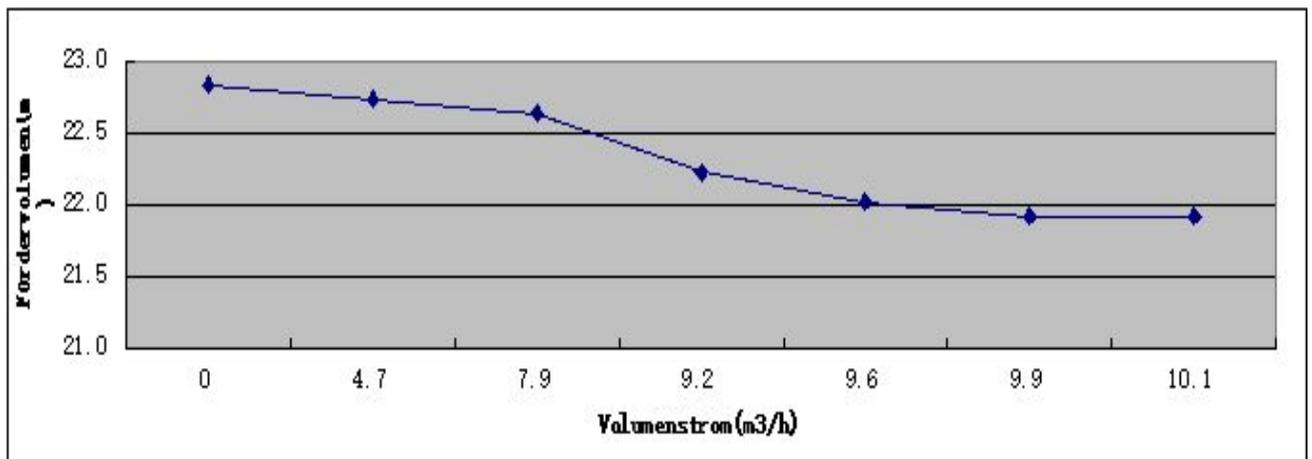


Abbildung 27: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

Versuch Nr. 9: Pumpe 1+3 parallel, Strömungsweg: Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	38.7
1	3.7	36.7
2	5	34.7
3	5.3	33.6
4	5.4	33.6
5	5.5	33.6
6	5.5	33.6

Tabelle 11: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

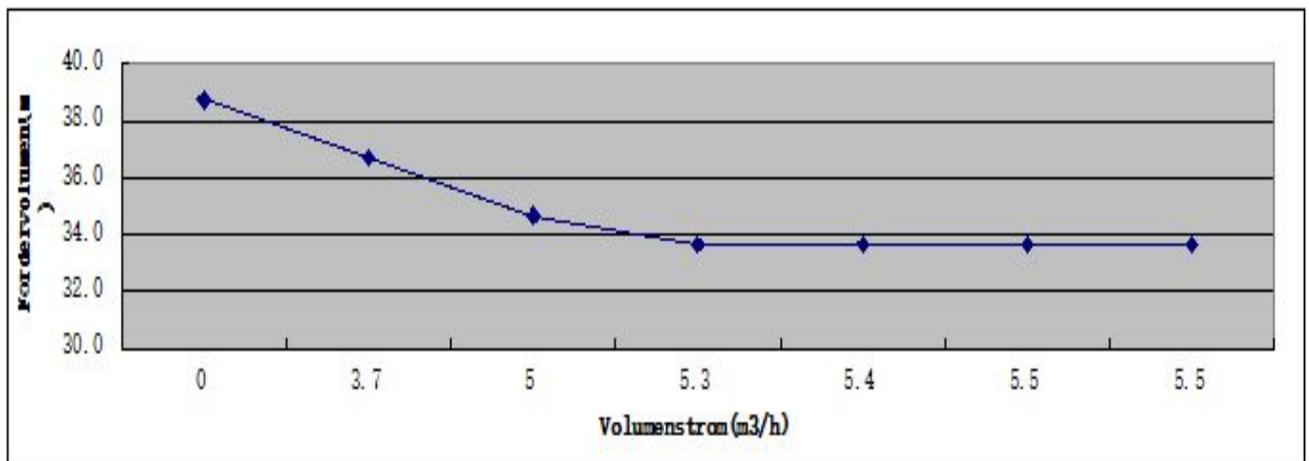


Abbildung 28: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 10: Pumpe 1+3 parallel, Strömungsweg: Weg 2

Pumpe1+Pumpe2 parallel

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	34.7
1	4.6	34.7
2	7.8	32.6
3	9.2	31.6
4	9.6	30.6
5	10	30.6
6	10.1	30.6

Tabelle 12: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

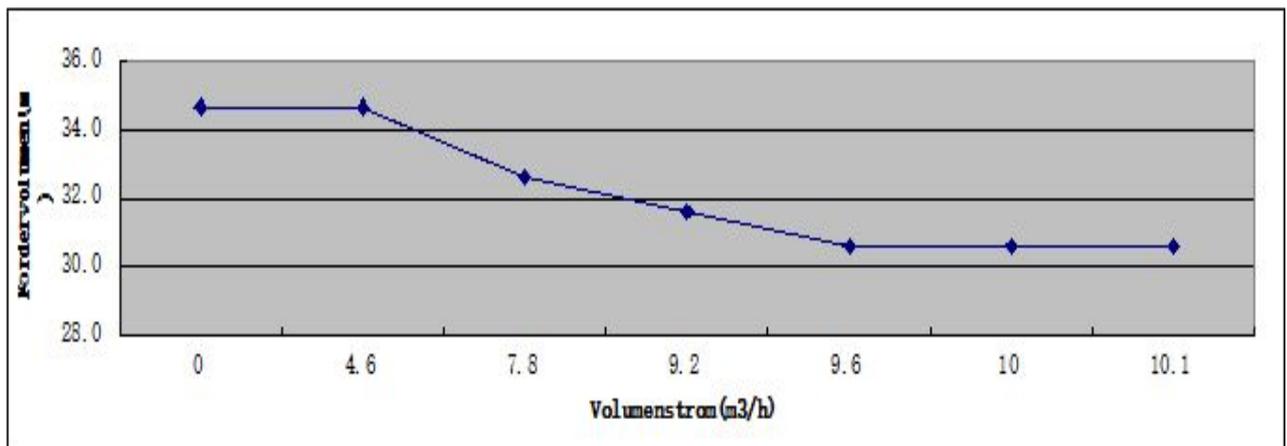


Abbildung 29: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

Versuch Nr. 11: Pumpe 2+3 parallel, Strömungsweg: Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	31.6
1	3.9	29.5
2	5	28.7
3	5.4	28.5
4	5.4	28.5
5	5.5	28.6
6	5.5	28.4

Tabelle 13: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

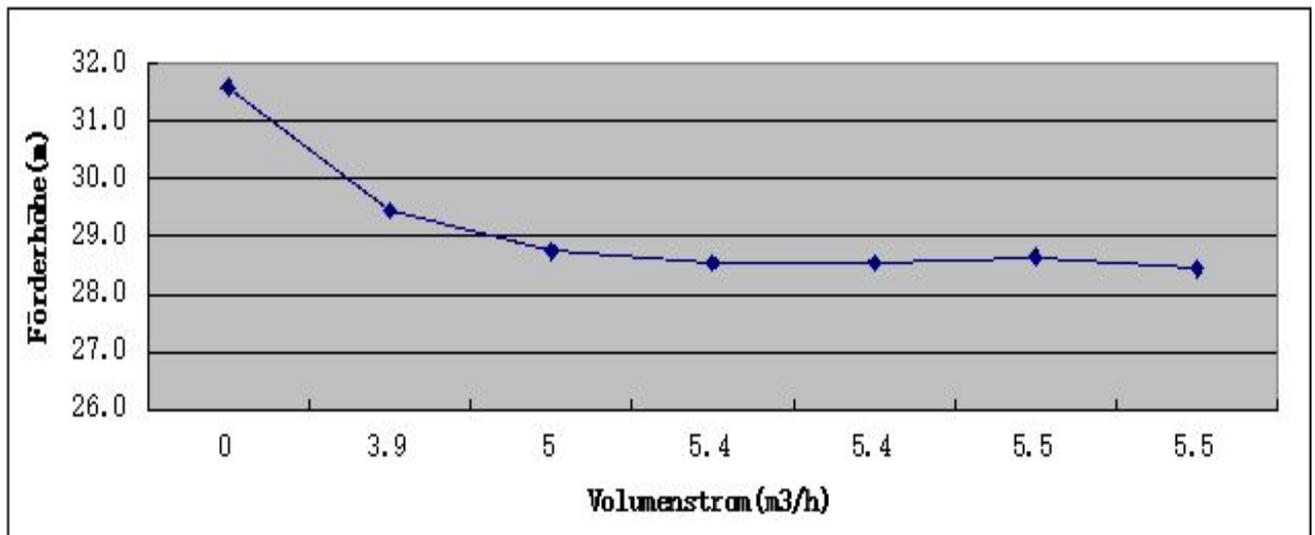


Abbildung 30: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 12: Pumpe 2+3 parallel, Strömungsweg: Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	30.6
1	4.3	30.6
2	7.4	29.6
3	8.7	29.1
4	9.4	28.5
5	9.8	27.5
6	10	27.5

Tabelle 14: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

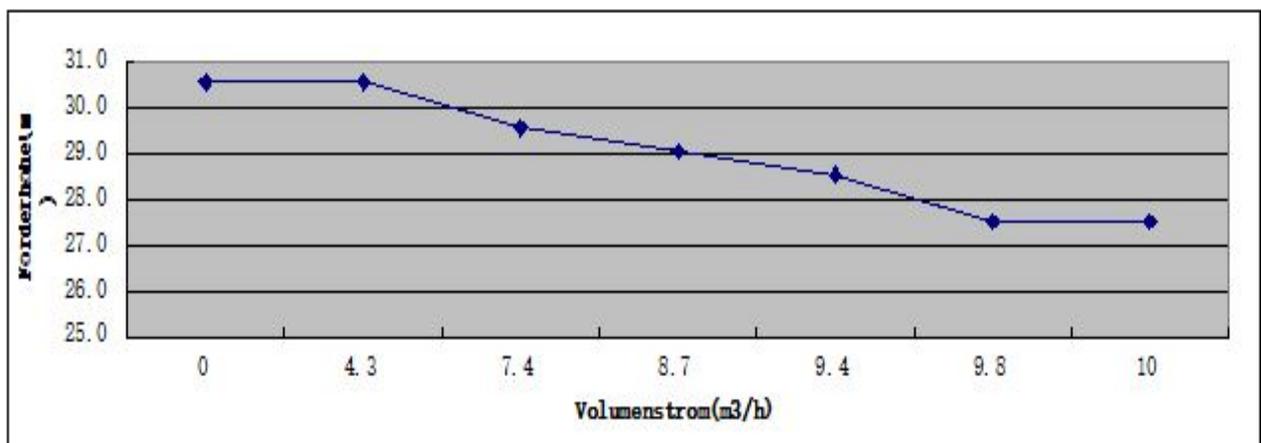


Abbildung 31: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

Versuch Nr. 13: Pumpe 1+2+3 parallel, Strömungsweg: Weg 1

Pumpe 1+ Pumpe 2 + Pumpe 3 parallel

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	33.4
1	3.5	33.2
2	4.7	33.1
3	5	33.0
4	5.1	33.0
5	5.1	33.0
6	5.2	33.0

Tabelle 15: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

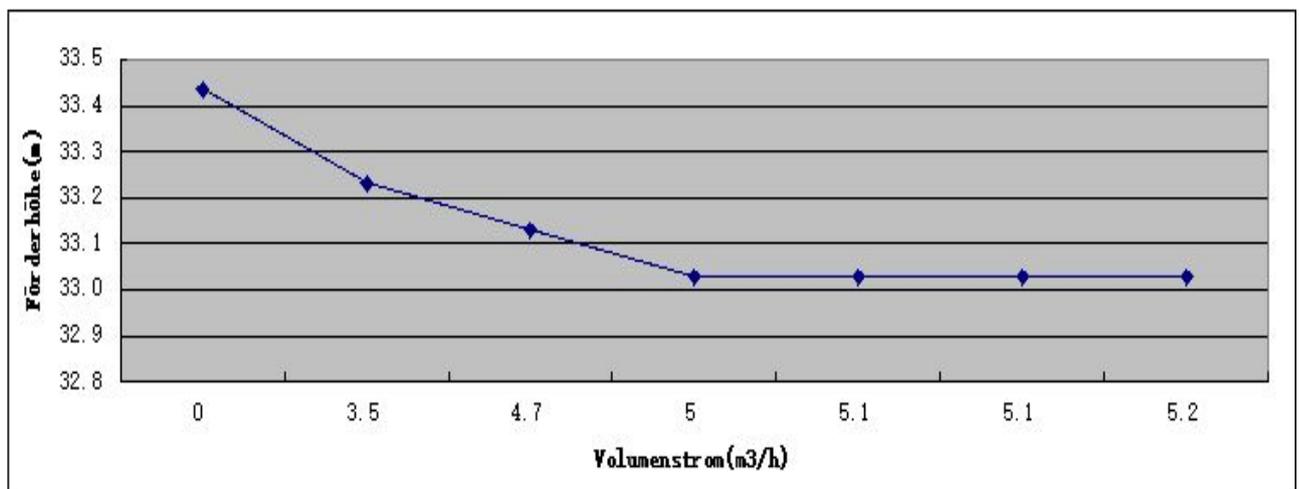


Abbildung 32: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 14: Pumpe 1+2+3 parallel, Strömungsweg: Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Förderhöhe (m)
0	0	33.1
1	4.4	32.7
2	7.3	32.7
3	9	32.7
4	9.5	32.6
5	9.8	32.6
6	10	32.6

Tabelle 16: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

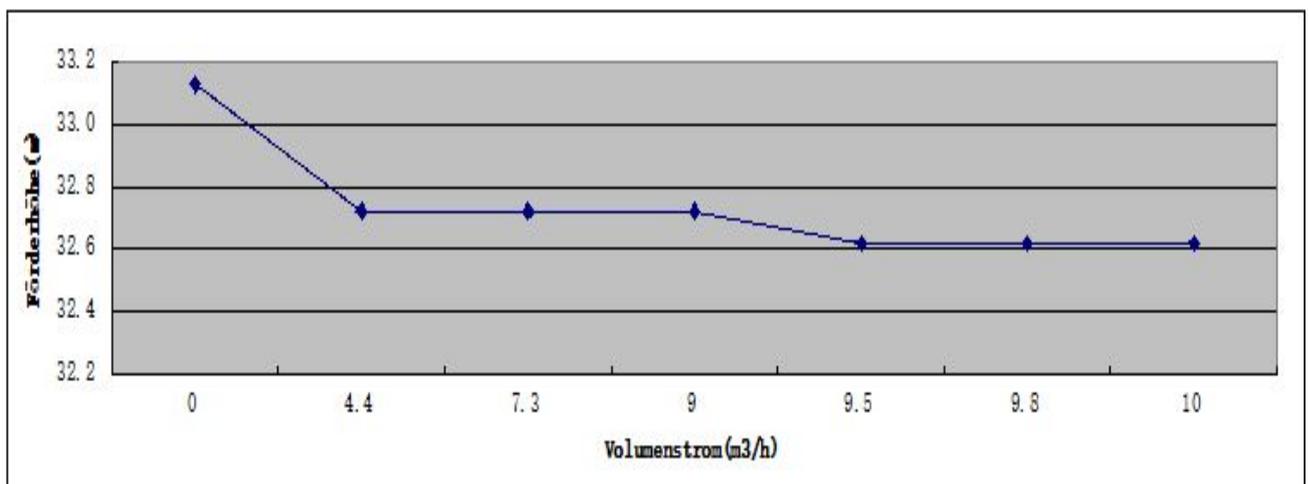


Abbildung 33: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

7.2 Ventilkennlinien

Versuch Nr. 15: Ventil V6 mit Pumpe 1, Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druck2 (bar)	Druckverlust bar	Öffnungsgrad %	Durchflusskoeffizient (m ³ /h)
0	0	0.25	0.9	0.65	0.0	0
1	2.2	0.4	0.8	0.4	16.7	3.481012658
2	2.8	0.6	0.7	0.1	33.3	8.860759494
3	2.9	0.6	0.65	0.05	50.0	12.97854219
4	3	0.6	0.65	0.05	66.7	13.42607812
5	3.1	0.6	0.65	0.05	83.3	13.87361406
6	3.1	0.6	0.65	0.05	100.0	13.87361406

Tabelle 17: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

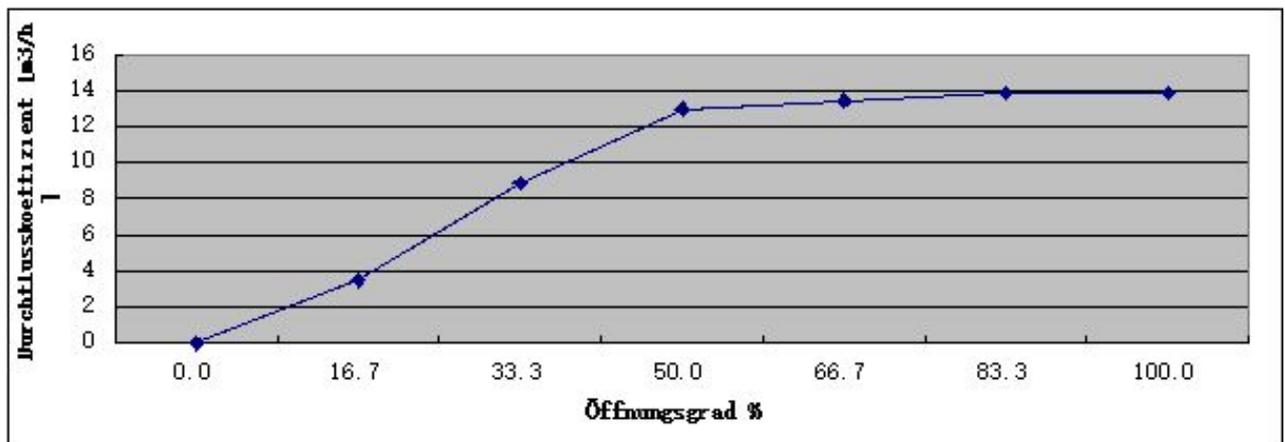


Abbildung 34: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 16: Ventil V6 mit Pumpe 1, Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druck2 (bar)	Druckverlust bar	Öffnungsgrad %	Durchflusskoeffizient (m ³ /h)
0	0	0.1	0.9	0.8	0.0	0
1	2.6	0.2	0.7	0.5	16.7	3.679605533
2	4	0.35	0.6	0.25	33.3	8.005766228
3	4.4	0.4	0.55	0.15	50.0	11.36893973
4	4.7	0.45	0.5	0.05	66.7	21.03418906
5	4.9	0.45	0.5	0.05	83.3	21.92926094
6	5	0.45	0.5	0.05	100.0	22.37679687

Tabelle 18: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

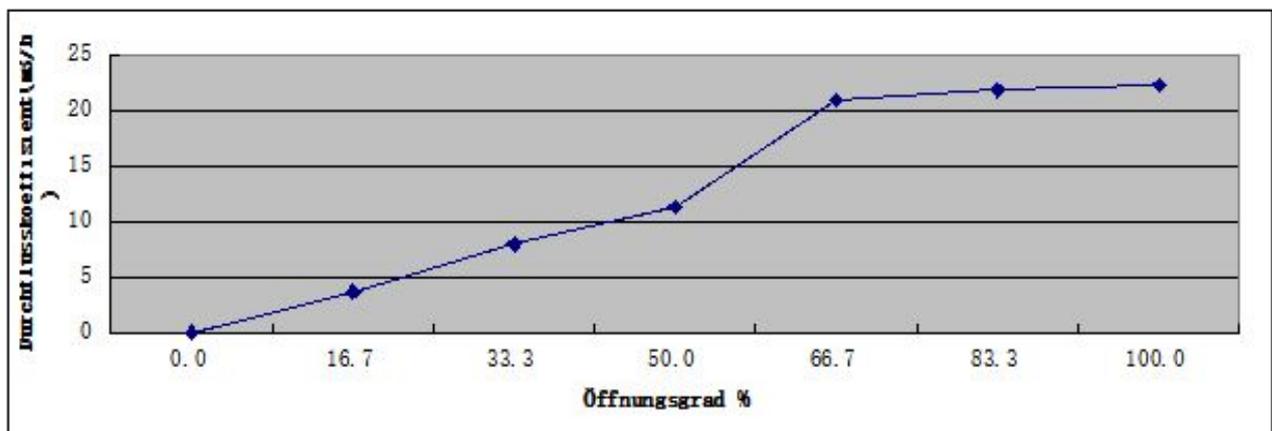


Abbildung 35: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

Versuch Nr. 17: Ventil V6 mit Pumpe 2, Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druck2 (bar)	Druckverlust bar	Öffnungsgrad %	Durchflusskoeffizient (m ³ /h)
0	0	0.15	0.95	0.8	0.0	0
1	2.1	0.4	0.75	0.35	16.7	3.55220638
2	2.7	0.55	0.65	0.1	33.3	8.544303797
3	2.9	0.55	0.6	0.05	50.0	12.97854219
4	3	0.55	0.6	0.05	66.7	13.42607812
5	3	0.55	0.6	0.05	83.3	13.42607812
6	3.1	0.55	0.6	0.05	100.0	13.87361406

Tabelle 19: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

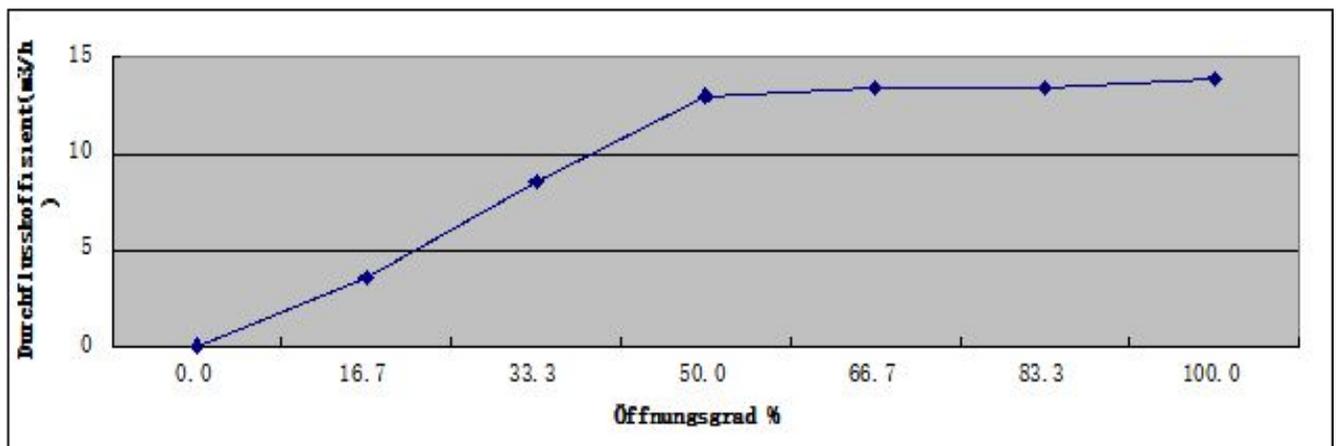


Abbildung 36: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 18: Ventil V6 mit Pumpe 2, Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druck2 (bar)	Druckverlust bar	Öffnungsgrad %	Durchflusskoeffizient (m ³ /h)
0	0	0.1	0.9	0.8	0.0	0
1	2.6	0.15	0.65	0.5	16.7	3.679605533
2	3.9	0.3	0.55	0.25	33.3	7.805622073
3	4.3	0.35	0.5	0.15	50.0	11.11055474
4	4.6	0.4	0.45	0.05	66.7	20.58665312
5	4.8	0.4	0.45	0.05	83.3	21.481725
6	4.9	0.4	0.45	0.05	100.0	21.92926094

Tabelle 20: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

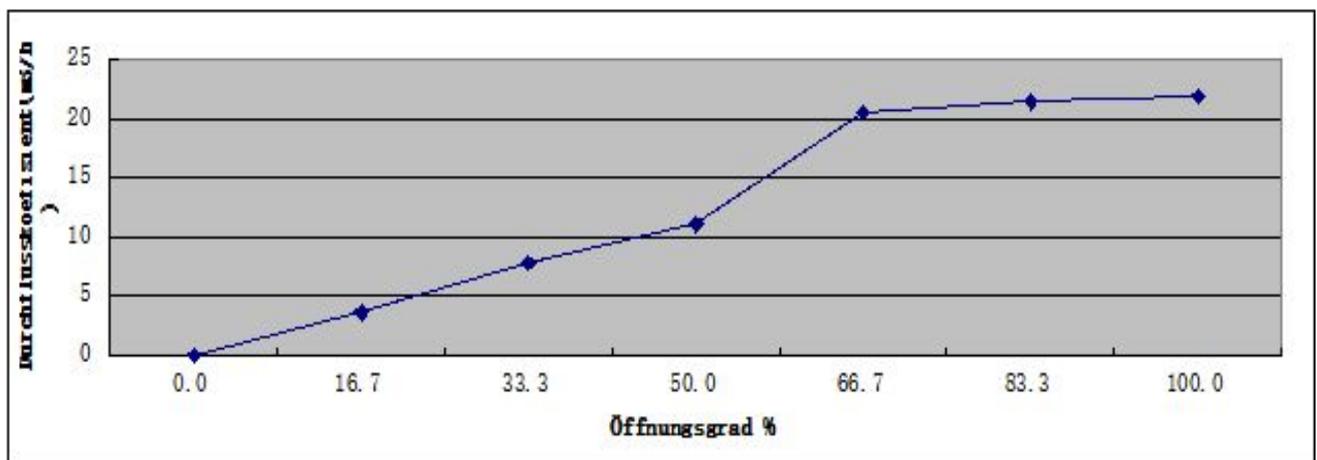


Abbildung 37: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

Versuch Nr. 19: Ventil V6 mit Pumpe 3, Weg 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druck2 (bar)	Druckverlust bar	Öffnungsgrad %	Durchflusskoeffizient (m ³ /h)
0	0	0.15	0.2	0.05	0.0	0
1	0.9	0.15	0.2	0.05	16.7	4.027823437
2	1.4	0.15	0.2	0.05	33.3	6.265503124
3	1.5	0.15	0.2	0.05	50.0	6.713039062
4	1.6	0.15	0.2	0.05	66.7	7.160574999
5	1.6	0.15	0.2	0.05	83.3	7.160574999
6	1.6	0.15	0.2	0.05	100.0	7.160574999

Tabelle 21: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

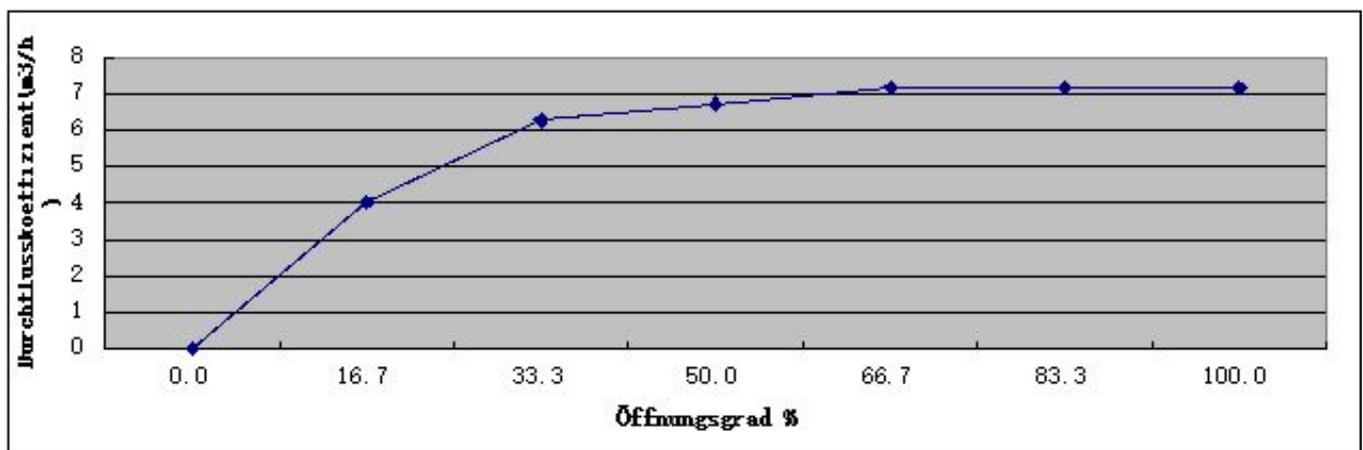


Abbildung 38: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr. 20: Ventil V6 mit Pumpe 3, Weg 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druck2 (bar)	Druckverlust bar	Öffnungsgrad %	Durchflusskoeffizient (m ³ /h)
0	0	0.08	0.2	0.12	0.0	0
1	1.4	0.1	0.18	0.08	16.7	4.95331514
2	2.1	0.1	0.17	0.07	33.3	7.942974935
3	2.5	0.1	0.15	0.05	50.0	11.18839844
4	2.8	0.1	0.15	0.05	66.7	12.53100625
5	2.9	0.09	0.1	0.01	83.3	29.02090258
6	3	0.08	0.1	0.02	100.0	21.22849346

Tabelle 22: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

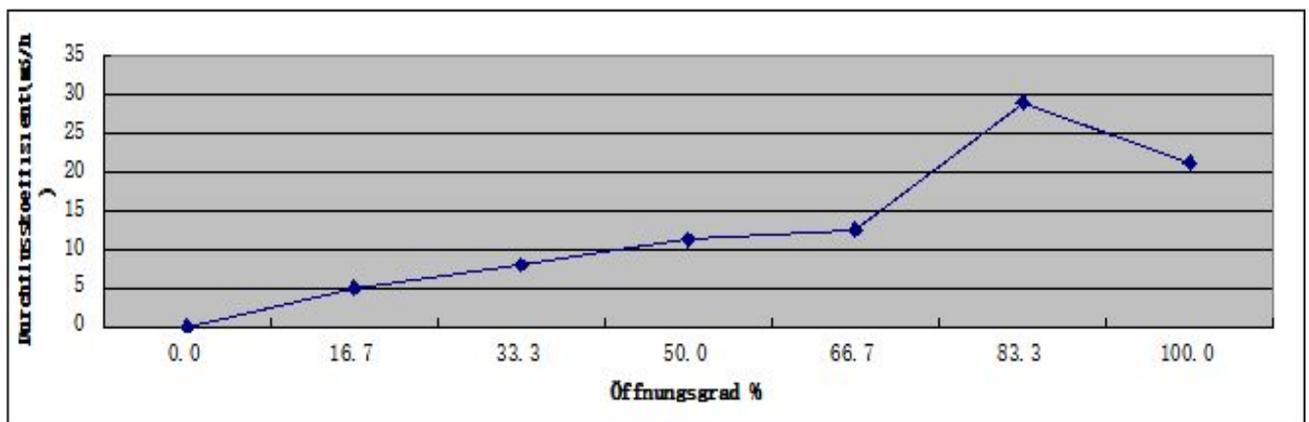


Abbildung 39: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss)

7.3 Anlagenkennlinien

Versuch Nr 21: Ventil V6 mit Pumpe 1

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar) = Δp_{Rohr}	Druckhöhenverlust ΣH_j
0	0	0.25	2.54841998
1	2.2	0.4	4.077471967
2	2.8	0.6	6.116207951
3	2.9	0.6	6.116207951
4	3	0.65	6.625891947
5	3.1	0.7	7.135575943
6	3.1	0.7	7.135575943

Tabelle 23: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

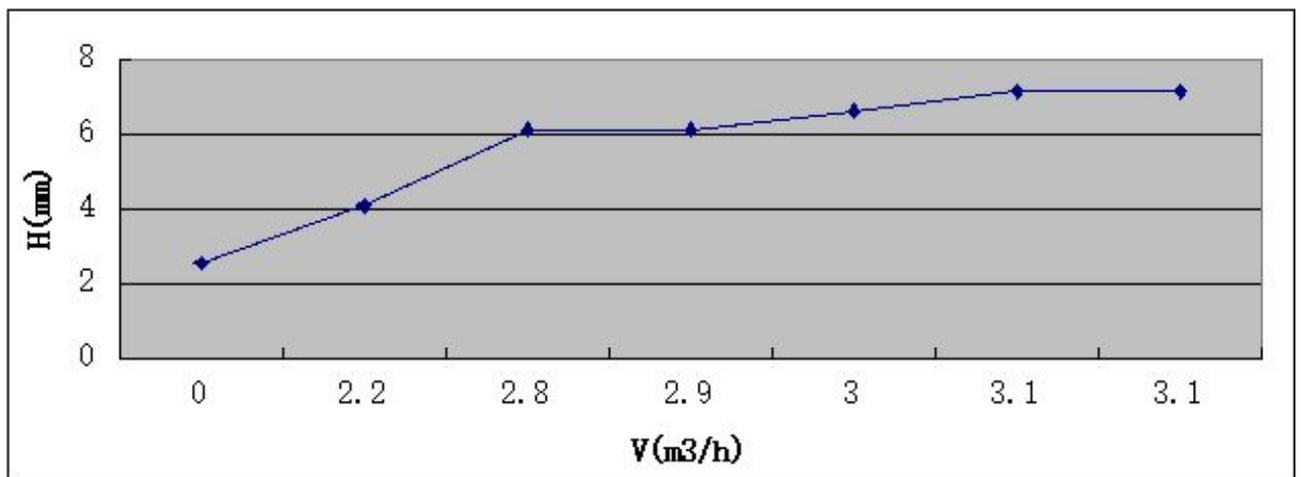


Abbildung 40: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr 22: Ventil V6 mit Pumpe 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druckhöhenverlust ΣH_j
0	0	0.1	1.019367992
1	2.6	0.2	2.038735984
2	4	0.35	3.567787971
3	4.4	0.4	4.077471967
4	4.7	0.45	4.587155963
5	4.9	0.45	4.587155963
6	5	0.45	4.587155963

Tabelle 24: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

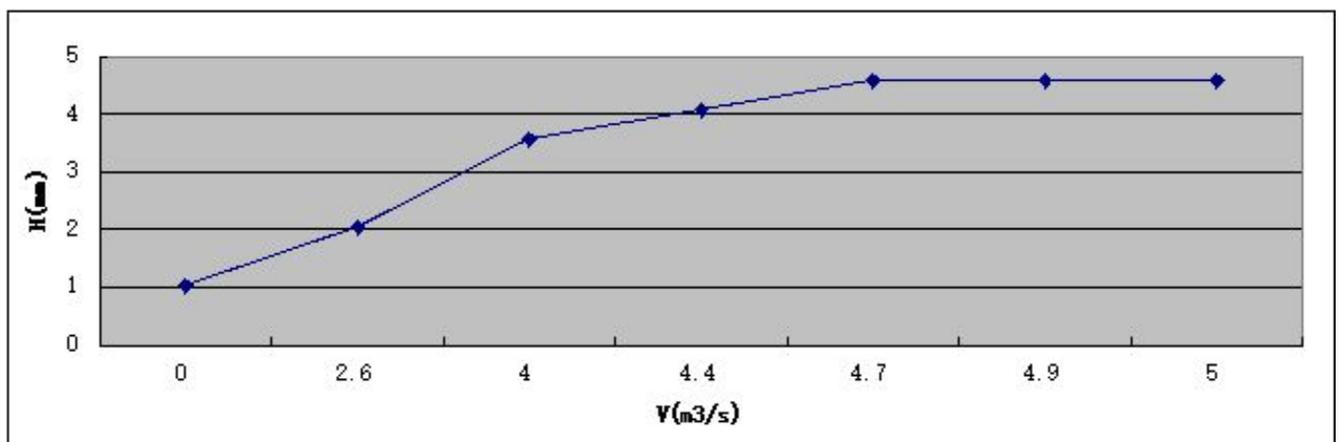


Abbildung 41: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr 23: Ventil V6 mit Pumpe 3

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druckhöhenverlust ΣH_j
0	0	0.15	1.529051988
1	2.1	0.4	4.077471967
2	2.7	0.55	5.606523955
3	2.9	0.6	6.116207951
4	3,0	0.6	6.116207951
5	3,0	0.65	6.625891947
6	3.1	0.65	6.625891947

Tabelle 25: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

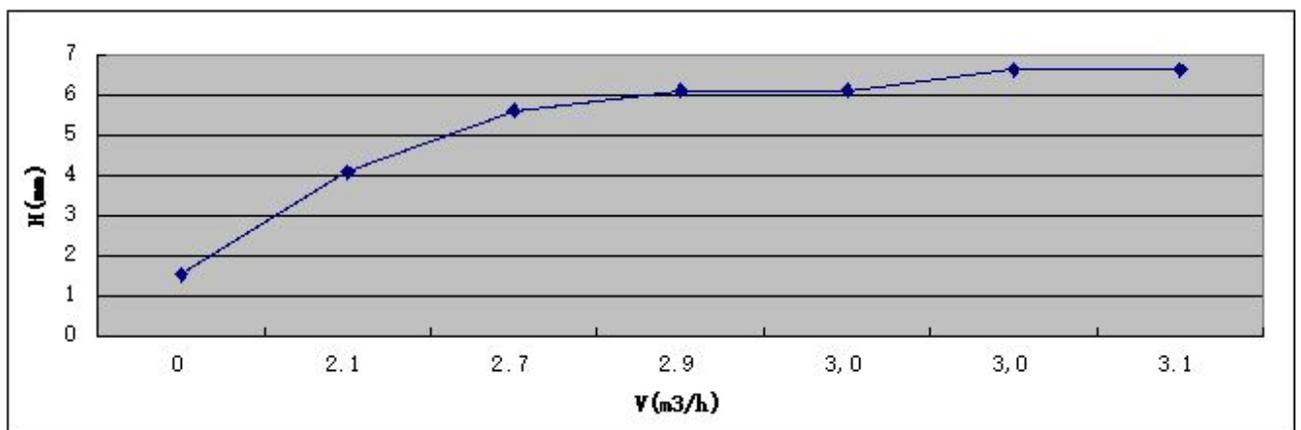


Abbildung 42: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Versuch Nr 24: Ventil V6 mit Pumpe 1+ Pumpe 2

Umdrehungen Ventil V6	Volumenstrom(m ³ /h)	Druck1 (bar)	Druckhöhenverlust ΣH_j
0	0	0.1	1.019367992
1	2.6	0.15	1.529051988
2	3.9	0.3	3.058103976
3	4.3	0.35	3.567787971
4	4.6	0.4	4.077471967
5	4.8	0.4	4.077471967
6	4.9	0.4	4.077471967

Tabelle 26: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

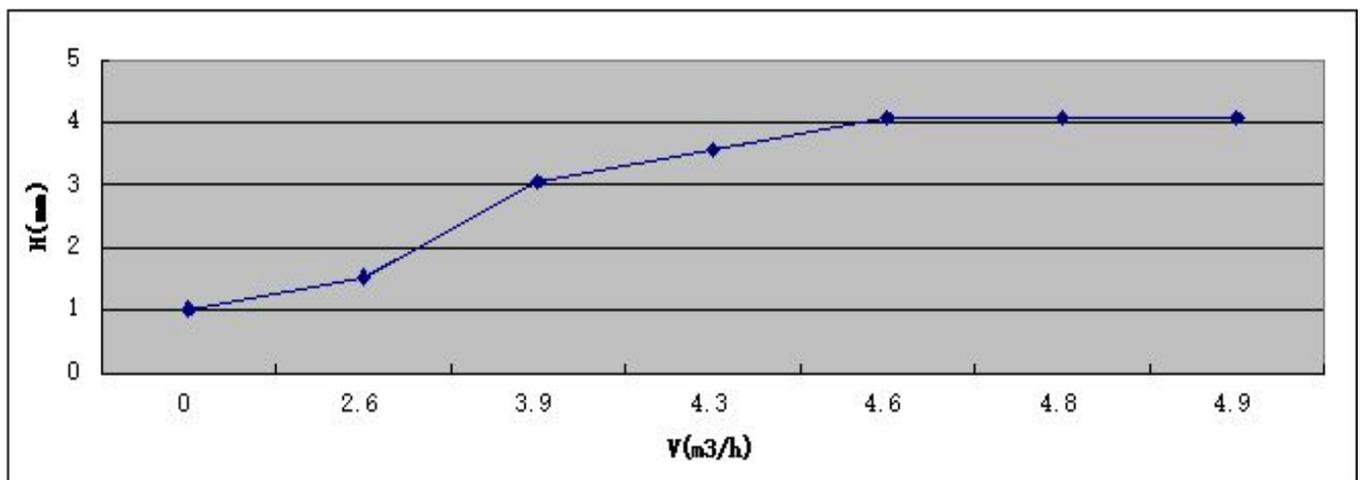


Abbildung 43: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1)

Diskussion zu den Pumpenkennlinien:

In den Diagrammen der Pumpen ist zu sehen, dass mit Reduzierung des Gegendrucks, der Volumenstrom erwartungsgemäß steigt. Auffällig ist, dass die Inlinepumpe einen niedrigeren Druck aufweist, als die Blockpumpen, obwohl diese als Druckerhöhungspumpe eigentlich größere Drücke aufweisen sollte. Auch die Drücke insgesamt sind als zu niedrig zu bewerten, sodass vermutet wird, dass die Pumpen nicht mit 100% Leistung gefahren wurden, was am Frequenzumrichter einzustellen ist. So sind die Werte lediglich als Tendenzen zu sehen und nicht als Absolutwerte.

Beim Vergleich der Parallelschaltungen ist zu sehen, dass Weg 1 zu viel Widerstand hat und so der Volumenstrom nicht erhöht wird. Hingegen bei Nutzung des Kurzschlusses (Weg 1), ist eine erhebliche Erhöhung zu sehen.

Diskussion zu den Ventilkennlinien:

Mit größeren Öffnungsweiten erzielen wir erwartungsgemäß größere Volumenströme. Auch hier ist eine deutliche Abhängigkeit zum Betrieb über Weg 1 und Weg 2 zu sehen, wobei Weg 2 zu bevorzugen ist, da Weg 1 stets wie ein gedrosseltes Ventil wirkt.

Diskussion zu den Teilanlagenkennlinien.

Erwartungsgemäß steigt der Druckverlust mit steigendem Volumenstrom. Die Startwerte von 0,25bar Druckverlust sind auf das ungenaue Manometer zurückzuführen und resultieren nicht aus einer ggf. geodätischen Höhe oder dergleichen.

8 Literaturverzeichnis

Grundlagen der Rohrleitungs- und Apparatechnik 2009

Ignatowitz, D.-I. (2009). *Chemietechnik*. Berlin: Beuth-Verlag GmbH.

Ignatowitz, D.-I. E. (2005). *Chemietechnik*. Berlin: Beuth-Verlag GmbH.

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleichung von den unterschiedlichen Ventils.....	21
Tabelle 2: Versuche zur Aufnahme der Kennlinien.....	26
Tabelle 3: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	29
Tabelle 4: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	30
Tabelle 5: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	31
Tabelle 6: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	32
Tabelle 7: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	33
Tabelle 8: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom manche durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	34
Tabelle 9: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	35
Tabelle 10: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	36
Tabelle 11: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	37
Tabelle 12: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	38
Tabelle 13: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	39
Tabelle 14: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	40
Tabelle 15: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	41
Tabelle 16: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	42
Tabelle 17: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	43
Tabelle 18: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	44

Tabelle 19: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	45
Tabelle 20: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	46
Tabelle 21: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	47
Tabelle 22: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	48
Tabelle 23: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	49
Tabelle 24: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	50
Tabelle 25: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	51
Tabelle 26: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	52

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Pumpenkennlinie (rot) und Anlagekennlinie (blau)(Quelle: Prof. Schubert, Broschüre Apparatetechnik WS2012.).....	10
Abbildung 2: Betriebspunkt (Quelle: http://www.haustechnikdialog.de/shkwissen/Images/Pumpenkennlinie-Betriebspunkt-1.jpg , abgerufen am: 28.02.2013.).....	11
Abbildung 3: Lageänderung des Betriebspunktes durch zunehmende Drosselung und durch Erhöhung der Pumpendrehzahl von n_1 auf n_2 (Quelle: Wagner, Walter, Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen: Vogel, 1994, S.94.).....	11
Abbildung 4: Parallelschaltung und Serielle Schaltung von Kreiselpumpen (Quelle: Prof. Schubert, Vorlesungsskript Apparatetechnik WS2012.).....	12
Abbildung 5: Blick in eine Kreiselpumpe (Quelle: aus dem Buch: Chemietechnik).....	12
Abbildung 6: Kreiselpumpe(Quelle: http://www.krampitz.de/equipment_pics/kreiselpumpe_2.jpg).....	13
Abbildung 7: Pumpelauftrieb (Quelle: aus dem Buch: Chemietechnik).....	13
Abbildung 8: Lauftriebformen von Kreiselpumpen(Quelle: aus dem Buch: Chemietechnik).....	14
Abbildung 9: Bedienfeld eines Frequenzumrichters der Firma KSB (Quelle: Prof. Schubert, Vorlesungsskript Apparatetechnik WS2012.).....	15
Abbildung 10: Anlagenkennlinie/Rohrleitungskennlinie(Quelle: Prof. Schubert, Vorlesungsskript Apparatetechnik WS2012.).....	17
Abbildung 11 R&I Prüfungsstand vor der Optimierung.....	18
Abbildung 12: 3D AVEVA Isometrie der Pumpenanlage.....	19
Abbildung 13: ein verwendet "As-Bild" von Optimierung.....	20
Abbildung 14: das Schrägsventil und das Stellventil.....	22
Abbildung 15: die Rohrleitungen von Optimierung.....	23
Abbildung 16: die zunehmende Wasserleitungen von „As-Bild“.....	25
Abbildung 17: der Drei-Weg-Hahn.....	25
Abbildung 18: Planung und Umsetzung des Schaltkastens für die Pumpen.....	26
Abbildung 19: Darstellung der möglichen Strömungswege bei den Kennlinienaufnahmen (Weg 1 über das Rohrregister, Weg 2 über den Kurzschluss).....	28
Abbildung 20: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	29

Abbildung 21: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	30
Abbildung 22: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	31
Abbildung 23: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	32
Abbildung 24: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	33
Abbildung 25: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom manche durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	34
Abbildung 26: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	35
Abbildung 27: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	36
Abbildung 28: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	37
Abbildung 29: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	38
Abbildung 30: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	39
Abbildung 31: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschlu).....	40
Abbildung 32: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Förderhöhe von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	41
Abbildung 34: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	42
Abbildung 34: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	43
Abbildung 35: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	44
Abbildung 36: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	45
Abbildung 37: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	46

Abbildung 38: das Verhältnis zwischen Durchflusskoeffizient und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	47
Abbildung 39: das Verhältnis zwischen Volumenstrom und Durchflusskoeffizient von Strom nicht durch Leitungen Weg 2 (Kurzschluss).....	48
Abbildung 40: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	49
Abbildung 41: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	50
Abbildung 42: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	51
Abbildung 43: das Verhältnis zwischen Druckverlust und Volumenstrom von Strom durch Leitungen Rohrregister (Weg 1).....	52

11 Abkürzungsverzeichnis

Förderhöhe H

Förderstrom Q

Best-Förderstrom (Q_{pt})

Nennförderstrom (Q_v)

Liefervertragsstrom (Q_{lie})

Mindest-Förderstrom (Q_{min})

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Merseburg, den 19.10.2015

Xu Zhang