

Im übrigen ist aber aus diesem Entwurf zu ersehen, dass darin die Hauptsache, die, wie schon an anderer Stelle hervorgehoben wurde, nicht in den Ventilen allein, sondern in der richtigen Beachtung der Wirkungen der Triebwerks- und Wassermassen zu suchen ist, schon vollständig berücksichtigt war. Die Pumpe würde auch in dieser Konstruktion vollständig den

Anforderungen eines Dauerbetriebes mit dieser hohen Geschwindigkeit entsprochen haben; es mangelte nur die Einfachheit in den Nebentheilen. Diese wurde erst durch die weitere Arbeit erreicht. —

Die Vorarbeiten und Erfahrungen mit den ersten Versuchspumpen ergeben sich aus dem nachfolgenden:

## Bericht des Maschinen-Laboratoriums der Königl. Technischen Hochschule zu Berlin über die Erprobung raschlaufender Pumpen.\*)

Zur Feststellung der Betriebsverhältnisse einer neuen Konstruktion raschlaufender Pumpen wurde mir durch Herrn Geheimrath Professor Riedler zwecks Erprobung im Maschinen-Laboratorium übergeben:

1. im März 1898:

eine Vorrichtung zur Untersuchung und Beobachtung der Bewegung von Ventilen neuer Bauart;

2. im Juni 1898:

eine dreicylindrige raschlaufende Hochdruckpumpe für das Herzoglich Anhaltische Salzwerk Leopoldshall für elektromotorischen Antrieb;

3. im Februar 1899:

eine grosse eincylindrige raschlaufende Pumpe für die Mansfelder Gewerkschaft für unmittelbaren Antrieb durch eine Dampfmaschine.

Durch die Versuche sollte insbesondere ermittelt werden:

Das Verhalten der Wassermassen, der Pumpenventile und des Triebwerks bei normaler und gesteigerter Geschwindigkeit und bei verschiedenen Saughöhen.

Das Verhalten der Kolben- und Ventildichtungen sowie der Betriebsausrüstungen.

Zu allen einzelnen Punkten war die Ursache etwaiger Mängel festzustellen.

Als normale Betriebs-Geschwindigkeiten waren angenommen:

für die Versuchsvorrichtung 150 Umdrehungen minütlich, ohne nennenswerthe Steigerungsfähigkeit,

für die Hochdruckpumpe Leopoldshall:

200 Umdrehungen minütlich, mit Steigerungsfähigkeit bis auf etwa 400 Umdrehungen minütlich,

für die Druckpumpe Mansfeld:

125 Umdrehungen minütlich, mit Steigerungsfähigkeit bis auf etwa 250 Umdrehungen minütlich.

Es war vereinbart, die Geschwindigkeit ohne Rücksicht auf etwaige Brüche oder Beschädigungen der Versuchspumpen und ihrer Theile auf das höchste überhaupt erreichbare Maass zu steigern, soweit die Betriebsvorrichtungen des Laboratoriums und die Betriebssicherheit in demselben es gestatten.

### I. Erprobung der Versuchsvorrichtung.

Die Versuchsvorrichtung bestand aus einem horizontalen Tauchkolben mit Stopfbüchse, neben der konzentrisch um den Plunger ein ringförmiges Saugventil ausgeführt war, das durch den Kolben in seiner Todtlage am Ende des Saughubs durch Zwischenschaltung einer Stahlfeder geschlossen wurde. Als Druckventil waren gewöhnliche federbelastete Ringe ausgeführt. Ventile und Tauchkolben waren in einem aus Holz gezimmerten und versteiften Pumpenkasten eingebaut. Der ganze Apparat wurde, da das Ergebniss eines Vorversuches für die Konstruktion auszuführender Pumpen rasch vorliegen sollte, in einer Woche hergestellt und roh zusammengebaut. Der Zweck des Vorversuches war nur der, die Bewegung der Wasser- und Ventilmassen bei minütlich 150 Umdrehungen zu studiren. Die Ventilquerschnitte und der Hub waren den Betriebsverhältnissen der unter 3. erwähnten Mansfelder Pumpe angepasst.

Der Versuchskolben mit 350 mm Hub konnte an die verlängerte Kolbenstange einer vorhandenen kleinen Dampfmaschine unmittelbar gekuppelt werden. Diese Dampfmaschine konnte zur Noth bis auf 200 Umdrehungen minütlich gesteigert werden.

Im Pumpenkasten waren Schaulöcher und Glühlampen angebracht, um die Wasser- und Ventilmassen unmittelbar beobachten zu können, was aber nur in beschränktem Maasse gelang, da das Wasser

\*) Abdruck aus den „Mittheilungen aus dem Maschinen-Laboratorium“, Heft 2.

nach kurzer Betriebszeit infolge der raschen Bewegung und durch nicht zu vermeidende Verunreinigungen bei der unvollkommenen Ausführung undurchsichtig wurde.

Der Vorversuch erfüllte aber seinen Zweck: es konnte festgestellt werden, dass die Bewegung der bei der hohen Tourenzahl abwechselnd stark zu beschleunigenden Massen des Wassers sowie der Ventile in der berechneten Weise erfolgte und dass der Zwangschluss des Saugventils vom Kolben anstandslos bewirkt wurde. Die Beobachtungen konnten bis auf minutlich 200 Doppelhübe ausgedehnt werden. Ueberschreitung dieser Geschwindigkeit war wegen der schwachen Antriebs-Dampfmaschine und wegen des mangelhaften Baues des Versuchskastens nicht möglich.

## 2. Erprobung der Versuchspumpe Leopoldshall.

Die zu erprobende dreikurbelige Hochdruckpumpe war die erste der drei elektrisch betriebenen Wasserhaltungspumpen, die für Schacht III des Herzoglich Anhaltischen Salzwerks in Leopoldshall bestimmt waren. Diese erste Pumpe nach dem Entwurf der Herren Professoren Riedler und Stumpf wurde von der Stettiner Maschinenbau A.-G. „Vulcan“ in kürzester Zeit gebaut, sodass sie 2 Monate für Versuche im Laboratorium zur Verfügung stand, um die Versuchsergebnisse für die 2 weiteren, noch in Ausführung begriffenen Pumpen verwerthen zu können.

Die Bauart der Pumpe ist aus Abb. 41 und 42 ersichtlich. Der Elektromotor treibt mit 200 Umdrehungen minutlich die mit seiner Welle starr gekuppelte dreifach gekröpfte Pumpenwelle (Kurbelversetzung  $120^\circ$ ). Das Triebwerk läuft in einem geschlossenen Oeltrog.

Der Kreuzkopf läuft in einer Rundführung und wirkt in dieser beim Druckhub als Luftpufferkolben, sodass gegen Ende des Druckhubs die Luft im Puffercylinder verdichtet wird und die bewegten Gestängemassen verzögert werden, während beim darauffolgenden Saughub die Ausdehnung der Luft aus dem schädlichen Raum die Beschleunigung der Gestängemassen übernimmt. Dadurch wird zugleich einseitiger Druck im ganzen Triebwerk hervorgerufen. Die Wirkung des Luftpuffers, die Verdichtungsspannung, konnte durch Veränderung des schädlichen Raumes durch einen mittelst Handrad verschiebbaren Kolben in einem aufrecht stehenden Luftcylinder nach Belieben geregelt werden; bei offenem Luftcylinder konnte auch ohne Kompressionsdruck auf den Pumpenkolben gearbeitet werden.

Der Saugwindkessel befindet sich zwischen Pumpenkörper und Geradführung und ist so angebracht, dass der Saugwasserspiegel höher liegt als das Saugventil, sodass beim Beginn jedes Saughubs das bereits hoch-

gesaugte Wasser unter statischer Druckhöhe in die Pumpe einströmen kann.

Das Saugventil ist konzentrisch um den Pumpenkolben herumgelegt, daher senkrecht hängend. In der Mitte befindet sich der Pumpenkolben und seine Stopfbüchsendichtung. Der Pumpenkolben trägt an seinem Ende einen Steuerkopf mit Gummifeder, welche vor Ende jedes Saughubs zunächst das geöffnete Ventil berührt, es bei einer Zusammendrückung der Feder entsprechend den Widerständen mitnimmt und seinem Sitz nähert, bzw. es auf den Ventilsitz drückt. Die Steuerung konnte durch eine Stellstange beliebig ausser Thätigkeit gesetzt oder auf beliebige Zusammendrückung der Steuerungsfeder eingestellt werden.

Die Druckventile der Pumpen waren federbelastete Gruppenventile, die durch Regulirung der Belastung für rechtzeitigen Schluss bei hohen Geschwindigkeiten eingestellt werden konnten.

Ueber den 3 Pumpenkörpern war ein wagrecht liegender gemeinsamer Windkessel aufgebaut, von dem das Druckrohr abzweigte.

Die normale Geschwindigkeit, mit welcher die Pumpe im Wasserhaltungsbetriebe elektrisch zu betreiben ist, soll 200 Umdrehungen min. betragen. Durch die vorhandenen Laboratoriumseinrichtungen: einen 100 pferdigen Gleichstrommotor mit Widerständen in Verbindung mit der grossen Vierfach-Verbund-Dampf-Dynamo, die beliebig zwischen 50 und 200 Umdrehungen minutlich eingestellt werden kann, und deren Leistung über das erforderliche Mass hinaus steigerbar war, konnten für die Versuche sowohl grosse Geschwindigkeits- wie Kraftsteigerungen erzielt werden.

Der praktische Betriebsdruck der Pumpe soll 35 Atm. betragen. Dieser konnte durch die Laboratoriumseinrichtungen nicht hergestellt werden. Der Windkessel über den Pumpen war für einen nur durch Drosselung hergestellten Widerstand von 35 Atm. für den Versuchszweck zu klein, und der grosse Laboratoriums-Windkessel liess nur 20 Atm. zu. Es wurden deshalb die Versuche auf 20 Atm. Betriebsdruck beschränkt.

Abb. 43 zeigt den Aufbau der Drillingspumpe im Laboratorium auf einem kräftigen Holzrahmen. Die Aufstellung erfolgte wie für den betriebsfertigen Zustand in der Grube und hat sich auch beim gesteigerten Betrieb als vollständig ausreichend erwiesen. Die Verbindung mit dem vorhandenen Laboratoriums-Windkessel wurde durch ein Druckrohr hergestellt und hinter dem Windkessel der in Heft I der „Mittheilungen aus dem Maschinen-Laboratorium“ beschriebene mehrstufig wirkende Drosselapparat eingeschaltet.

Im praktischen Betriebe soll das Wasser der Pumpe unter 2 m Ueberdruck zuffliessen. Es wurde deshalb, um auch während der Versuche diesen Betriebszustand

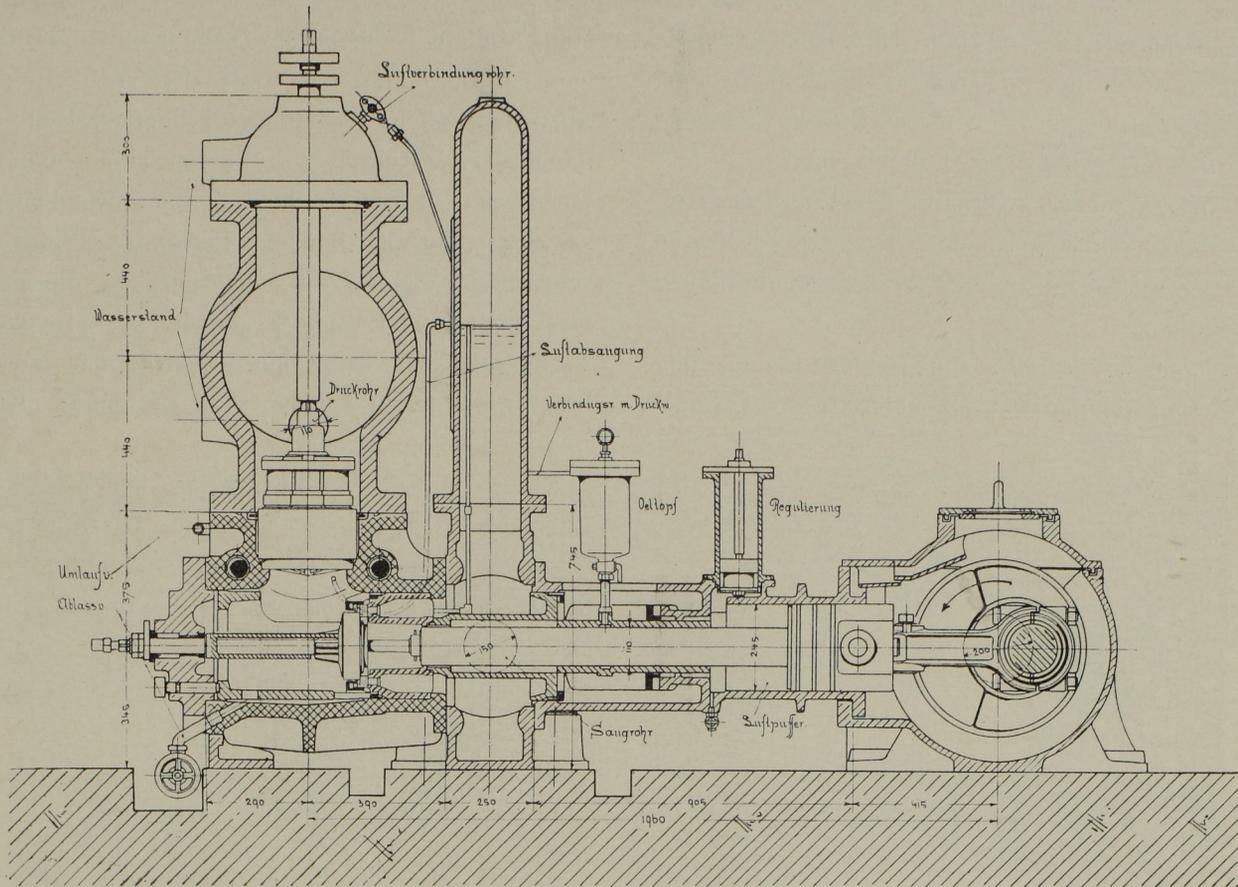


Abb. 41. Längsschnitt der Pumpe. Masst. 1:20.

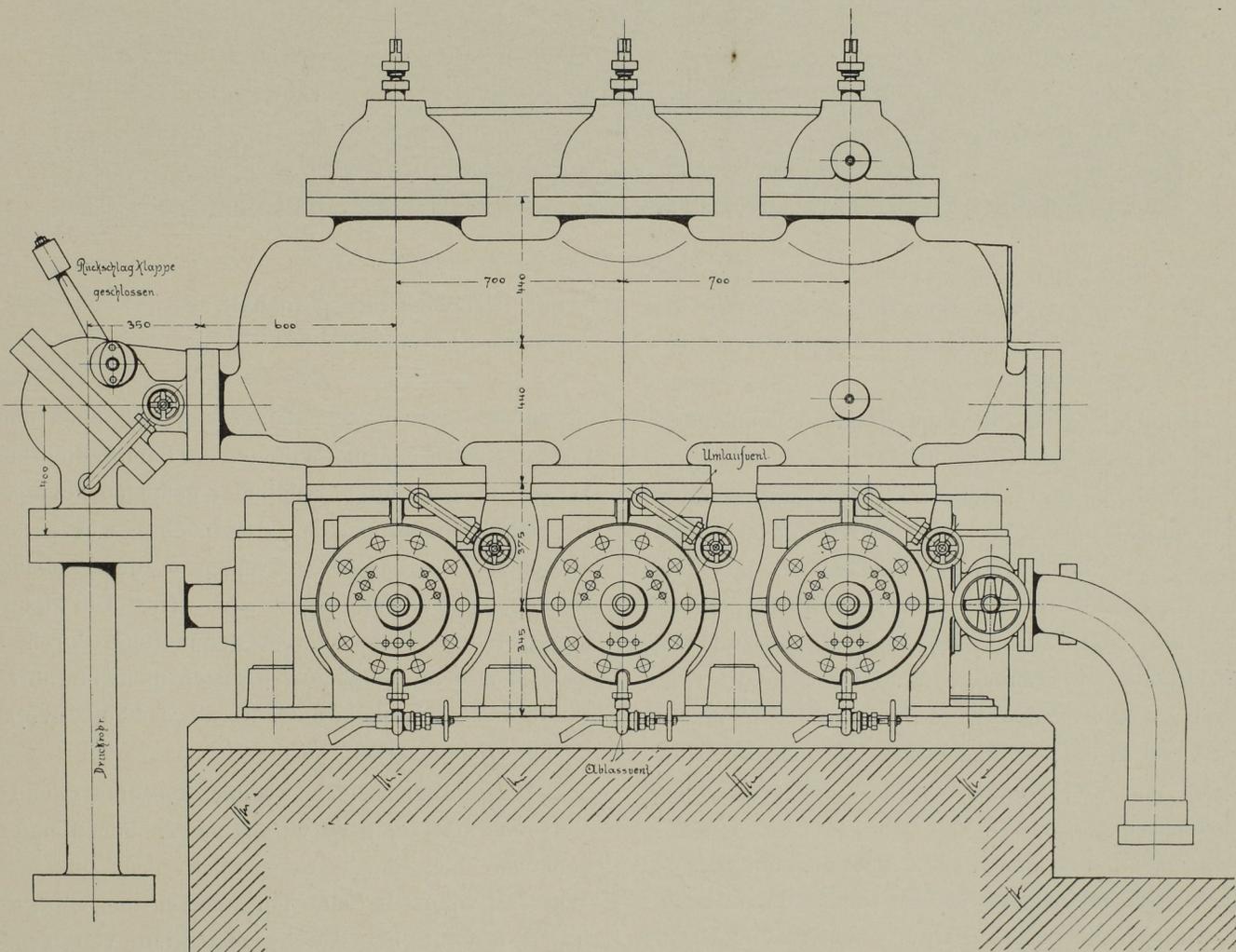


Abb. 42. Rückansicht der Pumpe. Masst. 1:20.

Drillingspumpe für die Herzogl. Salzwerts-Direktion Leopoldshall (1,25 cbm auf 360 m Druckhöhe, 200–350 Umdr. minutl.), erprobt im Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin.

herzustellen, neben der Pumpe ein Behälter von mehreren cbm Inhalt aufgestellt, dessen Sohle 2 m höher lag als die Versuchspumpe, und diesem Behälter das Wasser nach Durchgang durch den Drosselapparat wieder zugeführt, sodass es beim Betriebe der Pumpe einen Kreislauf machte. Um zu starke Erwärmung des Wassers durch die Drosselung bei längerem Betriebe zu verhüten, wurde von Zeit zu Zeit aus der Wasserleitung kaltes Wasser zugesetzt.

Ausserdem wurde eine unmittelbare Saugleitung von der Versuchspumpe zum Sammelbrunnen des Labo-

der Stopfbüchse (Abb. 41) die Plunger während des Ganges nicht beobachtet werden konnten. Diese Stopfbüchsen-Anordnung hat zwar den Vortheil, dass nur eine bewegliche (Reibung erzeugende) Dichtung vorhanden ist, während die zweite eine unbewegliche Dichtung ist, aber es schien doch zweckmässig, insbesondere für die Betriebszwecke, die Plungerflächen sichtbar zu haben. Es wurde deshalb die gemeinsam für Pumpe und Luftpuffer dienende Stopfbüchse durch Verkürzung der Brille und Einschaltung eines neuen Stopfbüchsen-einsatzes für den Luftpuffer abgeändert.

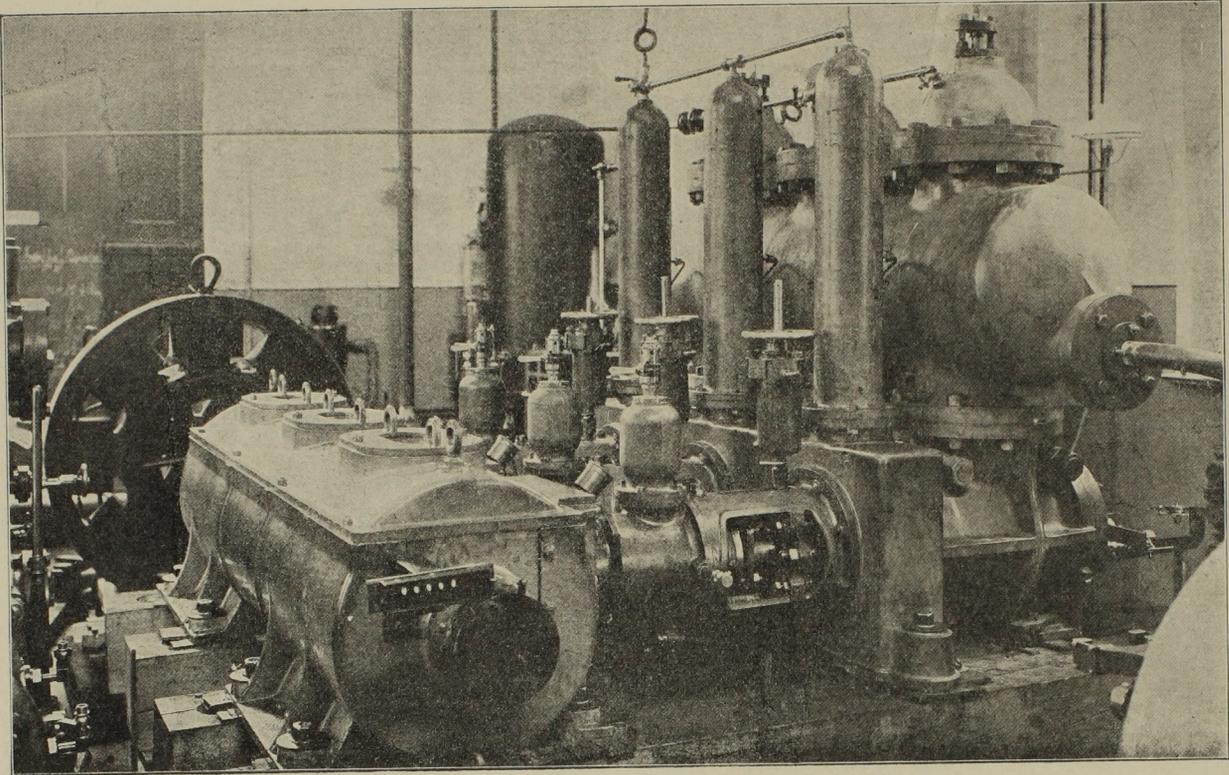


Abb. 43.

**Wasserhaltungspumpe für das Herzogl. Salzwerk Leopoldshall,**  
aufgestellt im Maschinen-Laboratorium der Technischen Hochschule zu Berlin.

ratoriums gelegt, sodass die Pumpe auch mit beliebiger Saughöhe erprobt werden konnte.

Zur Füllung der Windkessel wurde die Westinghouse-Kompressionspumpe des Laboratoriums benutzt, die auch zur Speisung des Windkessels über den 3 Pumpen diente. Bei der Ingangsetzung der Pumpen diente zum Luftabsaugen aus dem Saugrohr und den Pumpenräumen ein Dampfjektor.

Die Versuchspumpe wurde Anfang Juli in Betrieb gesetzt, nach einigen Tagen Leerlauf mit Belastung betrieben und die verschiedenen Einstellungen der Saugventilsteuering erprobt.

Der Gang der Pumpe, bei niedriger und bei gesteigerter Geschwindigkeit bis 200 Umdrehungen minutlich, war ein tadelloser. Mehrere Nebentheile: Ueberströmungsventil, Schmiervorrichtung und Dichtungen stellten sich als abänderungsbedürftig heraus. Unbequem war es, dass bei der ursprünglichen Anordnung

Veranlassung zu dieser Abänderung war auch die Befürchtung, dass bei Undichtheiten der Pumpenstopfbüchse Wasser in den Luftpuffercylinder gelangen könnte.

Die Schmierung der Stopfbüchse wurde so angeordnet, dass das Fett in einen in der Packung befindlichen Metallring eingepresst wird. Die ursprünglich versuchte selbstthätige Schmierung durch Luftdruck aus dem Windkessel hat sich nicht bewährt, der Luftüberdruck ist nicht ausreichend, das Fett zuverlässig in den Dichtungsraum zu pressen.

Diese Aenderungen wurden ausgeführt und die Versuche am 11. August wieder aufgenommen, und zwar zunächst bei einem Ueberdruck des zuffliessenden Wassers von 2 m, dann mit zunehmender Saughöhe, bis 6 m, und bei Geschwindigkeiten von zunächst 100 bis 200 Umdrehungen minutlich, dann steigend bis auf 350 Umdrehungen minutlich durchgeführt. Ueber 350 Umdrehungen min. konnte nicht hinaus-

gegangen werden, weil die elektrischen Betriebsvorrichtungen nicht ausreichten und für die Aufstellung eines neuen Elektromotors die Zeit fehlte.

Bei den Versuchen waren in einer Pumpe Metallventile, in der zweiten Ventile mit Lederstulpdichtung, in der dritten Ventile mit Holzdichtung eingebaut.

Nach Erprobung aller für die Beurtheilung der Pumpenwirkung massgebenden Verhältnisse wurde während 2 Wochen ein Dauerbetrieb Tag und Nacht hindurch mit 180—200 Umdrehungen minutlich und 12 Atm. Wasserdruck durchgeführt, um die Haltbarkeit der Dichtungen u. s. w. beurtheilen zu können, und zwar eine Woche mit 2 m negativer und eine Woche mit 2,5 m positiver Saughöhe. Auch hierbei hat die Pumpe tadellos entsprochen. Die Durchführung dieses Dauerbetriebes ergab für das Laboratorium sowohl wie für die Aufrechterhaltung der Betriebsverhältnisse genau wie in einem praktischen Betriebe keine Schwierigkeiten. —

In den folgenden Versuchsergebnissen sind Betriebsgeschwindigkeiten von ungefähr 200 Umdrehungen minutlich zu verstehen, wo nicht ausdrücklich andere Geschwindigkeiten angegeben sind.

#### Zulässige Saughöhe.

Der Gang der Pumpe war bei 2 m Ueberdruck des zufließenden Wassers ein ebenso guter wie beim Ansaugen des Wassers aus dem Brunnen bis zur Saughöhe von 3,5 m. Darüber hinaus war die Füllung der Pumpe nicht mehr ganz vollständig, weil die Saugrohrquerschnitte und der Saugwindkessel, sowie die Wasserwege bis zur Pumpe für den thatsächlichen Betrieb mit 2 m Ueberdruck bemessen waren. Bei 200 Umdrehungen minutlich und 3,5 m Saughöhe wurden 97 % volumetrischer Wirkungsgrad festgestellt.

Der Betrieb mit 300 Umdrehungen minutlich und 2 m Saughöhe ergab noch einen volumetrischen Wirkungsgrad von 96 %.

Bei 200 Umdrehungen minutlich und einer Saughöhe bis 4,5 m wurde noch ganz ruhiger Gang der Pumpe erzielt. Aber die Pumpe füllte sich nach Ausweis der Diagramme unvollständig mit Wasser; die Hartgummi- und Holzventile liefen auch bei nicht ganz gefüllter Pumpe geräuschlos, die Metallventile hingegen härter.

Bei mehr als 4,5 m Saughöhe und 200 Umdrehungen minutlich trat Schlagen, namentlich der Metallventile, ein.

Bei minutlich 300 Umdrehungen wurde eine Saughöhe von 4 m bei zwar ruhigem Gang, aber bei nicht mehr ganz gefüllter Pumpe erreicht. Auch bei 6 m Saughöhe und minutlich 200 Umdrehungen war die Pumpe zwar noch betriebsfähig, aber es musste

dabei die Luft aus dem Saugwindkessel beständig durch einen Dampfjektor abgesaugt werden, um den Wasserstand in den Saugwindkesseln erhalten zu können. Bei richtiger Bemessung der Saugröhren, Saugwindkessel und Wasserwege bis hinter das Saugventil dürfte es aber möglich sein, auch solche Saughöhen, bis 6 m, bei hohen Geschwindigkeiten von 300 oder mehr Umdrehungen in der Minute anstandslos zu überwinden.

#### Ventile.

Alle Saugventile (Metall-, Leder- und Holzdichtung) waren während der Versuche und nach dem 14tägigen Dauerbetriebe in gutem Zustande.

Am ruhigsten arbeitete das Holz- und das Hartgummiventil. Das Metallventil ging geräuschvoller.

Wurde die Saugventilsteuerung derart eingestellt, dass das Ventil im Hubwechsel des Pumpenkolbens eben geschlossen oder dass die Feder des Schliesskopfes 1 bis 2 mm vorgespannt war, dann liefen die Pumpen am ruhigsten.

Unrichtige Einstellung der Steuerung, derart, dass im Hubwechsel der Steuerkopf mehrere mm Spiel besitzt, hat zu spätes Schliessen des Ventils und eine Verzögerung des Beginns der Druckperiode zur Folge. Aber selbst bei solcher ungenauer Einstellung der Steuerung und verspätetem Ventilschluss arbeitete die Pumpe annähernd so gut, als wenn die Steuerung richtig eingestellt und die Pumpendiagramme normal waren. Diese Erscheinung ist durchgängig beobachtet worden, auch wenn die Pumpe sich aus anderen Gründen nicht vollständig gefüllt hatte. Ungenauigkeit der Steuerung bewirkte nur ein grösseres Geräusch des Ventilspiels, ohne sonst nachtheiligen Einfluss zu zeigen.

Auffallend ist, dass die Pumpen auch gut arbeiten, wenn sie sich nicht vollständig füllen. Die Beobachtungen können nach meiner Meinung auf grosse Pumpen dieser Bauart nicht ohne weiteres übertragen werden.

Auch bei den Druckventilen hat sich Metall-, Leder- oder Holzdichtung gleichmässig gut bewährt.

Versuchsweise wurden anstelle der ursprünglichen Belastungsfedern aus gewöhnlichem, schlechtem Gummi weiche aus reinem Paragummi eingesetzt, wodurch sich aber kein Unterschied im Gang ergab. Der Ueberdruck beim Oeffnen der Druckventile konnte nicht genau ermittelt werden. Den Diagrammen und den gemachten Beobachtungen nach ist er nicht beträchtlich.

#### Dichtungen.

Bei den Vorversuchen liefen 2 Plunger warm, weil die Stopfbüchsen zu stark angezogen waren, sodass sich auch die Leergangsarbeit bedeutend erhöhte. Die Packung wurde herausgenommen und ganz lose wieder eingesetzt und allmählich und schwach angezogen. Seitdem sind Schwierigkeiten durch die Stopf-

büchsen nicht mehr entstanden. Es ist daher nöthig, die Stopfbüchsen nicht mehr anzuziehen, als durchaus zur Dichtung erforderlich ist, und lieber einige Tropfen Wasser durch die Packung austreten zu lassen.

Die Pumpenkörper und Ventile und auch die Tauchkolben waren aus Bronze ausgeführt, weil die Pumpen Salzsoole zu heben bestimmt sind. Irgend welche Abnutzung der Metallkolben durch die Stopfbüchsenpackung nach dem Dauerbetriebe konnte nicht beobachtet werden.

Die ursprünglich vorgesehene Schmierung der Stopfbüchsen durch Fett, das durch den Luftdruck aus dem Windkessel unter Druck gesetzt wird, hat sich nicht bewährt. Die später hinzugefügte, mit Handrad und Schraubenspindel zu bedienende Schmierpresse hat hingegen vollständig entsprochen. Einmaliges Anziehen des Handrades reichte durchschnittlich für 5 bis 6 Betriebsstunden aus.

Der volumetrische Wirkungsgrad der Pumpe wurde, wie erwähnt, bei minutlich 200 Umdrehungen durch unmittelbare Messung zu 97% ermittelt.

Beim Antrieb mit 300 Umdrehungen minutlich wurde zwar die Pumpe nach Anzeige der Pumpendiagramme nicht mehr ganz gefüllt, jedoch war der Wirkungsgrad bei allen Messungen nicht schlechter als 96%. Die früheren Angaben über unvollständige Füllung der Pumpen beziehen sich auf solche mässige Verluste. Nur bei Saughöhen über 4 m und Geschwindigkeiten über 300 in der Minute war die Pumpenfüllung wesentlich geringer.

Mechanischer Wirkungsgrad.

Beim Leerlauf und 200 Umdrehungen minutlich betrug die in den Elektromotor eingeleitete Arbeit 15 PS. Bei belasteter Pumpe ergab sich der Wirkungsgrad, aus der elektrischen Leistung und der Pumpenarbeit, in thatsächlich gehobenem Wasser berechnet, in dem Masse besser als die Druckhöhe zunahm. Bei sehr grosser Geschwindigkeit nahm der Wirkungsgrad wieder ab. Die Belastung konnte nur bis zu 20 Atm. Wasserdruck getrieben werden. Bei diesem Wasserdruck und 200 Umdrehungen minutlich war der gemessene Wirkungsgrad 76%. Jedoch darf diese Beobachtung nicht verallgemeinert werden. Es ist vielmehr anzunehmen, dass wegen des augenblicklichen Zustandes der Stopfbüchsenpackungen und wegen der geringeren Leistung der Wirkungsgrad während der Versuche geringer war als im praktischen Betriebe, wo sich bei voller Belastung der Pumpe (35 Atm. statt 20 Atm., das ist fast das Doppelte des Widerstandes während der Versuche) ein wesentlich günstigerer Wirkungsgrad herausstellen wird. Der Wirkungsgrad, richtiges Anziehen der Stopfbüchsen vorausgesetzt, kann auf 80% kommen, diesen Werth vielleicht auch überschreiten.

Umdrehungen min.	Elektromotor					Pumpe		
	Volt	Am-père	Einge-leit. PS.	Elektr. Wirkg.-grad %	Abgegeb. PS. Motor	Saug-wider-stand	PS. Pumpe	Mechan. Wirkungsgrad %
200	97	174	22,9	88	20,1	0,13	7,55	37,5
	120,5	183	30,0	88	26,4	0,25	13,9	52,7
	130	220	38,9	88	34,4	0,33	21,0	61,0
	128,6	266	46,4	88	41,0	0,24	29,2	71,3
	140	283	53,8	88	47,5	0,21	36,4	76,6
	146	326	64,6	88	56,9	0,22	43,5	76,5
180	114	129	20,0	88	17,4	0,13	5,9	34,2
	103	192	26,9	88	23,7	0,25	13,0	55,0
	120	216	35,2	88	31,1	0,33	19,4	62,5
	110	265	39,6	88	34,9	0,24	25,7	73,5
	129	274	48,0	88	42,3	0,21	32,0	75,6
	126,5	345	59,4	88	52,4	0,22	40,0	76,6
160	95	131	16,9	88	14,9	0,13	5,55	37,3
	91,5	183	22,8	88	20,1	0,25	11,7	58,3
	104	209	29,5	88	26,1	0,33	17,1	65,5
	101	257	35,3	88	31,1	0,24	23,1	74,2
	114	266	41,2	88	36,4	0,21	28,7	79,0
	110	337	50,3	88	44,5	0,22	35,9	80,6
140	74	134	13,5	88	11,9	0,13	4,62	38,9
	80	178	19,3	88	17,1	0,25	10,1	59
	86	217	25,3	88	22,3	0,33	15,2	68,2
	94	238	30,4	88	26,8	0,24	21,5	80,2
	102	266	36,9	88	32,5	0,21	25,8	79,5
	101,3	322	44,5	88	39,0	0,22	30,6	78,5
120	58	140	11,0	86	9,5	0,13	4,4	45,7
	63,5	187	16,1	86	13,9	0,25	8,65	62,3
	76	208	21,4	86	18,5	0,33	13,0	70,3
	74	259	26,1	86	22,4	0,24	18,1	81,0
	80	281	30,6	86	26,2	0,21	22,0	84,0
	81	340	37,4	86	32,2	0,22	26,2	82,5
100	—	—	—	—	—	—	—	—
	52,5	194	13,8	86	11,9	0,25	7,2	60,4
	52,5	239	17,1	86	14,7	0,2	10,9	74,1
	68,0	243	22,5	86	19,3	0,2	14,5	75,1
	65	296	26,2	86	22,5	0,21	18,7	83,0
	68	332	30,6	86	26,4	0,22	22,1	84,0

Der volumetrische Wirkungsgrad bei allen diesen Versuchen war annähernd = 97%.

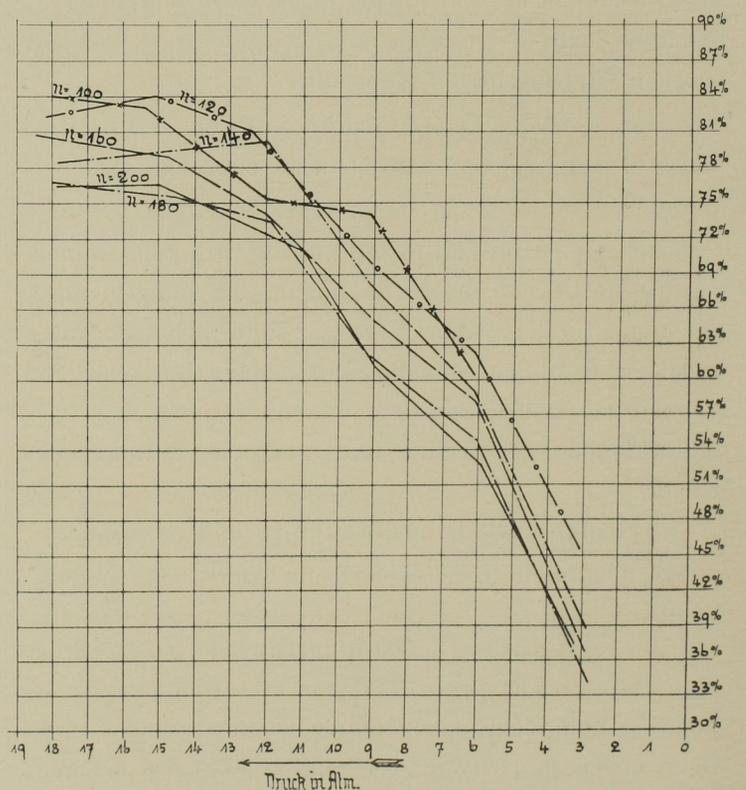


Abb. A. Darstellung des mechanischen Wirkungsgrades.

### Luftpuffer.

Die Wirkung des Luftpuffers: die Luftverdichtung während des Druckhubes jedes Pumpenkolbens zum Zweck der Massenverzögerung und Wiederausdehnung der Luft beim nächsten Saughube, war eine vollständig entsprechende. Die Erwärmung durch die Luftverdichtung war geringfügig; die Puffercylinder waren im Dauerbetrieb handwarm.

Bei der Erprobung der Pumpe mit ausgeschaltetem Luftpuffer (offenem Cylinderdeckel und herausgenommenem Regulirkolben) ergab sich der Gang der Pumpe jedoch ebenso ruhig als mit eingeschaltetem Luftcylinder. Ein Arbeitsverlust durch den Luftpufferbetrieb war bei der geringen Kompressionsspannung nicht nachzuweisen. Die am Luftcylinder mit dem gewöhnlichen Indikator abgenommenen Diagramme zeigen keine Arbeitsfläche. Kompressions- und Ausdehnungslinie fallen zusammen.

#### 1. Betrieb mit Luftpuffercylinder.

Umdrehungen min.	Elektromotor				Pumpe		
	Volt × Amp.	Watt 736	Elektr. Wirksgr. %	Abgegeb. PS.	Gesamt- förderhöhe m	PS	Me- chan. Wir- kungs- grad %
120	87 · 354	41,8	86	36,0	181,8	27,6	76,7
120	86 · 260	30,4	86	26,1	182,8	18,6	71,1

#### 2. Betrieb ohne Luftpuffercylinder.

120	90 · 343	40,8	86	35,2	180,8	27,5	78,2
120	76 · 290	30,0	86	25,8	120,8	18,4	71,3

### Windkessel-Füllvorrichtung.

Es waren Ausrüstungen vorhanden, um die Luft nach Bedarf in den Saugwindkessel nachzufüllen oder daraus abzusaugen und nach Bedarf Druckluft in den Druckwindkessel nachzufüllen oder daraus abzulassen.

Die einfachen Schnüffelventile an den Saugwindkesseln funktionirten gut. Der Wasserstand im Saugwindkessel konnte im Betriebe bei nicht zu grosser Saughöhe leicht in der gewünschten Höhe erhalten werden. Die Füllung des Druckwindkessels durch die Schnüffelventile war hingegen unmöglich, da Luft und Wasser im Pumpenraum bei den hohen Betriebsgeschwindigkeiten derart durcheinander gemengt wurden, dass die Luft absorbiert und aus dem Windkessel durch das Wasser mit fortgenommen wurde. Betrieb ganz ohne Luft im Druckwindkessel wurde wiederholt durchgeführt, und es ergaben sich wohl infolge der unter 120° versetzten drei Kurbeln keine nennenswerthen Druckschwankungen.

Das Anlassen der Pumpen ergab keine Schwierigkeiten, auch wenn es rasch erfolgte.

Das Füllen der Pumpenkörper und zum Theil der Druckwindkessel erfolgte durch Oeffnen der Umlauf-

ventile vom Saugkasten aus, bei Betrieb mit Saughöhe durch Absaugen der Luft aus den Pumpen vermittelt des Ejektors.

Das Triebwerk der Pumpe funktionirte gut und giebt zu keinen Bemerkungen Anlass.

### Zusammenfassung.

Das Untersuchungsergebniss kann dahin zusammengefasst werden, dass die Pumpe bis zu 300 Umdrehungen minutlich und mit Saughöhen bis 3,5 m tadellos betrieben werden konnte, dass aber bei richtiger Bemessung der Wasserwege eine weitere Steigerung der Geschwindigkeit und der Saughöhe bis etwa 5 m erreicht werden kann, und dass die neue Pumpenkonstruktion in allen Theilen diesen ungewöhnlich hohen Betriebsgeschwindigkeiten auch im Dauerbetrieb vollständig entsprechen kann.

### 3. Erprobung der grossen Versuchspumpe Mansfeld.

Die Pumpe wurde wegen des durch den Neubau verursachten Raummangels im Laboratorium auf einem Holzrost aufgebaut. Die Fundirung war mangelhaft und es konnte starkes Schwingen der ganzen grossen Pumpe bei raschem Gang nicht vermieden werden. Doch ergab sich daraus keine nennenswerthe Schwierigkeit.

Der Antrieb der Pumpe erfolgte, weil die grossen Dampfmaschinen des Laboratoriums nicht verfügbar waren, durch eine kleine stehende Verbundmaschine, die mit 9 bis 10 Atm. Einlass-Dampfdruck und mit einer Umlaufgeschwindigkeit bis 200 Umdrehungen minutlich betrieben werden konnte und mit der Welle der Pumpe unmittelbar gekuppelt wurde. Auf der Pumpenwelle war ein kleines Schwungrad angebracht.

Da diese Dampfmaschine für den Antrieb der grossen Pumpe zu schwach war, wurde auf der Pumpenwelle eine Riemenscheibe angebracht, sodass die Pumpe durch Riemenübersetzung von einem Elektromotor allein oder zugleich von der Dampfmaschine angetrieben werden konnte. Auf diese Weise wurden die Versuche durchgeführt, welche grösseren Kraftaufwand verursachten.

Für die Versuche wurde ein Behälter von etwa 1 cbm Inhalt aufgestellt, in den die Druckleitung das Wasser ausgoss und aus dem die Saugleitung wieder ansaugte, sodass die Drosselung im Saugrohr zur Veränderung der Saughöhe unabhängig von der Druckspannung nach Bedarf hergestellt werden konnte. Das Anlassen der Pumpe und die Regulirung des Wasserstandes im Saugwindkessel erfolgte durch einen Dampf-ejektor.

Die Versuche mit dieser grossen Pumpe konnten, da die Betriebskraft beschränkt war, nur mit geringem Wasserdruck durchgeführt werden. Zweck der Ver-

suche war: die Feststellung der Saugwirkung bei verschiedenen Saughöhen und insbesondere des Verhaltens der Pumpenventile.

Die Saugventile waren ähnlich den der Leopoldshaller Pumpen; die Druckventile hingegen konzentrisch angeordnete sehr leichte Metallringventile, welche durch Gummiringe, als Federn und zugleich als Stulpabdichtungen dienend, überdeckt waren.

Insbesondere waren die Wirkung der Ventilsteuerung sowie verschiedene Ventilformen und Dichtungen: Ringventile aus Hartgummi, Ventile mit Holzdichtung und mit Lederstulpen und Metallventile, zu erproben.

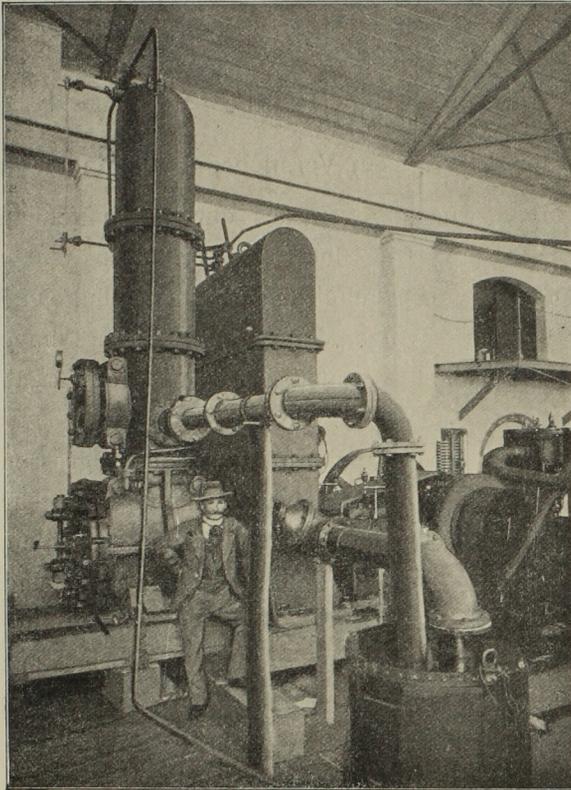


Abb. 44.

Bei den ersten Versuchsreihen wurde mit 2 m Saugwiderstand gearbeitet und Antriebsgeschwindigkeiten bis 230 Umdrehungen minutlich erreicht. Mehr konnte durch die Antriebsmotoren nicht erzielt werden. Jedoch war bei allen Versuchen eine gewisse Unbeständigkeit, ein Wechseln des Ganges sowohl in der äusseren Erscheinung wie in den Diagrammen bemerkbar. Zeitweilig lief die Pumpe auch bei den höchsten Geschwindigkeiten tadellos, zeitweilig zeigte sich plötzliches Wechseln der Geschwindigkeit.

Die Ursache dieser Unregelmässigkeiten konnte nicht in der Pumpe und ihren Ventilen, sondern musste in der für die grosse Pumpe unzureichenden Wasserbeschaffung gesucht werden. In dem kleinen Zwischenbehälter entstanden bei raschem Gang der Pumpe so starke Wasserwirbel, dass die aus dem Druckwindkessel mitgerissene Luft sich nicht ausscheiden konnte und

selbst neue Luft aus dem Saugbehälter mitgerissen wurde.

Es wurde deshalb ein grosser Zwischenbehälter von ca. 16 cbm Inhalt eingebaut, sodass das vom Druckrohr ausgiessende Wasser den grössten Theil der Luft ausscheiden konnte. Damit waren alle Schwierigkeiten beseitigt, der Pumpengang wurde regelmässig, die Pumpe war immer voll gefüllt und die Diagramme wurden gleichmässig.

Bei diesem befriedigenden Betriebszustande wurde ermittelt: das Verhalten der verschiedenen Ventilformen,

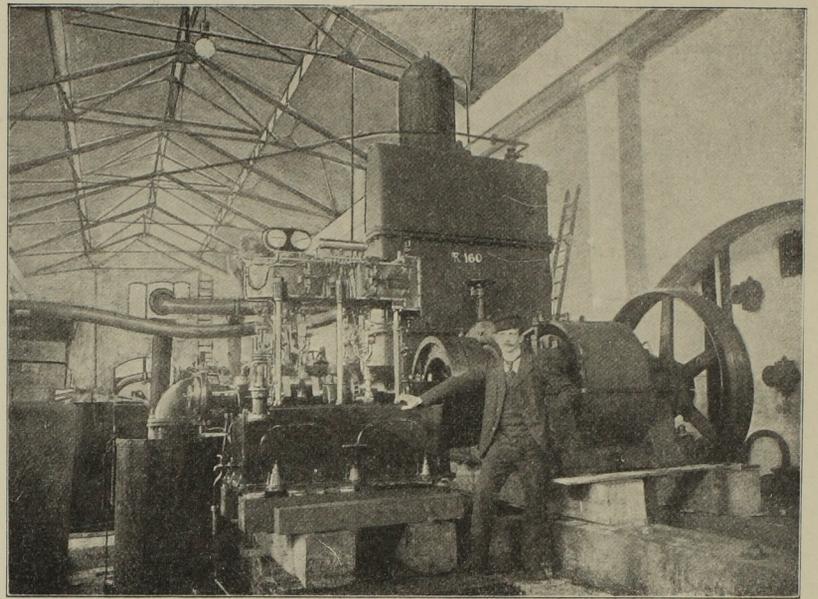


Abb. 45.

Abb. 44 u. 45. Wasserhaltungspumpe für die Mansfelder Kupferschieferbauende Gewerkschaft, aufgestellt im Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule zu Berlin.

die Einstellung ihrer Steuerung und der volumetrische Wirkungsgrad.

Bei Erprobung der Steuerung stellte es sich heraus, dass der ruhigste Gang erzielt wurde, nicht wenn der Steuerkopf das Ventil im Kolbenhubwechsel oder schon vorher völlig schloss und die Gummifeder auf dem Steuerkopf entsprechende Vorspannung besass, sondern wenn die Ventile dem Sitz nur genähert und ein geringer nicht gesteuerter freier Ventillhub gelassen wurde.

Es ist wahrscheinlich, dass bei dem niedrigen Wasserdruck, unter dem diese grosse Pumpe erprobt wurde, das Saugventil durch die Steuerung wieder vom Sitz entfernt wurde, weil der Steuerkopf und das Ventil durch das kräftige Anpressen mit einer Kraft aneinanderhafteten, die hinreichte, das gering belastete Ventil vom Sitz wieder abzuheben. Hierdurch würde sich auch

erklären, dass bei vielen Vorversuchen das Spiel der Saugventile unregelmässig war. Bei voller Belastung der Pumpe oder bei solcher Anordnung des Steuerkopfes, dass ein Anhaften vermieden wird, wird dies nicht eintreten können.

Bei 3 mm ungesteuertem Spielraum und gleichzeitiger Drosselung in der Saugleitung wurde der volumetrische Wirkungsgrad durch unmittelbare Messung des geförderten Wassers in 2 grossen Behältern bestimmt. Das Ergebniss zeigt folgende Zusammenstellung:

Nr. des Versuchs	Mittlere Umdrehungszahl	Höchste Umdrehungszahl	Saughöhe Meter	Volumetr. Wirkungsgrad %
1	120	132	2,6	96,0
2	136	144	3,8	95,8
3	140	144	5,9	95,5
4	140	160	(7,0)	(78,8)

Bei den Versuchen 1—3 war der Gang der Pumpe vollständig ruhig. Bei Versuch 4 trat starkes Schlagen der Ventile ein. Die Saughöhe war zu gross, die Pumpe konnte nicht mehr vollgefüllt werden.

Eine weitere Versuchsreihe ergab Aufschluss über die Saughöhe und den Lieferungsgrad bei Geschwindigkeiten von minutlich 100—200 Umdrehungen:

Nr. des Versuchs	Mittlere Umdrehungszahl	Höchste Umdrehungszahl	Saughöhe Meter	Volumetr. Wirkungsgrad %
5	100	108	0,85	94,5
6	104	112	4,0	94,7
7	128	140	4,0	96,4
8	136	145	2,4	97
9	140	152	4,0	96,7
10	160	184	4,0	97,3
11	172	184	3,0	98,7
12	176	180	4,0	97,3
13	188	200	3,1	98,1
14	192	212	3,1	98,1
15	196	216	4,0	97,6

Die Steuerung war auf  $4\frac{1}{2}$  mm ungesteuerten Spielraum eingestellt, sodass sich das Ventil erst nach dem Hubwechsel schliessen konnte und der volumetrische Lieferungsgrad sich niedriger als bei geringerem Spielraum im Todtpunkte ergeben musste. Der Gang der Pumpe war aber bei allen Versuchen befriedigend und geräuschlos. Der Lieferungsgrad nahm mit der Geschwindigkeit zu und war auch bei den höchsten Betriebsgeschwindigkeiten sehr befriedigend.

Um diese Thatsache weiter zu prüfen, wurde eine dritte Versuchsreihe durchgeführt (Versuch 16—33). Auch bei diesen Versuchen war der Gang der Pumpe vollständig zufriedenstellend, die Pumpe immer vollgefüllt, das Spiel der Ventile ruhig und vollständig gleichmässig.

Nr. des Versuchs	Mittlere Umdrehungszahl	Maximale Umdrehungszahl	Saughöhe Meter	Volumetr. Wirkungsgrad %
16	104	116	1	94,4
17	125	136	1,5	97,1
18	148	160	1,6	97,6
19	148	160	1,7	97,6
20	160	184	2	98,2
21	188	<b>204</b>	2,2	<b>98,2</b>
22	196	<b>214</b>	2,2	<b>98,3</b>
23	128	140	2,5	95,5
24	172	184	3,0	95,9
25	132	140	1,5	97,1
26	168	180	3,0	95,9
27	116	128	1,4	95,6
28	160	176	2,9	97,1
29	116	130	1,5	96
30	164	176	3,0	96,6
31	120	132	1,5	96,6
32	156	168	3,0	95,6
33	124	132	3,0	96

Die höchste mit den vorhandenen Betriebsmitteln erreichte Geschwindigkeit war 220 Umdrehungen minutlich, wobei die Pumpe bis zu 4 m Saughöhe tadellos lief.

Im übrigen bestätigte die Erprobung dieser grossen Pumpe die Ergebnisse der vorangegangenen Erprobung der Leopoldshaller Pumpe.

Charlottenburg, den 20. März 1899.

gez. **Josse**, Professor,

Vorsteher des Maschinen-Laboratoriums.

