



B e r i c h t

Über

"Die Beeinflussung des Strömungswiderstandes von Flüssigkeiten hoher Zähigkeit"

Zur Veränderung des Druckabfalls und damit Erhöhung der Fördermenge bei der Strömung sehr zäher Öle durch Rohrleitungen wurde von Herrn Dipl.-Ing. Pensig das im folgenden beschriebene Verfahren vorgeschlagen. Durch einen porösen Stein wird, gleichmäßig über den Rohrwand verteilt, ein dünnflüssiges Öl in die Rohrleitung eingepresst. Es bildet sich ein ganz dünner Film, der die Reibung des zähen Öles an der Rohrwand herabsetzt und damit eine höhere Strömungsgeschwindigkeit bzw. einen kleineren Druckabfall bewirkt. Eine praktische Anwendung dieses Verfahrens war nicht bekannt, auch findet sich in der Literatur nirgends eine theoretische oder experimentelle Bearbeitung dieses Problems. Es erschien daher zweckmäßig, Versuche anzustellen, um die Brauchbarkeit der Methode zu erforschen.

Der Aufbau der Versuchsanlage ist in der Abb. schematisch dargestellt. In dem Gefäß 1 befindet sich Satteldampföl, das mittels Druckluft in die Versuchaleitung 4 von 10 mm Innendurchmesser gepresst wird. Die durchfließende Ölmenge V kann in dem Meßzylinder 3 bestimmt werden. An den Manometern II bis VIII ist der Druck längs des Versuchsrohres abzulesen. Die Temperatur des Öles betrug bei allen Versuchen 18°C. Um auch längs der Rohrstrecke konstante Temperatur zu haben, war ein Mantelrohr herangelegt, das von Wasser durchflossen wurde. (Diese Maßnahme erwies sich später aber als überflüssig, da die Raumtemperatur nur wenig schwankte). Das dünne Zusatzöl war Eismaschinenöl, das aus dem Gefäß 2, ebenfalls mittels Druckluft, in den Ringraum um den porösen Stein (3) gepresst wurde.

Das Öl trat dann durch die Kapillaren des Steines hindurch und bildete an der Innenoberfläche der Versuchableitung einen zusammenhängenden Film. Die Abmessungen des Steines sind in Abb.2 angegeben.

Vor den Versuchen wurde der Stein (3) gewicht, d.h. es wurde die in einer bestimmten Zeit bei einem bestimmten Überdruck  $p_g$  hindurchgepresste Ölmenge  $q$  bestimmt. Die Eichkurven sind in der Abb.3 dargestellt. Eine zweite Eichung nach den Versuchen ergab keine Abweichungen. Bei den eigentlichen Versuchen bekam man dann die als Ölfilm eingepresste Ölmenge aus der Druckdifferenz  $p_g - p_1$ . Dabei ist wegen der großen Rohrquerschnitte von Gefäß (1) bis zur Kammer (3) in dieser Strecke ein vernachlässigbar kleiner Druckverlust angenommen.

Bei der Versuchsdurchführung wurden verschiedene Drücke  $p_1$  von 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 atü eingestellt und jeweils die Zeiten gemessen, während denen 100 ccm in das Meßgefäß 5 einliefen; gleichzeitig wurden auch die Drücke  $p_{II}$  bis  $p_{VIII}$  abgelesen. Der Überdruck  $p_g - p_1$  (1 bis 10 at) bestimmte die Menge des Zusatzöles. Die Öltemperatur konnte am Rohrausfluß mit einem Quecksilber-Thermometer gemessen werden; sie betrug meist  $18^\circ\text{C}$ , vereinzelt bis zu  $17,4^\circ$  her ab, blieb also praktisch konstant.

Eine Zusammenstellung der Stoffeigenschaften der beiden Ölarten ist in folgenden gegeben:

	Temperatur $^\circ\text{C}$	kinemat. Zähigkeit $\text{m}^2/\text{sec}$	spez.Gewicht $\text{kg/ltr}$
Sattdampföl	18	$2603,0 \cdot 10^{-6}$	0,87
Eismaschinenöl	18	$39,8 \cdot 10^{-6}$	0,89

Die Versuchsergebnisse sind in der Tabelle 1 im Anhang wiedergegeben. Die Abb.4 zeigt sie in graphischer Darstellung. Auf der Ordinatenachse ist die geförderte Ölmenge  $V$  in ltr/h, auf der Abszissenachse der procentuale Zusatz  $\frac{q}{V}$  des Eismaschinenöls aufgetragen. Aus dieser Darstellung ist abzulesen, daß eine Zusatzmenge von 2-3 % erforderlich ist, um eine wirksame Erhöhung der Ölförde-

nung im Rohr zu erzielen. Über 3-4 % Zusatz steigen die Kurven nur noch wenig an.

Vergleichsweise wurde noch ein anderes Verfahren untersucht. In den Heizmantel um das Rohr wurde Sattdampf von 1 at abs geleitet. Dabei wird das Öl erwärmt, die Zähigkeit nimmt ab, womit gemäß dem Poiseuille'schen Gesetz eine größere Menge Öl hindurchfließen kann. In welchem starken Maße die Zähigkeit von der Temperatur abhängt, zeigt die Abb. 5. Danach würde schon bei einer geringen Erwärmung eine außerordentliche Abnahme der Zähigkeit zu erreichen sein.

Die Versuchswerte sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Ein Vergleich stätlicher Durchflußmessungen ist in der Abb. 6 wiedergegeben. Darin sind die Druckverluste  $\frac{\Delta}{l}$  abhängig von der geförderten Ölmenge  $V$  aufgetragen

- 1.) für reines Sattdampföl bei 18°C,
- 2.) " Sattdampföl mit 3 % Zusatz von Mischa Maschinenöl, und
- 3.) " Sattdampföl bei Heizung der Rohrwand auf 100°C.

Danach ergibt die Schmiermethode schon eine recht gute Verbesserung der Förderleistung, sie steht jedoch in ihrer Wirkung immer noch weit hinter der bisher üblichen Erwärmungs-Methode zurück. Die kann man durch die folgende kurze Überlegung erklären:

Die Idee einer Rohrwandschmierung ging aus von der Vorstellung einer Grenzschicht nächst der festen Rohrwand, innerhalb deren die Reibung der Flüssigkeit mit der Wand stattfindet. Man ist aber diese Vorstellung einer Grenzschicht nur bei turbulenter Flüssigkeitsströmung üblich. Dabei denkt man sich im Flüssigkeitskern überall die gleiche Geschwindigkeit, während in der dünnen Grenzschicht die Geschwindigkeit linear bis zum Wert 0 an der Wand abnimmt (Abb. 7).

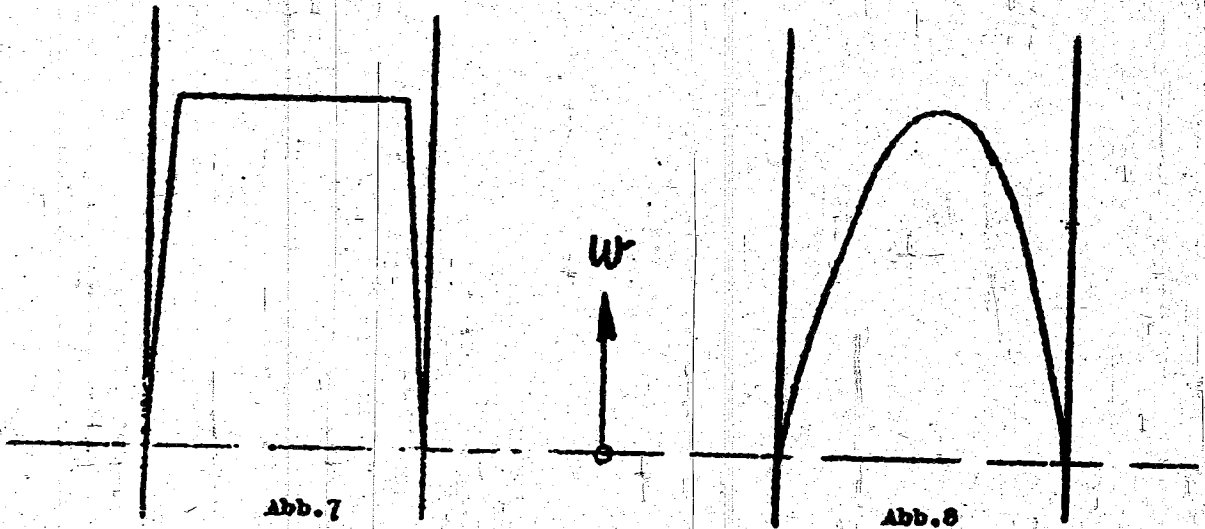


Abb. 7

Abb. 8

Bei laminarer Strömung dagegen (Abb. 8) steigt die Geschwindigkeit infolge der inneren Reibung der Flüssigkeitsteilchen parabolisch an. Wenn man also bei laminarer Strömung, wie sie bei Ölen auftritt, künstlich eine Schmierachicht geringer Zähigkeit bildet, so kann man damit nur einen ganz geringen Bereich der Geschwindigkeitskurve beeinflussen.

Bei der Erwärmungs-Methode dagegen wird Wärme infolge seiner Leitung bis in die Rohrachse hineingeführt. Damit steigt die Temperatur des Öles und es wird die Zähigkeit verringert. Dieser Einfluß erstreckt sich auf das ganze Strömungsprofil, nicht nur auf eine dünne Randschicht, worin die große Wirksamkeit dieses Verfahrens begründet ist.

In einer praktischen Ausföhrung würde bei der Schmier-Methode hinter jedem Rohrkrümmner, hinter jedem Ventil und auch in kürzeren Abständen längs gerader Rohrstücke jeweils eine neue Speisestelle anzubringen sein. Mit 3% Zusatzöl je Schmierstelle würde das geförderte Öl schon nach wenigen Speisungen stark verunreinigt sein. Überdies ist der Widerstand von Leitungen vor allem durch Krümmner und Ventile bedingt, und in diesen ist eine Wandschmierung wirkungslos. Demgegenüber würde bei der Erwärmung des Sattdampföles um nur 20-30°, eine derartige Zähigkeitserniedrigung erfolgen, daß die Fördermenge hierdurch schon um ein Vielfaches vergrößert würde.

Nur bei den geringen Geschwindigkeiten unter etwa 5 cm/sec gibt das Schmier-  
Verfahren gegenüber dem reinen Stoff einen beträchtlichen Abfall des Druckabfal-  
les, so daß diese Methode doch in Sonderfällen in Anwendung gelangen könnte.

Anlagen: 1 Blatt Schaubilder  
4 " Diagramme  
2 Tabellen.

*Ch. Kling*  
~~///~~

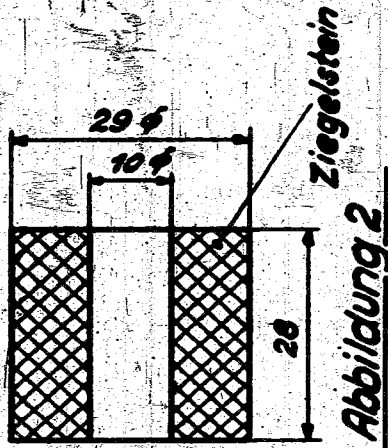


Abbildung 2

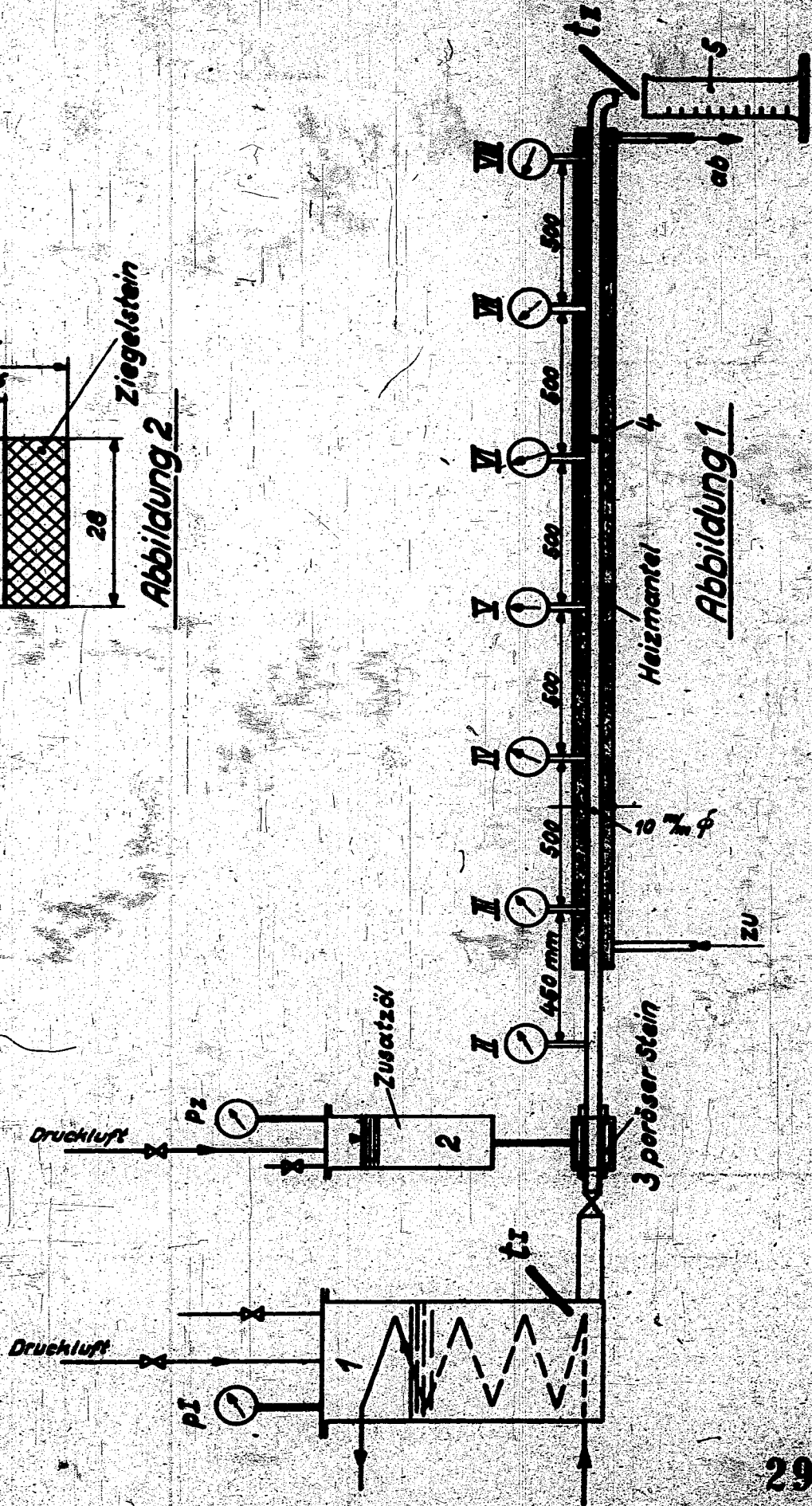


Abbildung 1

29128



# Eichkurve der Mischkammer aus Ziegelstein 10/29φ x 28mm lg.

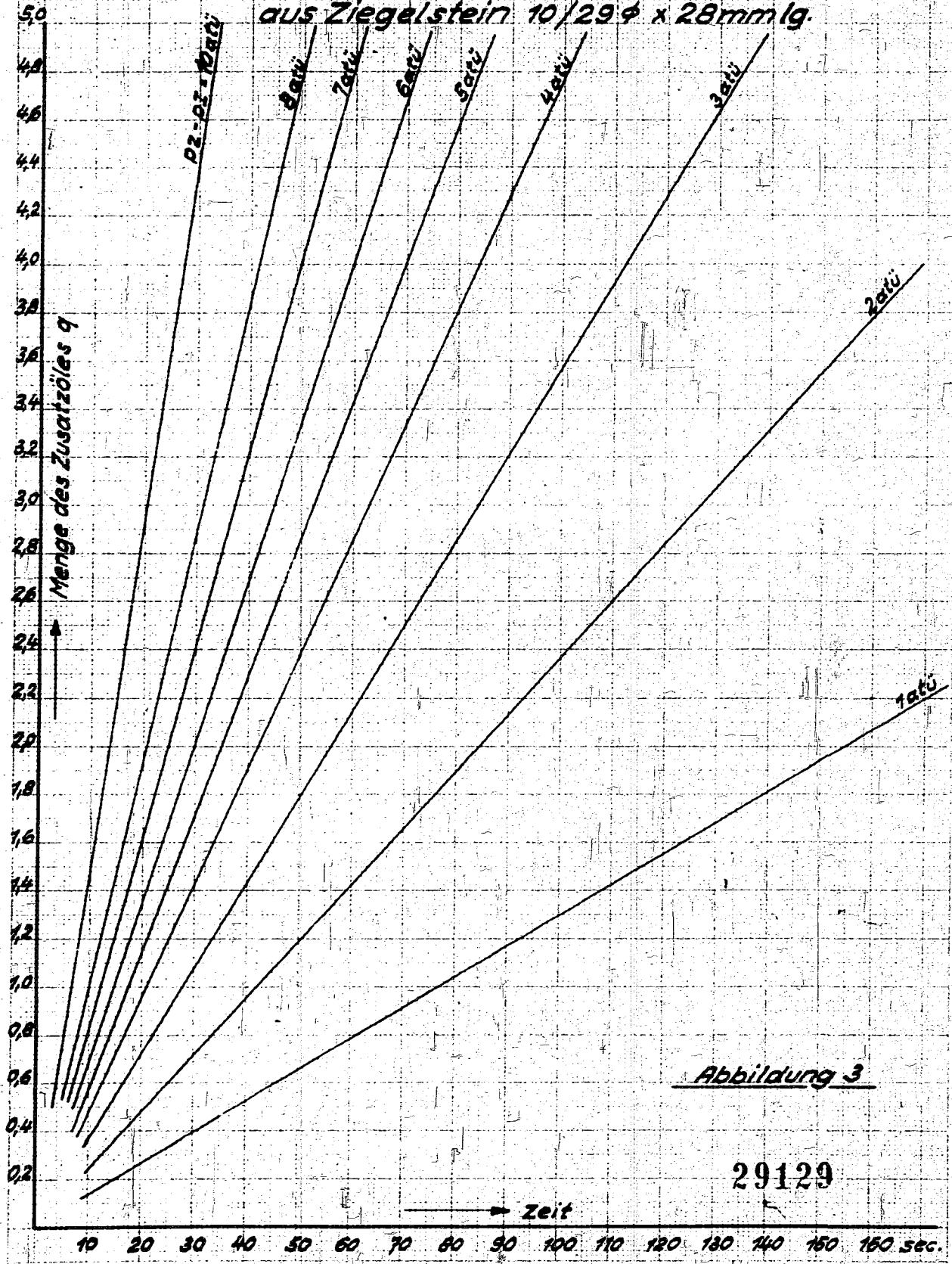
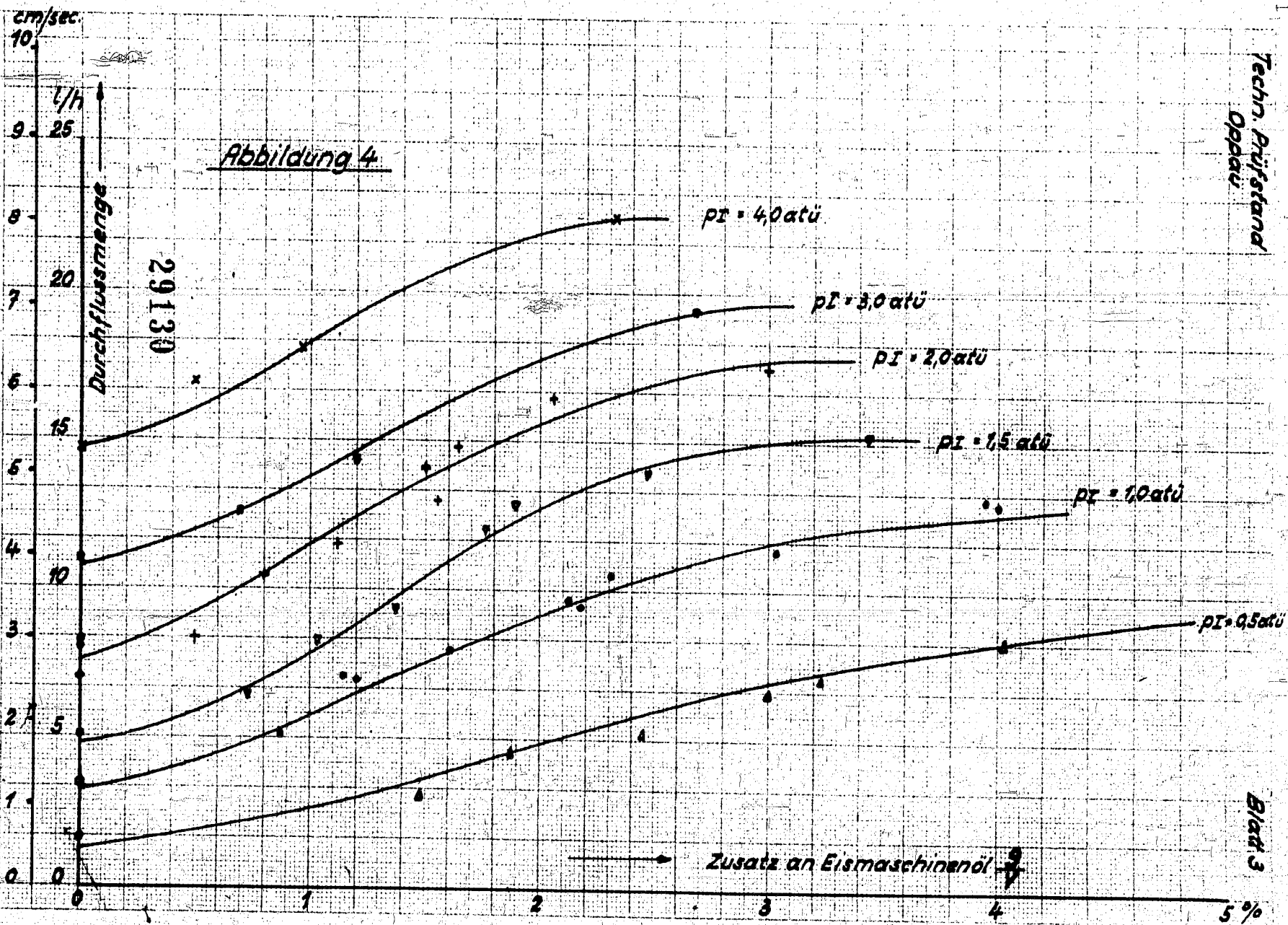


Abbildung 3

29129



Abbildung 4



Fachbereich Maschinenbau, Versuchsbereich 6, 41094 Krefeld  
Zum Bericht Nr. 377 vom 17. II. 39, T.P. S. 379

29130

Durchschnittsgang

Zusatz an Eismaschinenöl

cm/sec

l/h

25

20

15

10

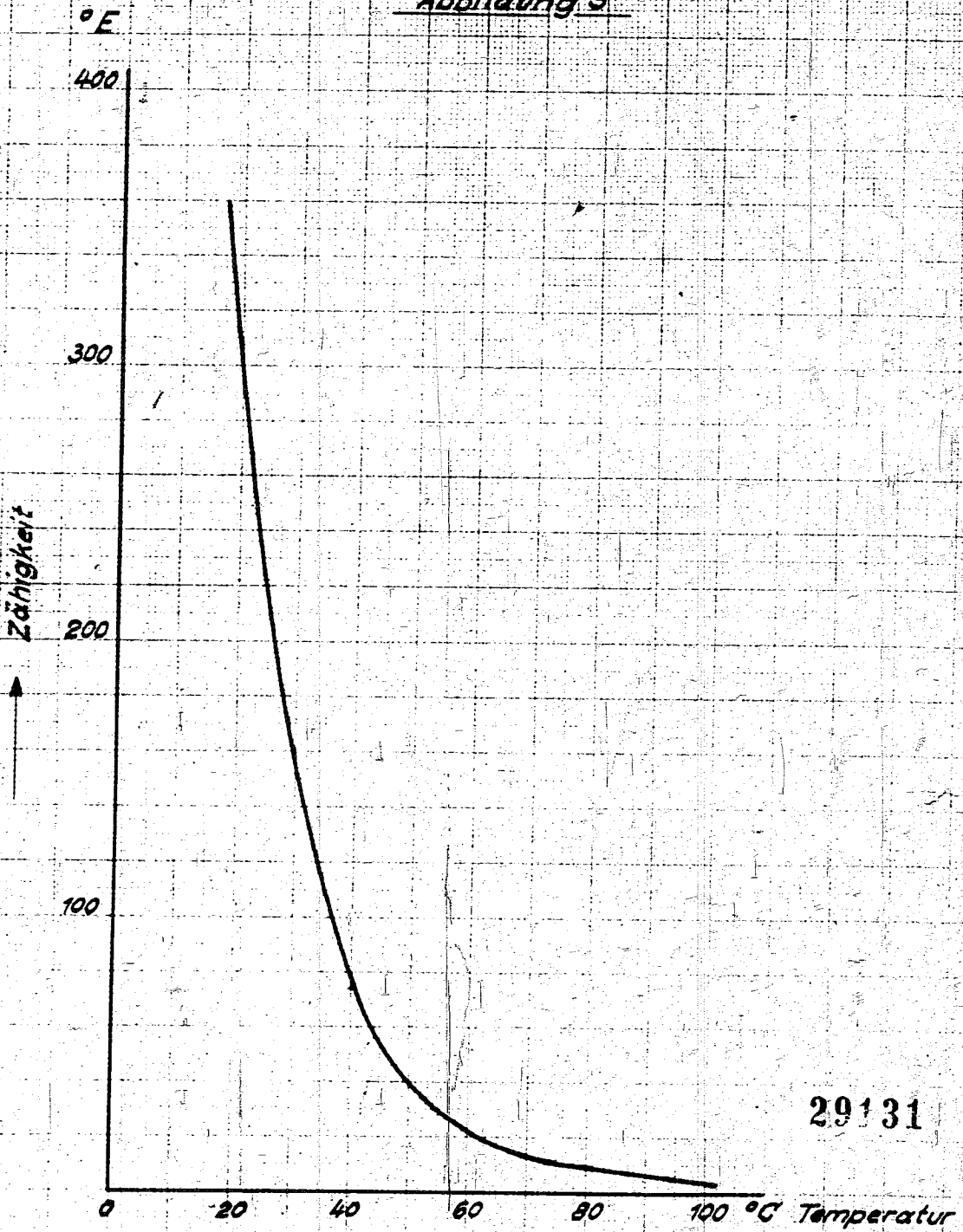
5

0

5%

# Viskositätskurve von Sattdampföl

Abbildung 5



29131

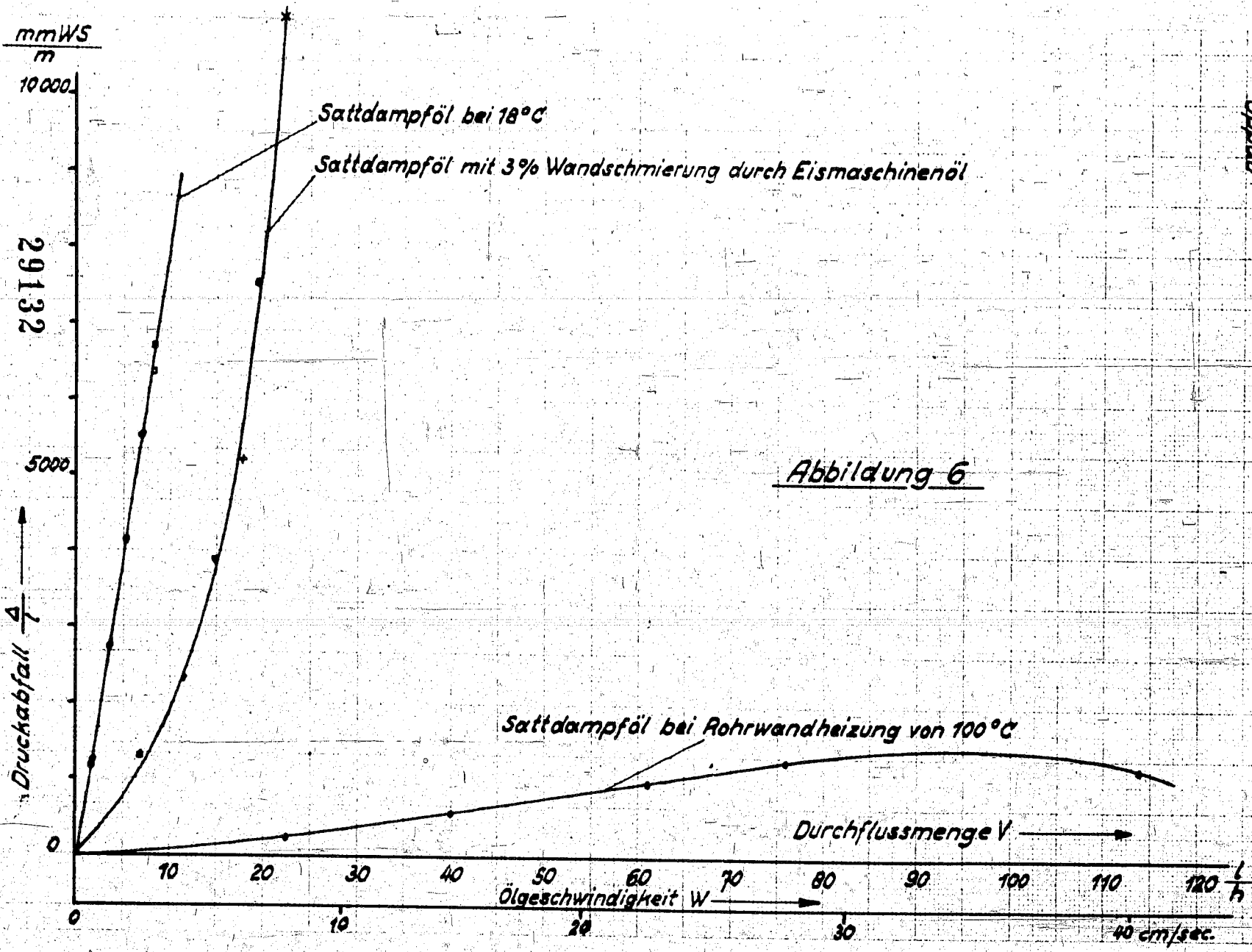


Abbildung 6

Zum Bericht Nr. 37 vom 17. II. 39. TP. S. 381

Versuche mit Wandschmierung.

Nr.	$P_1$ atü	$\frac{A}{L}$ $\frac{m^2}{m}$ L/B	$\gamma$ ltryh	$q$ ccm/sec	$q/\gamma$ %	$v$ mm/sec	Zeichen:
1	0,5	1290	1,733	-	-	0,615	
2	1,0	2740	3,403	-	-	1,20	
3	1,5	4100	5,25	-	-	1,82	o
4	2,0	5490	6,90	-	-	2,44	
5	2,5	6340	8,425	-	-	2,97	
6	1,0	2880	5,40	0,01295	0,865	1,90	
7	1,0	2580	7,22	0,02362	1,178	2,54	
8	1,0	2640	8,03	0,0354	1,595	2,84	
9	1,0	2610	9,65	0,0571	2,129	3,40	.
10	1,0	2440	10,39	0,0666	2,309	3,675	
11	1,0	2340	11,31	0,0952	3,026	4,00	
12	1,0	2380	13,00	0,1434	3,975	4,60	
13	2,0	5380	8,91	0,0129	0,924	3,14	
14	2,0	5120	10,53	0,0237	0,810	3,72	
15	2,0	5320	11,54	0,0359	1,119	4,08	
16	2,0	5080	13,77	0,0575	1,300	4,86	+
17	2,0	5180	14,76	0,0669	1,630	5,22	
18	2,0	5220	16,50	0,0949	2,067	5,83	
19	2,0	5190	17,56	0,1442	2,960	6,21	
20	1,0	3100	7,055	0,0235	1,200	2,49	
21	1,0	3120	9,405	0,0570	2,179	3,32	.
22	1,0	3280	12,98	0,1441	4,003	4,59	
23	2,0	5000	10,50	0,0235	0,806	3,72	
24	2,0	4950	12,99	0,0564	1,561	4,59	+
25	2,0	5050	25,23	0,1430	2,040	8,95	
26	4,0	11500	16,82	0,0232	0,498	5,95	
27	4,0	11800	17,89	0,0472	0,950	2,78	x
28	4,0	11100	22,38	0,1446	2,329	7,91	
29	4,0	10400	14,36	-	-	5,07	o
30	3,0	7720	11,09	-	-	3,82	
31	3,0	7800	12,44	0,0235	0,680	4,41	
32	3,0	7750	14,40	0,0477	1,190	5,09	□
33	3,0	7550	19,30	0,1430	2,670	6,88	
34	0,5	1320	6,86	0,0573	3,002	2,42	
35	0,5	1320	7,45	0,0667	3,220	2,63	Δ
36	0,5	1180	8,54	0,0954	4,022	3,01	
37	0,5	1250	9,02	0,1423	5,650	3,18	
38	0,5	1186	1,71	-	-	0,60	o
39	0,5	6670	0,34	-	-	2,94	
40	0,5	1390	3,14	0,0130	1,484	1,11	
41	0,5	1420	4,55	0,0238	1,879	1,61	Δ
42	0,5	1460	5,24	0,0357	2,454	1,86	
43	1,5	4000	15,06	0,1441	3,450	5,32	
44	1,5	3720	13,99	0,0956	2,460	4,94	
45	1,5	3830	12,71	0,0668	1,889	4,50	
46	1,5	4120	11,73	0,0571	1,750	4,15	
47	1,5	3420	9,30	0,0854	1,371	3,30	▽
48	1,5	3730	8,24	0,0236	1,030	2,92	
49	1,5	3800	6,52	0,0130	0,720	2,31	

Versuche mit Rohrheizung.

Nr. Diam.	$P_r$ atü	$\Delta$ $\frac{m}{s}$ J s	$V$ ltr/h	$\delta_{II}$ °C	$\eta$ cm/sec
1	0,5	225	22,4	84,5	7,91
2	1,0	575	40,0	62,5	14,25
3	1,5	982	61,0	45,8	21,6
4	2,0	1269	75,8	38,3	26,8
5	2,5	1170	114,0	31,8	40,3

$t_I = 18^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{Wand}} \approx t_{\text{Dampf}} = 100^\circ\text{C}$ .