

A73

Bericht Nr. 540

**Leistungsmessungen
an Maulwurfpumpen im Betriebszustand**

9042



**I. G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT
LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**

Leistungsmessungen an Maulwurfpumpen im Betriebszustand

1.) Einleitung:

In der Ammoniakfabrik Oppau sind zur Zeit acht Maulwurfpumpenaggregate in Betrieb, gekennzeichnet mit Stand 1 bis 8. Die Pumpe Nr. 1, genannt 800er Pumpe, ist die älteste Pumpe. Sie ist in einem Druckzylinder von 800 mm ϕ eingebaut und besitzt 2 x 6 Kreisel, von denen je zwei paarweise gegeneinander gesetzt sind, wobei das Gas in Umlenkanälen derart geführt ist, dass es beide Kreisel nacheinander gegenflutig (Zykliden gasführung) durchläuft. Dadurch wird der Achsialschub des Rohres weitgehend aufgehoben, der Restschub wird von einem kleinen Ausgleichkolben mit Labyrinth und von einem Achsiallager (Schulterlager) aufgenommen. Die Pumpe Nr. 2, genannt 500er Pumpe, ist eine Zwischenentwicklungsstufe, ähnelt den folgenden 6 Pumpen Nr. 3 bis 8, genannt 600er Pumpen. Letztere sind in Druckzylindern von 600 mm ϕ eingebaut und besitzen 14 Kreisel, die in gleicher Art auf der Welle sitzen und auch in gleicher Richtung einflutig vom Gas durchströmt werden. Der gesamte Achsialschub wird von einem Ausgleichkolben aufgenommen, wobei der Gegendruck nach der Konstruktion Wengler-Schirmer mittels zweier entgegengesetzt wirkender Labyrinth zwischen Druck- und Saugraum automatisch gesteuert wird. Achsialdrücke beim Anlauf oder bei plötzlichen Betriebsänderungen nimmt ein Kammlager auf.

Beide Pumpentypen, die 800er und die 600er Pumpe, sind hydrodynamisch und konstruktiv voneinander sehr verschieden und zeigen auch in ihrem betrieblichen Verhalten (Laufzeiten) wesentliche Unterschiede. Aus dem sich dabei ergebenden Fragenkomplex zur Beurteilung der Pumpen soll hier nur ein Teilgebiet behandelt werden, nämlich die Bestimmung der Pumpenwirkungsgrade beider Typen im Betrieb. Leistungsmessungen

an Maulwurfpumpen sind bisher stets mit Luft unter Niederdruck durchgeführt worden. Die vorliegende Untersuchung hat das Ziel, derartige Messungen nunmehr auch im Betriebszustand, d.h. also mit Kreislaufgas unter 200 at, vorzunehmen und beide Pumpen in ihrem hydrodynamischen Verhalten miteinander zu vergleichen.

2.) Durchführung der Messungen:

Bei den Untersuchungen werden Pumpe und Motor als Einheit betrachtet wie es auch der betrieblichen Anschauung entspricht. Mess technisch wird dabei die Unsicherheit umgangen, die durch die Unkenntnis des elektrischen Motorwirkungsgrades^{*)} besteht, sowie die Schwierigkeiten vermieden, die die genaue Messung des Druckes und der Temperatur am Pumpen eingang ergeben (Anbohrung des Mantels, evtl. Wickelmantel, Temperaturfeld im Gasstrom usw.).

An den Gasleitungen vor und nach dem Pumpenaggregat ist je eine Druckentnahmestelle, an denen die Absolutdrücke p_I und p_{II} [atü] mit geeichten Präzisionsmanometern genau gemessen werden. Die Förderhöhe Δp [at] des Maulwurfs wird direkt abgelesen an einem Drehkolbendifferenzdruckmesser. Der Apparat, der bereits längere Zeit in Op. 37 hängt, dürfte nach Angabe von Herrn Dipl.-Ing. Frank eine Messgenauigkeit von etwa $\pm (0,1 \text{ bis } 0,2) \text{ at}$ besitzen. Die Temperaturen t_I und t_{II} [°C] vor und nach dem Aggregat konnten an Normalthermometern, die in einem ölgefüllten Stutzen an einem T-Stück angebracht sind, abgelesen werden.

Zur Mengenmessung dienen die Normdüsen, die auch zur laufenden Betriebsüberwachung eingebaut sind. Sie wurden vor den Versuchen herausgenommen und gereinigt, die Messleitungen wurden überprüft. Die Differenzdruckanzeige h [mm QS] wurde an einer Ringwaage abgelesen.

^{*)} Nach Angabe von Herrn Dipl.-Ing. Gerwig existiert nur eine Angabe von SSF über einen neuen 600er Motor: $\eta = 96,2\%$ bei 375 KW. Die Veränderung von η mit der Leistung ist nicht bekannt.

Bei der 800er Pumpe war die Blende in der senkrechten Saugleitung vor der Abscheideflasche eingebaut, bei der 600er Pumpe in der waagrechten Druckleitung über der Pumpe. Da an der Blende selbst der Druck p_{Bl} [at] und die Temperatur t_{Bl} [°C] nicht ermittelt wurden, sind diese Werte nach den Messungen vor (800er Pumpe) oder nach (600er Pumpe) dem Aggregat eingesetzt. Die dadurch bedingten Fehler sind vernachlässigbar.

Der Leistungsbedarf des Maulwurfaggregates N_M [Kw] wurde vom Elektrobetrieb mit Präzisionsinstrumenten ermittelt, und zwar wurde die Drehstromleistung nach dem Transformator, direkt vor dem Motor, abgelesen.

Die Wichte vom Kreislaufgas konnte an der registrierenden Dichtewaage in Op.37 abgelesen werden. Die Messleitung war ziemlich lang, sodass durch deren Füllvolumen eine Nachanzeige von einigen Minuten anzunehmen ist. Bei starken Schwankungen der Gaswichte sind dabei Messfehler möglich. Die Anzeige des Instrumentes $\rho_{15,735}$ [kg/m³] gilt für 15°C und 735 mm QS. Vom Betrieb wurden Gasanalysen direkt an der Pumpe entnommen. Der Wasserstoffgehalt H_2 [Vol %] wurde zu jeder Ablesung laufend ermittelt, von einigen Proben wurde auch der Anteil von Methan, Argon und Ammoniak bestimmt.

3.) Auswertungen und Ergebnisse:

a) Drosselkurven

Für die Berechnung der Gasdichten unter Hochdruck ist die Kompressibilität K zu berücksichtigen. Für die vorliegenden Gaszusammensetzungen könnten die K -Werte nach der Mischungsregel aus den K -Werten der Einzelkomponenten berechnet werden. Da derartige Berechnungen für die zahlreichen Auswertungen sehr zeitraubend sind und zudem meist grössere Abweichungen gegenüber direkt gemessenen Werten zeigen, wurden hier die experimentellen K -Werte von Bartlett, Cupples und Tremearne sowie Verschoyle benutzt, wenngleich deren Gaszusammensetzung (75% H_2 , 25% N_2) von unserem Kreislaufgas etwas abweicht (Blatt 1). Der Fehler ist jedoch unbedeutend.

Die Kreislaufgasmenge G [kg/h] errechnet sich nach den "VDI-Durchflussmesserregeln" zu:

$$G = \text{konst} \cdot \sqrt{\gamma_{15,735} \cdot \frac{P_{B1} \cdot 288,16}{K_{B1} \cdot (273,16 + t_{B1})}}$$

Bei der 800er Pumpe mit einer Düse von 90 mm ϕ und $\alpha = 1,117$ ist die Konstante 416,2 und bei der 600er Pumpe mit einer Düse von 85 mm ϕ und $\alpha = 1,083$ ist die Konstante 360,0. Für das geförderte Gasvolumen V_m [m³/h] soll der Zustand in der Pumpe (P_m, t_m, K_m), als arithmetischer Mittelwert zwischen den gemessenen Drücken und Temperaturen vor und nach dem Aggregat, massgebend sein:

$$V_m = \frac{G}{\gamma_m} \quad \text{und} \quad \gamma_m = \gamma_{15,735} \cdot \frac{P_m \cdot 288,16}{K_m \cdot (273,16 + t_m)}$$

Nach diesen Versuchsauswertungen kann die Drosselkurve gezeichnet werden (s. Blatt 3). Nach Vorschlag von Herrn Obering. Futterer ist es hierbei zweckmässig, den Quotienten $\frac{\Delta p}{Z \cdot \gamma_m}$ in Abhängigkeit von V_m aufzutragen, wobei Z die Stufenzahl ist. Dabei werden einerseits die verschiedensten Betriebschwankungen in der Dichte und im Druck weitgehend ausgeglichen, andererseits der Vorstellung des Kreisels als Volumenförderer Rechnung getragen. Einem mittleren Betriebszustand mit $\gamma = 75$ [kg/m³] entsprechend ist auch das untere Bild von Blatt 3 gezeichnet, in dem die von den vorhandenen Z Stufen des Maulwurfs erzeugte Druckdifferenz Δp über der Gasmenge im Strömungszustand V_m aufgetragen ist. Der Vergleich beider Aggregate zeigt die wesentlich grössere Förderhöhe der 600er Pumpe, die ja durch die engeren Kieselkanäle rein konstruktiv bedingt ist. Zu beachten ist auch die steilere Charakteristik der 600er Pumpe, die beim Parallelbetrieb mehrerer Pumpen im Offenkreislauf vorteilhaft ist, sowie die beträchtlich niedrigere Pumpengrenze der 600er Pumpe.

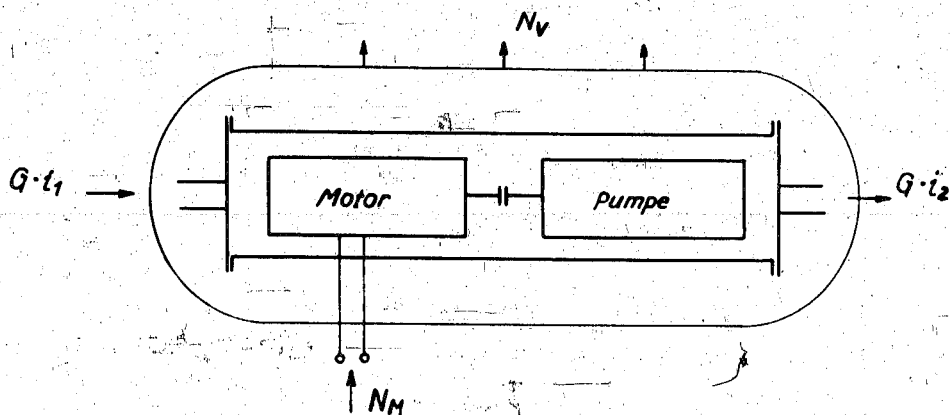
b) Leistungen

Die Isotherme ergibt den theoretisch kleinsten Arbeitsaufwand bei der Verdichtung. Sie soll daher als idealer Vergleichsprozess

angesehen werden, wobei die isotherme Leistung $N_{\text{isoth}} [KW]$ für vorliegende Versuche zweckmässig nach folgender Formel zu berechnen ist:

$$N_{\text{isoth}} = \frac{2,72}{10^2} \cdot G \cdot \frac{K_1 (273,16 + t_1)}{15,735 \cdot 288,16} \cdot \ln \left(1 + \frac{\Delta P}{P_1} \right)$$

Bei der Verdichtung im Maulwurf treten Verluste ein: im Motor die Stromwärme-, Hysterese- und Wirbelverluste und die Reibungsarbeit des Rotors, in der Pumpe vor allem Stossverluste, Reibungsverluste, Kreiselradreibung, Drossel- und Spaltverluste, in den Lagern die Lagerreibungsverluste. Zusammen mit der eigentlichen Förderleistung der Pumpe kann die Arbeit all dieser Verluste kalorisch als sogenannte indizierte Leistung $N_i [KW]$ beim Versuch erfasst werden. Die Energiebilanz würde nach folgendem Schema aufzustellen sein:



$$860 \cdot N_M + G \cdot i_1 - N_v - G \cdot i_2 = 0$$

Die Wärmeinhalte i_1 und i_2 lassen sich auch durch die spezifischen Wärmen $\varphi [kcal/kg^{\circ}C]$ ersetzen. Unter Benutzung des mittleren Gaszustandes im Aggregat (φ_m) erhält man folgende Gleichung:

$$N_M = \frac{G \cdot \varphi_m \cdot (t_2 - t_1)}{860} + \frac{N_v}{860} = N_i$$

In den beiden oberen Bildern von Blatt 4 sind die indizierte Leistung N_i und die elektrische Motorleistung N_M in Abhängigkeit vom Gasvolumen V_M für beide Maulwurfaggregate eingezeichnet. Bei der 800er Pumpe ergeben kalorische und elektrische Leistungsmessung eine sehr gute Übereinstimmung. Bei der 600er Pumpe dagegen wird N_i zu hoch gemessen, bei grossen Gasmenngen nur geringfügig, bei kleinen Gasmenngen allerdings bis zu 10%. Eine Erklärung für die Fehlmessung kann nicht abgegeben werden. Sie dürfte am ehesten bei der Temperaturmessung zu suchen sein, da die Mengemessung einwandfrei ist. Eine Überprüfung dieser Frage ist erst für spätere Messungen an Maulwurfpumpen demnächst in Aussicht genommen, da es hier weniger von Bedeutung ist. Die isotherme Leistung N_{isoth} ist im untersten Bild von Blatt 4 dargestellt. Die Neigung der Kurven entspricht dem Logarithmus des Druckverhältnisses p_2/p_1 . Die Kurven beider Pumpen verlaufen daher sinngemäss entsprechend den Veränderungen in den Drosselkurven.

c) Wirkungsgrade

Auf Grund der drei Leistungsbestimmungen N_M , N_i und N_{isoth} ergeben sich die Wirkungsgrade entsprechend den "VDI Verdichterregeln" nach der folgenden Zusammenstellung:

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Antriebsleistung} & N_M & \\
 \text{indizierte Leistung} & N_i & \\
 \text{isotherme Leistung} & N_{isoth} &
 \end{array}
 \left\{ \begin{array}{l} \eta_{isoth} = \frac{N_i}{N_M} \\ \eta_{ind} = \frac{N_{isoth}}{N_i} \end{array} \right\} \eta_g = \frac{N_{isoth}}{N_M}$$

Im Gegensatz zu den "Verdichterregeln", die sich auf Maschinen mit aussen liegenden Lagern beziehen, muss beim Maulwurfaggregat $\eta_{mech} = 100\%$ werden, da ja die Lagerreibung mit als fühlbare Wärme im Gas erscheint ($N_M = N_i$). Entsprechend muss der indizierte Wirkungsgrad η_{ind} gleich dem Gesamtwirkungsgrad η_g werden. Die Wirkungsgradkurven in Blatt 5 zeigen dies sehr gut an

der 800er Pumpe, die als Mittelwert des Punkthaufens einen mechanischen Wirkungsgrad von 100% erkennen lässt. Bei der 600er Pumpe wird $\eta_{\text{mech}} > 100\%$ und η_{ind} zu klein, da ja N_1 zu hoch gemessen ist.

Der für vorliegende Beurteilung massgebende Gesamtwirkungsgrad η_g ist im obersten Bild von Blatt 5 dargestellt. Die 800er Pumpe erreicht danach einen maximalen Wirkungsgrad von 57% bei 350 m³/h. Durchwegs um 3 bis 4% höher liegt die Kurve der 600er Pumpe, deren Maximum mit 60% ebenfalls bei 350 m³/h liegt. Günstig ist bei der 600er Pumpe die geringe Verringerung des Wirkungsgrades um nur 5% bis zur Höchstfördermenge bei 450 m³/h, während die 800er Pumpe ihre Fördergrenze bei 410 m³/h erreicht, wobei der Wirkungsgrad bereits steil abfällt.

Von den beiden hier untersuchten Aggregaten liegen in ihrem derzeitigen Zusammenbau leider keine Leistungsmessungen an Luft vor. Die 800er Pumpe ist seit ihrer Lieferung mehrfach abgeändert worden, die 600er Pumpe ist zwar von der G.H.H. vor der Abgabe mit Luft durchgemessen, doch anschließend vom Betrieb wieder ganz zerlegt und mit einem automatischen Ausgleichskolben versehen worden. Die veränderten Labyrinthanordnungen ergeben wesentlich andere Spaltverluste und damit auch andere Wirkungsgrade. Experimentelle Unterlagen hierüber fehlen allerdings. Ein Vergleich von Betriebsmessungen mit Luftmessungen ist also nicht möglich.



C. Kling

Tafel 1: Messungen an Maulwur

800er Pumpe

Datum	Zeit	p_1	p_2	Δp	t_1	t_2	Δt	h	$\rho_{15,735}$	ρ_{H_2}	G	$\dot{m}$	V_m
	Uhr	at	at	at	°C	°C	°C	mmQS	kg/m ³	Vol-%	kg/h	kg/m ³	m ³ /h
23.3.43	10 ³¹	212,2	225,6	12,23	13,2	21,1	7,9	68,5	0,370	72,80	28900	71,30	405,5
	11 ⁴⁰	209,0	222,0	13,10	13,2	21,6	8,4	70,3	0,388	70,70	29800	73,75	404,0
	13 ³⁰	211,5	226,2	14,82	13,0	22,1	9,1	50,6	0,384	71,20	25120	73,73	340,8
	13 ⁴⁰	211,5	226,2	14,81	13,0	22,2	9,2	49,6	0,383	71,20	24950	73,75	339,0
	14 ¹⁰	211,2	225,8	14,45	12,9	21,9	10,0	50,0	0,379	71,20	24920	72,90	342,0
	14 ²⁰	209,5	224,0	14,58	12,9	21,9	10,0	49,8	0,383	71,53	25000	73,20	342,0
	14 ⁴⁰	208,5	224,2	16,04	12,6	22,4	9,8	37,2	0,390	70,70	21740	74,50	291,5
	14 ⁵⁰	209,0	225,0	16,04	12,1	22,2	9,9	37,9	0,393	70,20	22100	75,15	291,5
	15 ²⁰	208,5	224,5	16,3	11,8	22,2	10,4	53,0	0,409	66,70	22740	78,25	291,0
	15 ⁴⁰	209,8	227,0	17,2	10,9	22,6	11,7	25,0	0,412	65,30	18500	78,90	234,6
	16 ²⁰	209,6	226,4	16,98	10,4	22,1	11,7	24,0	0,403	69,20	17800	77,15	230,7
25.3.43	10 ⁵⁵	205,2	218,0	13,60	13,5	22,6	9,1	65,7	0,400	71,9	29600	74,50	322,0
	11 ⁰⁵	203,8	216,2	13,20	13,5	22,3	8,8	64,8	0,393	70,7	28400	72,80	290,0
	11 ²⁰	207,2	220,0	13,60	13,5	22,5	9,0	58,3	0,391	71,2	27200	73,30	271,0
	11 ⁴⁵	210,0	224,0	14,05	13,5	22,7	9,2	60,4	0,399	72,25	28050	76,00	290,0
	13 ³⁰	210,0	226,1	14,85	13,2	23,2	10,0	44,0	0,402	72,25	23850	77,10	289,0
	13 ⁴⁰	210,3	226,2	14,90	13,2	23,2	10,0	44,0	0,401	71,70	23700	76,80	289,0
	14 ¹⁶	212,0	229,0	16,20	12,7	23,5	10,8	31,7	0,400	71,70	20400	81,75	242,0
	14 ⁴⁵	211,7	228,5	16,20	12,9	23,4	10,5	30,8	0,392	72,25	19880	79,90	237,0
	15 ⁰⁵	211,5	227,8	16,05	12,0	23,5	11,5	18,7	0,388	69,20	15440	79,05	205,4
	15 ⁴⁵	214,0	230,0	15,80	11,9	23,0	11,1	18,7	0,375	72,80	15260	77,10	207,9
600er Pumpe													
31.3.43	11 ⁰⁰	204,2	219,0	15,2	15,6	25,9	10,3	113,0	0,408	70,70	33500	75,4	244,0
	11 ¹⁰	205,0	220,0	15,4	15,7	26,0	10,3	115,5	0,412	70,70	34000	76,1	247,2
	11 ²⁰	206,2	223,7	17,55	15,5	26,9	11,4	90,0	0,419	71,20	30520	78,1	291,0
	11 ⁴⁰	208,0	225,5	17,65	15,6	27,0	11,4	89,8	0,419	71,20	32300	78,2	232,5
5.4.43	14 ⁰⁵	212,0	233,0	20,55	22,1	35,2	13,1	58,0	0,420	68,65	24600	78,9	211,4
	14 ¹⁵	211,0	231,0	20,3	22,0	35,2	13,2	57,0	0,417	69,70	24300	77,6	213,0
	14 ⁴⁰	209,0	226,0	18,2	21,6	33,6	12,0	76,0	0,4115	69,70	27400	75,9	261,0
	15 ⁰⁵	209,5	227,0	18,0	21,7	33,5	11,8	75,0	0,407	68,65	27300	75,4	262,0
	15 ²⁵	210,5	233,0	22,3	22,3	38,0	15,7	29,0	0,412	70,70	17150	76,80	223,0
	15 ⁴⁵	212,0	234,0	22,5	22,2	38,4	16,2	29,0	0,412	70,20	17180	77,04	222,0
	16 ⁰⁵	213,5	237,0	23,7	22,3	41,0	18,7	19,5	0,4215	70,70	14270	79,30	230,0
	16 ²⁵	212,2	236,5	23,9	22,4	41,1	18,8	19,5	0,427	71,50	14340	80,10	219,0
	16 ⁵⁵	213,0	237,5	24,2	22,6	44,3	21,7	10,0	0,4315	73,30	10330	81,40	200,0
	17 ⁴⁰	214,0	238,3	24,5	22,3	45,2	22,9	10,0	0,4360	73,10	10450	81,70	206,0

11 Messungen an Maulwurfumpen

300er Pumpe

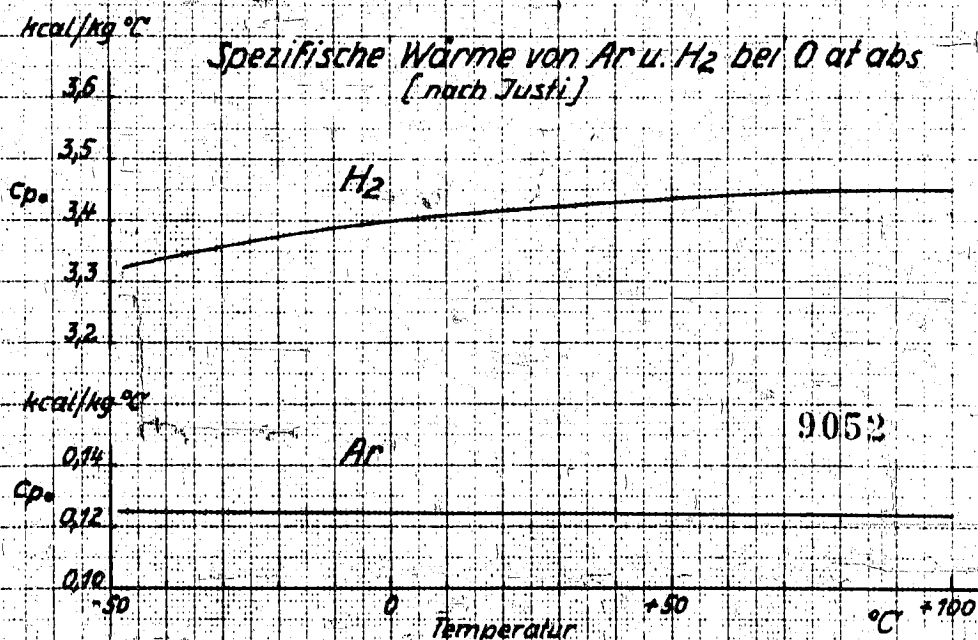
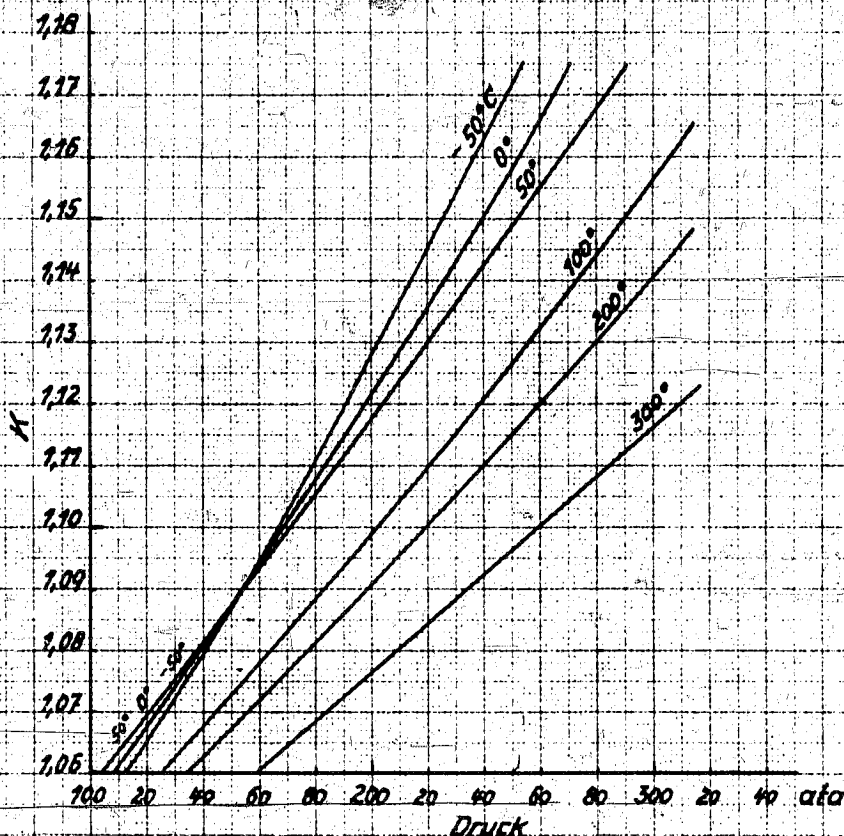
2	G	ρ_m	V_m	$\frac{\rho}{Z \cdot \rho_m}$	c_{pm}	N_i	N_K	N_{isoth}	η_{ges}	η_{mech}	η_{ind}
1-%	kg/h	kg/m ³	m ³ /h	m	$\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$	KW	KW	KW	%	%	%
80	28900	71,30	405,5	0,01432	0,885	235,0	248,0	126,8	51,15	94,8	54,0
70	29800	73,75	404,0	0,01479	0,835	243,0	258,5	139,0	53,80	94,0	57,2
20	25120	73,73	340,8	0,01674	0,845	224,6	230,0	133,0	57,85	97,6	59,2
20	24950	73,75	339,0	0,01672	0,846	225,8	230,0	132,0	57,40	98,15	58,5
20	24920	72,90	342,0	0,01653	0,844	244,5	228,0	129,75	56,90	107,20	58,5
53	25000	73,20	342,0	0,01662	0,852	247,7	230,0	130,80	56,90	107,70	52,8
70	21740	74,50	291,5	0,01794	0,834	206,8	212,0	122,75	57,90	97,50	59,35
20	22100	75,15	34,5	0,01790	0,823	209,5	215,0	123,70	57,50	97,40	59,10
70	22740	78,25	291,0	0,01737	0,759	209,0	222,0	124,25	55,95	94,10	59,45
30	18500	78,90	334,6	0,01817	0,733	184,5	199,5	105,40	52,9	92,50	57,15
20	17800	77,15	230,7	0,01834	0,795	192,6	193,0	102,40	53,1	99,70	53,20
9	29600	74,50	322,0	0,01521	0,860	265,7	254,4	142,9	56,15	104,4	53,7
7	28400	72,80	300,0	0,01512	0,832	241,7	247,5	135,65	54,85	97,7	56,1
2	27200	73,30	311,0	0,01547	0,842	239,6	241,0	132,75	55,10	99,4	55,4
25	28050	76,00	300,0	0,01542	0,865	259,6	250,5	141,30	56,45	103,7	54,5
25	23850	77,10	309,0	0,01604	0,867	240,5	230,0	125,10	54,40	104,6	52,0
70	23700	76,80	300,0	0,01618	0,856	235,0	230,0	120,75	52,50	102,5	51,2
70	20400	81,75	247,5	0,01652	0,857	219,5	208,5	105,75	50,75	105,2	42,2
25	19880	79,95	243,7	0,01688	0,867	210,5	203,5	105,65	51,90	103,4	50,2
20	15440	79,05	195,4	0,01655	0,800	160,5	173,0	82,30	46,25	93,5	49,15
80	15260	77,10	177,9	0,01707	0,880	174,5	175,0	81,90	46,70	99,6	47,5

600er Pumpe

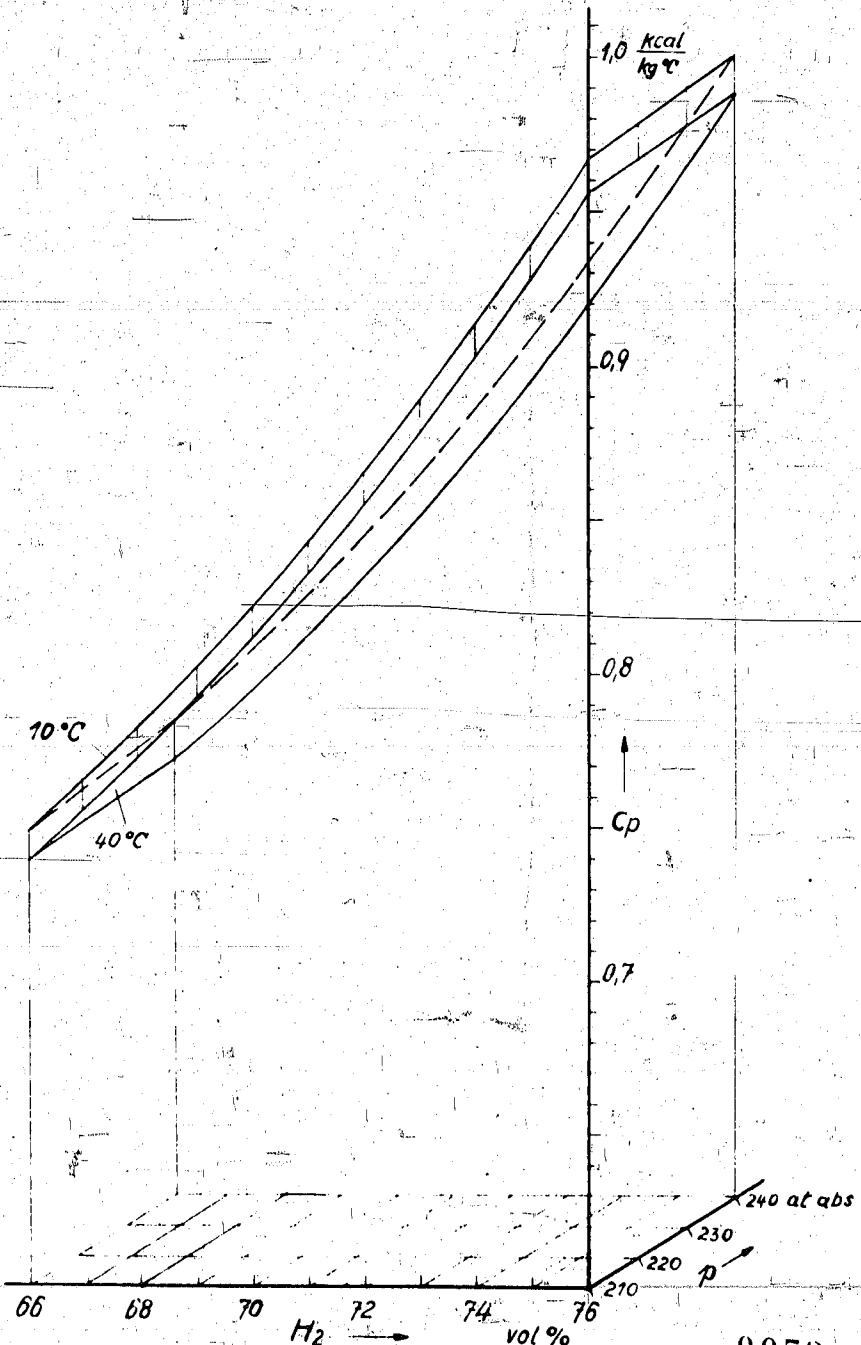
70	33500	75,4	44,0	0,01440	0,832	333,7	318,7	180,20	56,5	104,7	54,0
70	34000	76,1	47,2	0,01447	0,830	338,5	321,5	182,60	56,8	105,3	53,9
20	30520	78,1	391,0	0,01505	0,842	340,5	311,0	181,85	58,5	109,6	53,4
20	32300	78,2	412,5	0,01612	0,844	361,5	313,0	192,10	58,0	115,2	53,1
65	24600	78,9	311,4	0,01860	0,791	296,5	283,5	169,70	59,85	104,5	57,2
70	24300	77,6	313,0	0,01869	0,810	302,5	281,0	167,60	59,64	107,6	55,4
70	27400	75,9	361,0	0,01712	0,810	309,5	292,5	173,4	59,30	106,0	56,0
65	27300	75,41	362,0	0,01704	0,792	296,5	290,0	172,9	59,95	102,3	58,3
70	17150	76,80	223,0	0,02075	0,829	259,5	240,7	131,1	51,80	107,7	50,5
20	17180	77,04	222,0	0,02085	0,819	265,2	242,6	131,7	54,30	109,2	49,65
70	14270	79,30	130,0	0,02154	0,829	257,3	229,7	111,8	48,67	111,8	43,50
65	14340	80,10	129,0	0,02152	0,830	256,5	229,7	112,2	48,80	115,9	42,10
30	10330	81,40	125,0	0,02125	0,830	229,5	206,2	88,84	49,20	111,3	35,20
10	10450	81,40	126,0	0,02145	0,837	240,5	208,0	87,55	42,10	118,6	35,50

Kompressibilität von Kreislaufgas

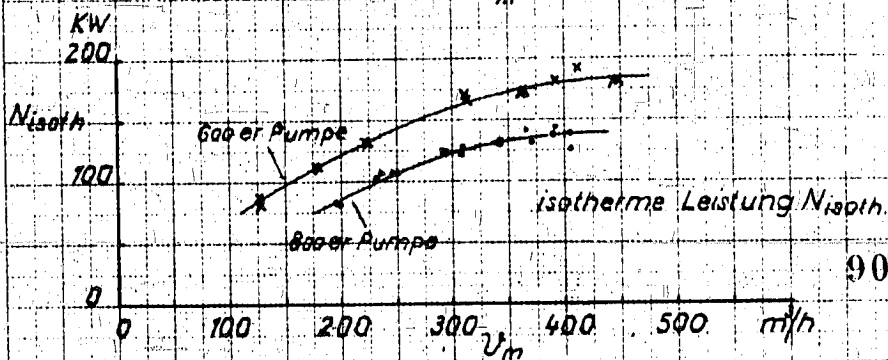
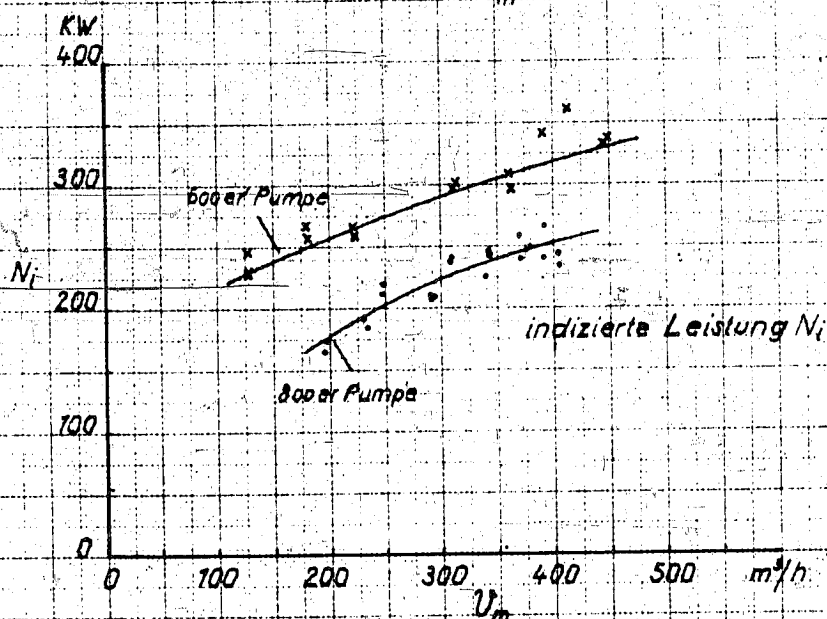
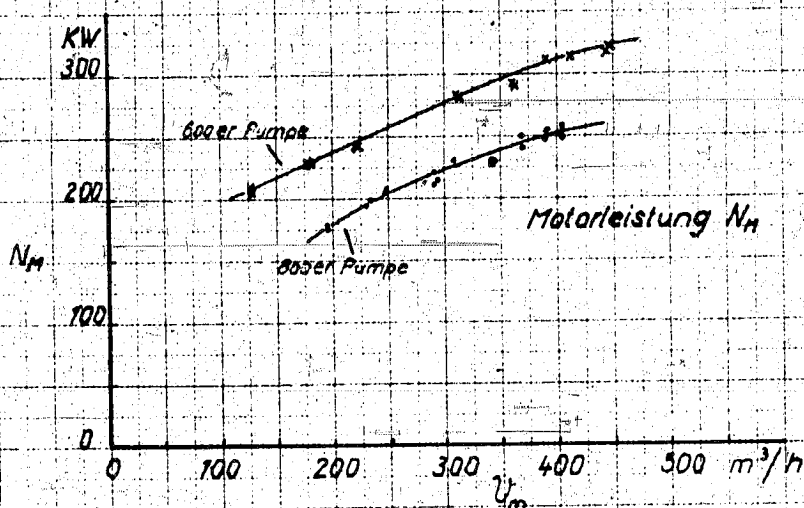
[nach Messungen von Bartlett, Cupples u. Tremearne sowie Verschoyle]
(75% H₂, 25% N₂)



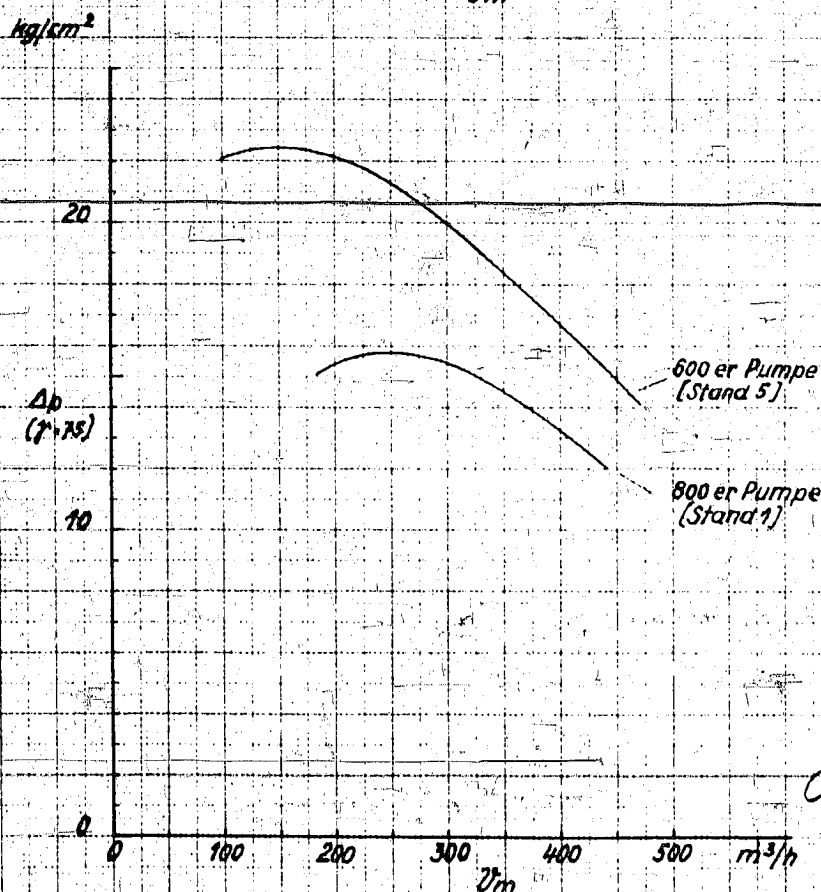
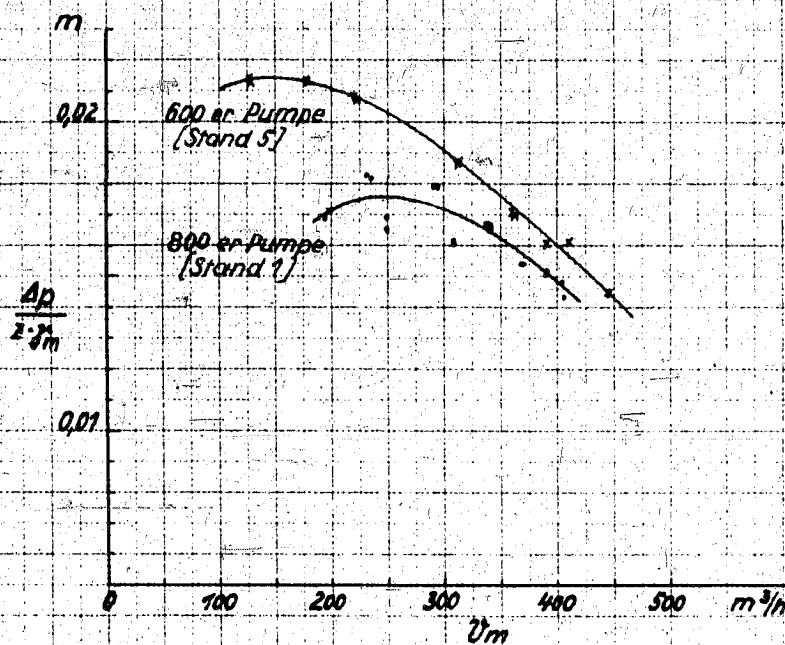
Spezifische Wärme von Kreislaufgas



Leistungsdiagramme der Maulwurfaggregate [nach Messungen an Stand 10.5]

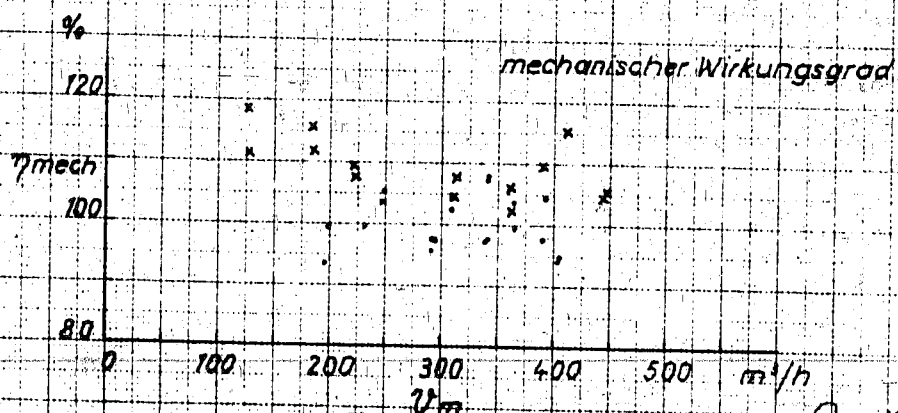
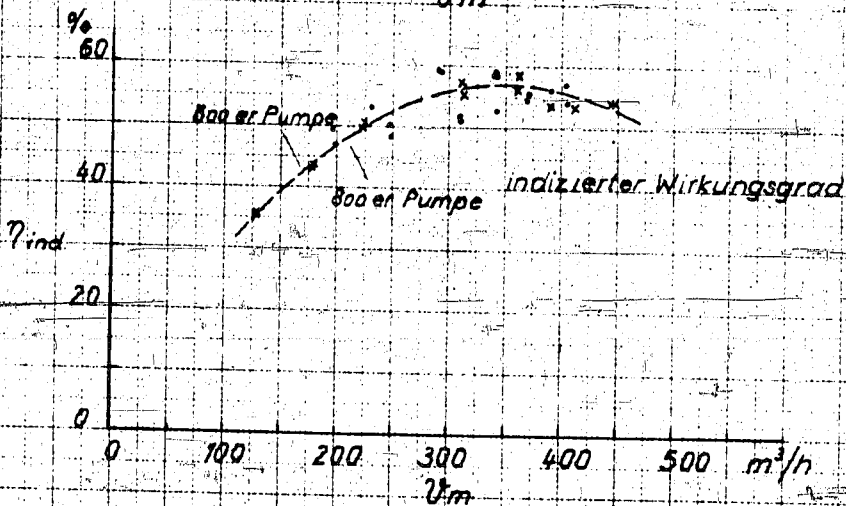
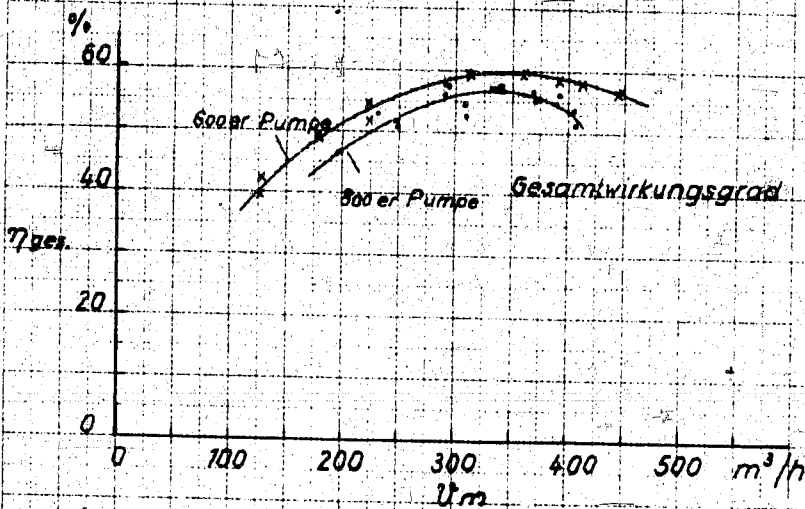


Drasselkurven der Maulwurfaggregate [nach Messungen an Stand 1 u. 5]



9054/1

Wirkungsgradkurven der Maulwurfaggregate (nach Messungen an Stand 1 u. 5)



9054/2