

spezifischem Gewicht, Grenzflächenspannung, Alterungsverhalten, sowie Schwefelgehalt merkliche Unterschiede, sodaß man einen Unterschied im Schmierverhalten verstehen kann. Die Öle 185/43 und 245/43 zeigen dagegen in den untersuchten Eigenschaften nur in der Grenzflächenspannung einen gewissen Unterschied, der aber allein kaum zur Erklärung der praktisch festgestellten Unterschiede genügen kann. Die beiden Öle 132/43 und 133/43 sind die Nachlieferung von 67/43 u. 83/43; sie besitzen zwar etwas andere Eigenschaften als die erste Lieferung, weisen aber untereinander fast die gleichen Unterschiede auf, wie bei dieser. Die zwei ASM-Öle 112/43 u. 213/43 sind deshalb interessant, weil sie sich in an- und für sich hohen Schwefelgehalt stark unterscheiden (0,82 und 1,32%).

3) Schmierverhalten der untersuchten Öle.

Die Schwierigkeit, einwandfreie zahlenmäßige Angaben über die praktische Bewährung von Schmierölen zu erhalten, ist an und für sich groß. Noch größer ist sie aber bei Flugmotorenölen und dabei ganz besonders bei der Schmiereignung. Dies liegt daran, daß es kein rechtes Maß für diese Eigenschaft gibt; ein gewisser Behelf ist die Angabe des Verschleißes z.B.

von Kolbenringen. Bei Flugmotoren kann man aber in der Praxis eine Auswägung von Kolbenringen nicht verlangen, sodaß man in diesem Falle auf die grob zahlenmäßige Auswertung angewiesen ist. Die in Motoren verwendeten Versuchsöle sind nun teils solche, die bei der DVL im Einzylinderprüfstand auf ihr Verschleißverhalten untersucht wurden (vgl. DVL-Bericht über Schmierstofftagung 1941, I. Teil, S. 203) teils Öle, die erfahrungsmäßig beurteilt werden können. Davon sind 83/43 und 67/43 wohl die wichtigsten: Bei dem ersten kamen nämlich eine Reihe von Ausfällen vor, die nach dem Übergang auf das andere Öl verschwanden. Die Öle 185/43 und 245/43 sollen ebenfalls eine schlechte und gute Qualität vorstellen, ohne daß genauere Angaben möglich sind; dieser Fall ist wohl weniger ernst zu nehmen als der erste. Angaben über die Prüfverfahren werden hier nicht gemacht; sie sind erst für einen ausführlichen Bericht in Aussicht genommen.

Zahlenmäßige Angaben über den Kolbenringverschleiß motorisch verwendeter Öle sind nach DVL-Versuchen in Zahlent. 4

gemacht worden. In Laboratoriumsmaschinen wurden vor allem die beiden praktisch interessierenden Öle 67/43 (133/43) und 83/43 (132/43) untersucht. Es ergab sich das Folgende:

a) Maschine von Bartel (KWI f. physik. Chemie, Berlin-Dahlem):

Öl 67/43 ist dem Öl 83/43 eindeutig überlegen, wie die etwa 25% geringere Haft- oder Ruhreibung beweist (vgl. Abb. 1). Dagegen zeigen die Öle 185/43 und 245/43 keinen deutlichen Unterschied, außerdem ist die Richtung der zu erwartenden entgegengesetzt.

b) Vierkugelmachine, Freilast bei 2,5 sec. Betrieb (DVL, BS):

Die Öle 67/43 und 83/43 zeigen weder frisch, noch nach 10 h Alterung im Air Ministry-Apparat einen Unterschied.

c) PTR-Maschine (Reg.-Rat Kluge):

	Verschleiß		willkürliche Einheiten
	20°C	100°C	
Öl 132/43 (83/43)	140	137	
" 133/43 (67/43)	112	118	

Entgegen den üblichen Ergebnissen zeigt das bessere Öl 133/43 geringere Abtragung als das schlechtere. Bei der Messung im Gebiet der Grenzreibung der PTR zeigte sich bisher meist höherer Metall-Verschleiß (bezw. Metall-Abtragung) bei den praktisch gut bewährten Ölen.

d) Verschleißmaschine nach Siebel-Kehl (Dr. Brockstedt, Stuttgart):

Die Versuche wurden von Dr. Brockstedt durchgeführt; das Ergebnis war bei noch genauer anzugebenden Bedingungen: mit Gußeisen-Stahl:

	Verschleiß in mm/km Laufweg	Einzelwerte
Öl 67/43	0,034	0,034; 0,336; 0,035
Öl 83/43	0,053	0,051; 0,516; 0,056

Das bessere Öl 67/43 gibt also einen deutlich geringeren Verschleiß als das schlechtere Öl 83/43. Diese Versuche sind aber nur als vorläufige Ergebnisse zu werten. Denn einerseits waren vorhergehende - wohl infolge einer Maschinenstörung - widersprechend, andererseits müssen die jetzigen Messungen noch erhärtet werden.

04658

e) Maschine von Heitmann (Rhenania-Ossag)

132/43 (83/43)

133/43 (67/43)

Filmbildung

Beginn

394 °C

398 "

Voll

285 °C

289 "

Das bessere Öl ergibt also tatsächlich eine höhere Temperatur für die Filmbildung, der Unterschied ist aber sehr klein u. dürfte innerhalb der Fehlergrenzen liegen.

4) Schmierverhalten, Schwefelgehalt u. andere Eigenschaften.

Wegen der mangelnden Unterlagen ist eine Beziehung zwischen Schwefelgehalt und Schmierverhalten nur in wenigen Fällen aufstellbar. In der Folge sind die besprochenen Ergebnisse, sowie einige chemisch-physikalischen Eigenschaften zum Schwefelgehalt in Beziehung gesetzt.

a) Schwefelgehalt u. Verschleißverhinderung im Motor:

Die Beziehung zwischen beiden Werten zeigt die Abb. 2. Dazu ist zu bemerken, daß das Rizinusprodukt Kompressol infolge seiner ganz anderen chemischen Zusammensetzung naturgemäß aus dem Rahmen fallen muß. Auch für das Öl V_1 rein synthetischer Herkunft, sowie das ebenfalls rein synthetische Öl P_6 spielt der grundsätzlich nicht mit natürlichen Ölen vergleichbare Aufbau wohl eine gewisse Rolle. Berücksichtigt man dies, so ergibt sich eine unverkennbare Zunahme der Schmier-eignung (des verschleißverhindernden Wertes) mit zunehmendem Schwefelgehalt. Daß noch andere Faktoren zusätzlich mitspielen, ist anzunehmen, und es wird notwendig sein, sie in Zukunft weiter zu untersuchen.

In der Abb. 3 sind außer dem Schwefelgehalt einige physikalisch-chemische Eigenschaften der Öle zu dem Kolbenringverschleiß in Beziehung gesetzt, die bei Prof. Wolf, Halle, bestimmt wurden. Leider ordnen sich die Öle so an, daß sie in zwei Gruppen zusammengedrängt sind, während eines einen extremen Verschleißwert aufweist, sodaß die durchgezogene Verbindungslinie auf längere Strecke keinen Bezugspunkt enthält. Haftarbeit und Oberflächenspannung nehmen mit steigendem Verschleiß ab, während die Grenzflächenspannung gegen Quecksilber eher zunimmt. Vergleicht man mit diesen Kurven die Be-

ziehung Schwefelgehalt: Verschleiß, und berücksichtigt man, daß Kompressol wegen seiner ganz anderen Konstitution mit den Mineralölen nicht ohne weiteres verglichen werden darf, so ist die Übereinstimmung mindestens ebenso gut. Danach kann man also die rasch durchführbare und einfache Bestimmung des Schwefelgehaltes zur Orientierung über das Schmierverhalten der Öle mit der gleichen Berechtigung anwenden, wie die exakten physikalischen Verfahren. Der Grund dafür ist wohl darin zu suchen, daß das Öl im Gebrauch stark verändert werden kann, sodaß die Frischöl-daten keinen Aufschluß über das praktische Verhalten zu geben brauchen. So können die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Öle in dem Grenzschmierfilm ganz andere sein als bei den durchgeführten Versuchen. ¹⁾

b) Ruhreibung nach Bartel:

Das Ergebnis der Ruhreibungsmessung nach Bartel zeigt, daß das Öl 67/83 mit 0,29% S eine wesentlich geringere Grenzreibung ergibt als das Öl 83/43 mit 0,09% S. Weitere Ergebnisse müssen erst abgewartet werden, die diese Übereinstimmung zwischen S-Gehalt und Ruhreibung bestätigen. Ein vorläufig dagegenstehendes Resultat zeigt die Abb. 1 in den Ölen 185/43 und 245/43, da die Kurven trotz fast gleicher Schwefelgehalte verschieden laufen. Die Untersuchung des mit Bleicherde Terrane A. Superior aus der Benzinlösung adsorbierbaren Anteils ergab, daß das erste Öl 1,80%, das zweite dagegen 2,27% harzartige Stoffe enthielt. Möglicherweise ist das verschiedene Schmierverhalten hierin begründet; ebenso, wie Schwefelverbindungen weisen ja auch Sauerstoffverbindungen und stark ungesättigte Verbindungen erhöhte Aktivität auf. Die Versuche in dieser Richtung werden fortgesetzt.

c) Verschleiß nach Siebel-Kehl:

Die zwei Öle lassen keinen bündigen Schluß zu, doch ist der Verschleiß bei höherem Schwefelgehalt geringer.

d) Freßlast in der Vierkugel-Maschine:

Wie frühere Untersuchungen erwarten ließen, ist die

1) Vgl. Vertr. Mitt. f. d. Mitglieder d. Arbeitsgruppe Schmier-technik des VDI 1943

Unterscheidungsmöglichkeit des Gerätes für Öle mit verhältnismäßig niedriger Druckfestigkeit ungenügend, weil es für die Bewertung von Hochdruckschmiermitteln gebaut ist.

e) Verschleiß nach PTR:

Die Beurteilung widerspricht der praktischen Erfahrung.

5) Anwendung von Schwefelverbindungen in Schmierölen.

Wie schon erwähnt, enthalten die Schmieröle alle mehr oder weniger Schwefel, der teils in den Naturprodukten enthalten ist, teils absichtlich zugegeben wird. Der mit der Zugabe verfolgte Zweck ist ein verschiedener: man kann sowohl die Druckfestigkeit steigern als die Oxydation, das Ringstecken oder den Korrosionsangriff auf die Motorbauteile verhindern. Eine sehr kurze Übersicht zeigt andeutungsweise, wie vielfältig die verwendeten Schwefelverbindungen sind, und daß z.T. schon sehr geringe Zusatzmengen in Frage kommen.

Schwefelverbindungen als Motorenölzusätze.

Zusatzzweck	Zusatzart	
Filmbildung	Alkylthiophosphite	0,02-1,0%
	Thiocarbonate	-
	Dialkyldiphenylsulfid	-
	heterocyklische S-Verbindungen	-
	Dithioacetone	-
	Polysulfide	8-25 %
Oxydationsschutz	geschwefelte KW u. Olefine	1-15%
	Alkylphenolsulfide	0,1-1 %
	organische Disulfide	-
Korrosionsschutz	Mercaptothiazol	0,01-0,5%
	Thiodiphenylamin	0,2-1 %
	Thioamine	-
	Alkylthiocyanate	-
Ringsteckverhinderung	Di(tetra)Alkylsulfid	0,05-0,5%
	Thioamine	-
	Methylsulfochlorid	5 %

Die Schwefelverbindungen werden zur Erhöhung der Druckfestigkeit zwar vielfach für sich verwendet, es kommt aber auch vor, daß man noch Halogen oder andere aktive Atome einbaut oder gleichzeitig Verbindungen verwendet, die solche Atome enthalten. Schwefelverbindungen haben also ganz allgemein sehr

große Bedeutung für das praktische Verhalten, besonders für die Schmiereignung der Schmieröle. Solange für die Kennzeichnung der Schmiereignung kein einwandfreies unmittelbares Maß besteht, ist es empfehlenswert, den Schwefelgehalt der Schmieröle zu überwachen und festzulegen. Natürlich werden die Schwefelverbindungen je nach der Bindungsart des Schwefels in verschiedener Weise reagieren, sodaß man auf die Frage der Reaktivität noch weiter eingehen müssen. Tatsache ist, daß man den bisher nur bei Hochdruckschmiermitteln interessierenden "filmbildenden" Verbindungen, insbesondere den Schwefelverbindungen, in Zukunft auch bei den bisher daraufhin gar nicht untersuchten Flugmotorenölen wird erhöhte Aufmerksamkeit schenken müssen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die konstruktiv und werkstoffmäßig bedingten Beanspruchungen des Öles derzeit in ein Grenzgebiet gelangt sind, in dem sich die Schmiereignung zum ersten Male in stärkerem Ausmaß bemerkbar macht.

6) Zusammenfassung und Folgerungen.

Die Beschaffungsflugmotorenöle und die sonst praktisch verwendeten Schmieröle verschiedener Art weisen in ihrem Schmierverhalten Unterschiede auf, die nur z.T. auf den chemischen Aufbau (die Konstitution) der Kohlenwasserstoffe, vielmehr jedoch auf aktive Gruppen im Öl zurückzuführen sind. Unter diesen aktiven Gruppen sind Sauerstoffverbindungen wohl nur in geringem Ausmaße vorhanden, eine wichtige Rolle dürfte aber Schwefel in verschiedener Bindungsform spielen. Solange es keine allgemein brauchbare Methode zur Messung der Schmiereignung gibt, empfiehlt sich die Verwendung des Schwefelgehaltes zur ungefähren Beurteilung der Schmiereignung; die bisherigen Versuche stützen diese Annahme.

Um weitere Unterlagen für den Zusammenhang zwischen praktischem Schmierverhalten und Schwefelgehalt im Vollmotor zu bekommen, erscheinen Versuche im Vollmotor dringend notwendig, bei denen der Lagerzustand sorgfältig überwacht und zur Bewertung der Öle als Maß verwendet wird. Versuche die-

ser Art sind zwar auf einem Prüfstandsmotor durchführbar, doch sind Flugversuche größerer Verbände mit Motoren gleicher Bauart und gleicher Beanspruchung viel beweiskräftiger.

Als Wege zur Erzielung einheitlicher Schmiereignung ergeben sich nach den angestellten Überlegungen zweierlei: Mischung von Ölen mit verschiedenem Schwefelgehalt (=Schmiereigenschaften) und Zugabe von definierten "filmbildenden" Schwefelverbindungen zu Ölen geringen Schwefelgehaltes.

Bei dem Zusatz einer "filmbildenden" Schwefelverbindung muß die Auswirkung folgender Eigenschaften berücksichtigt werden:

- a) Alterungsbeständigkeit und Rückstandsbildung
- b) Korrosion
- c) Schäumen

Zeitliche Gründe sprechen für die Anwendung des Zumischens schwefelreicher Öle zu schwefelarmen statt jener von Zusätzen reiner Schwefelverbindungen; denn bisher war ja schon verfürgungsgemäß die Verwendung der verschiedenen Qualitäten Rotring bzw. S₃ in Mischung miteinander zugelassen, sodaß die Frage der Verwendbarkeit solcher Gemische nicht erneut geprüft werden müßte. Das Verhalten von Zusätzen müßte aber erst in allen Ölen untersucht werden und wohl auch in Gemischen verschiedener Art, sodaß genügende Versuchsunterlagen erst nach sehr langer Zeit verfügbar wären.

Als Versuchsöle zur Klärung der Frage kommt in Betracht: ein Gemisch aus 607 (960, 1060, 1160) und Rotring Bremen. (Schwefelgehalte von etwa 0,08% und 1,1%) In zweiter Linie wäre eine der Mischungen aus 707 und 807 zu untersuchen. (970)

Zahlentafel 1
Öle und Fertigprodukte.

04663

Bezeichnung SS Gemisch aus SS Hersteller Eing.-Nr.	960	1060	1160	970	1070	1170	980	1080	1180	Flugmo- torenöl #inters- hall AG. 114/43	N 80-H Merag 146/43	Rotring N 45 DV A.G. Bremen 192/43	Rotring C 52 DV A.G. Köln 205/43
	906+607 IG Shell	1006+607 Shell Shell	1106+607 P&L Shell	906+707 IG-Vac.	1006+707 Shell-Vac.	1106+707 P&L-Vac.	906+807 IG Merag	1006+807 Shell Merag	1106+807 P&L Merag				
Frischöl	hellrotbr.	hellgelb	rotbraun	hellbr.	hellbraun	rotbraun	hellbr.	hellbraun	mittelbr.	hellbr.	hellbraun	dunkelgelb	hellbraun
Spez.Gew. (20°C)	0,8780	0,8870	0,8818	0,8718	0,8802	0,8760	0,8712	0,8789	0,8746	0,8920	0,8922	0,8943	0,8926
Oxydiertes Öl	0,8953	0,9060	0,8996	0,8889	0,8902	0,8892	0,8945	0,8902	0,9054	0,8973	0,9005	0,9039	0,8982
Refraktion D20	1,4859	1,4910	1,4884	1,4827	1,4880	1,4855	1,4820	1,4871	1,4848	1,4921	1,4921	1,4943	1,4922
Oxydiertes Öl	1,4910	1,4917	1,4936	1,4894	1,4923	1,4911	1,4907	1,4915	1,4963	1,4939	1,4947	1,4989	1,4941
Schwefel %	0,07	0,09	0,08	0,55	0,55	0,55	0,28	0,27	0,25	0,29	0,52	1,11	0,14
Viskosität cP													
20°C	1241	795	616	687	594	594	865	541	541			752	634
37,8°C	135	121	121	116	110	110	122	101	105			113	112
50°C	40,9	35,6	37,0	34,8	33,3	33,3	38,2	30,9	34,8			33,0	33,0
100°C	19,5	17,7	19,4	18,1	17,7	17,7	18,2	16,6	17,7			16,9	16,9
150°C	2,74	2,82	3,58	2,97	3,05	3,05	2,90	2,88	3,11			2,71	2,82
200°C	1,47	1,50	1,60	1,55	1,57	1,57	1,52	1,55	1,60			1,49	1,51
Viskosität cSt													
20°C	9400	6020	5050	5200	4500	4500	6550	4100	4100			5700	4800
37,8°C	1021	9201	916	880	830	830	9232	768	799			855	847
50°C	310	270	280	265	252	252	289	234	265			250	250
100°C	148	134	147	137	134	134	149	126	134			128	128
150°C	18,8	19,5	26,0	20,8	21,5	21,5	20,2	20,0	22,1			18,5	19,5
Polhöhe	5,86	6,30	7,48	6,80	7,13	7,13	6,52	6,80	7,43			6,06	6,43
Richtunefaktor	2,3	1,95	1,7	1,8	1,7	1,7	1,98	1,71	1,63			1,98	1,85
Index	3,6	3,40	3,18	3,28	3,2	3,2	3,40	3,22	3,13			3,42	3,33
Neutr.-Zahl	75	96	über 120	103	108	108	97	106	113			93	102
Neutr.-Zahl													
Frischöl	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,08	0,03	0,03	0,02	0,01
Oxydiertes Öl	3,0	3,2	3,4	2,5	1,5	2,1	3,2	1,4	3,8	0,82	1,40	1,40	1,10
Verseif.-Zahl													
Frischöl	0,12	0,37	0,00	0,56	0,00	0,22	0,22	0,11	0,74	0,17	0,34	0,17	0,11
Oxydiertes Öl	15,1	16,7	14,6	12,9	6,4	8,7	17,0	11,7	20,6	5,0	6,7	6,2	7,0
Verkok.n.Ramsbottom													
Frischöl	0,13	0,20	0,17	0,14	0,23	0,16	0,17	0,22	0,30	0,24	0,19	0,25	0,25
Oxydiertes Öl	1,4	1,3	1,21	1,47	0,89	1,15	1,09	0,92	2,20	0,64	0,71	1,11	0,74
Schaumblasen (min)													
Frischöl	34	22	22	21	24	17	31	18	30	0	0	26	27
Oxydiertes Öl	100	98	78	92	51	45	82	48	120	0	0	54	53
Harz n.Noack	1,20	1,31	1,84	1,43	1,13	1,13	1,60	1,48	2,35	0	0	1,49	1,61
Grenzflächenspannung	4,24	3,36	3,53	3,39	3,18	3,18	3,23	3,77	3,23	3,54		3,99	3,96

1) Es wurde für die Untersuchungen SS 1060 (Eing.-Nr.148/43) verwendet, da 138/43 verbraucht war.
 2) Es wurde für die Untersuchungen SS 980 (Eing.-Nr.184/43) verwendet, da 137/43 verbraucht war.
 Die Werte der Viskositäten bei 0, 37,8, 100 und 150°C sind durch Extrapolieren erhalten.
 Spr.

Zahlentafel 2
Eigenschaften der auf Kolbenringverschleiß untersuchten Öle.

Übersetzung	DA 200	NP II	SDR 200	Rotring D	Stenavo 100	Gulfpride	ASM	Kompressol	P 6	V 1
Eingangs-Nr.	318/40	405/36	389/40	423/40	Lager 251/38	243/40	188/39	183/39	167/39	170/39
Lieferfirma	Olex	Pintsch	Olex	Intava	DAPG	Bauteöl	Ehenania	Arens	I.G.	I.G.
Spez. Gew. b. 20°C	0,935	0,909	0,896	0,891	0,886	0,877	0,916	0,959	0,883	0,890
Refraktion b. 20°C	1,5208	1,5024	1,4920	1,4923	1,4918	1,4857	1,5032	1,479	1,4884	1,4932
Visk. b. 20°C °g	166	175	150	120	105	116	151	142	195	110
" 50 "	18,6	20,3	19,2	18,0	17,2	16,9	16,5	17,9	25,2	17,9
" 100 "	2,59	2,77	2,82	2,82	2,85	2,88	2,36	2,62	3,40	3,10
" 150 "	1,42	1,46	1,48	1,52	1,55	1,47	1,38	1,44	1,61	1,57
Viskositätspolhöhe	2,49	2,31	2,15	1,88	1,87	1,84	2,69	2,32	1,93	1,73
Viskositätsindex °C	68	72	85	97	100	104	-	-	92	112
Stockpunkt	-	-13	-	-16	-18	-20	-28	-29	-15	-13
Flammpunkt	271	230	263	272	259	275	235	292	232	230
Brennpunkt	318	285	307	323	308	323	275	329	267	265
Neutralisationszahl mgKOH/g	0,06	0,04	0	0,04	0	0,02	0,11	0,73	0,19	0,19
Verseifungszahl mgKOH/g	1,48	0,14	0,20	0,19	0,09	0,10	8,3	155,6	0,19	0,29
Conradson-test v.H.	1,04	-	0,16	0,31	0,79	0,19	0,16	0,21	0,36	0,40
Rausbottomtest v.H.	-	0,60	-	-	0,60	-	-	-	0,25	0,31
S-Gehalt	1,04	0,17	0,07	0,39	0,12	0,06	1,22	0,03	0,34	0,47

04664

24.7.43
Ds.

Zahlentafel 3

Öle aus dem Flugbetrieb

Überscheidung Eingangs-Nr.	Kompressor	ASM	Rotring 67/43	Rotring 133/43	Rotring 83/43	Rotring 132/43	Rotring 185/43	Rotring 245/43
Spez.Gew. kg/l	0,9594	0,9174	0,8745	0,8800	0,889	0,8886	0,8918	0,8915
Refraktion n _{D20}	1,4792	1,5034	1,4844	1,4846	1,4920	1,4929	1,4939	1,4939
Viskosität 0°C	1150	944	495	495	759	950		
20°C	142	140	95,8	96,4	120	133		
50°C	17,9	18,9	16,6	16,8	17,8	17,6		
100°C	2,62	2,88	2,94	2,99	2,88	2,64		
150°C	1,44	1,51	1,57	1,58	1,52	1,46		
Viskosität 0°C	8740	7150	3750	3750	5750	7200		
20°C	1079	1057	726	730	905	1008		
50°C	136	143	126	127	135	133		
100°C	17,7	20,0	20,6	21,0	20,0	17,9		
150°C	2,32	2,40	2,40	2,20	2,32	2,12		
Polhöhe	3,62	3,44	3,17	3,14	3,35	3,55		
Richtungsfaktor		93	112	114	100	82		
Index		-19	-26	-27	-29	-28		
Stockpunkt °C	292	274	235	240	259	241		
Flammpunkt °C	329	274	274	290	292	295		
Neutra.-Zahl mgKOH/g	0,73	0,13	0,37	0,07	0,01	0,01		0,01
Verseif.-Zahl %	155,6	8,8	0,003	0,3	0,14	0,2		0,4
Asche	0		0,22	0,002	0,000	0,004		
Verkokung Conradson %	0,21		0,22	0,22	0,31	0,33		0,27
Verkokung Ramsbottom "			3,78	0,20	0,24	0,22		4,28
Grenzflächenspannung "			3,56	3,16	4,35	4,31		0,14
Schwefel			0,29	0,24	0,10	0,11		0,14
Schaumblasen			23	23				23
Alterung n. Air Ministry kg/l			0,8950	0,8936	0,910	0,9126		0,9107
Spez.Gew. kg/l			1,4915	1,4910	1,5000	1,5001		1,5006
Refraktion n _{D20}			3,5	2,81	3,61	3,6		3,2
Neutr.-Zahl mgKOH/g			8,4	15,8	17,62	13,5		17,4
Verseif.-Zahl "			1,52	1,39	1,71	1,43		1,59
Ramsbottom "								0,4685

04866

Zahlentafel 4Schwefelgehalt und Verschleißverhinderungswert
einiger Öle.

Ben.-d.Öle	Öl-Nr.	% Schwefel	Verschleißverhinderungswert
Kompressol	185/39	0,03	96
Gulf Pride	243/40	0,06	23
SDH	389/40	0,07	41
Staravo	251/38	0,12	52
NP II	405/36	0,17	51
P ₆	167/39	0,34	67
Rotring	423/40	0,39	50
V ₁	170/39	0,47	90
DA 200	318/40	1,04	91
ASM	188/39	1,22	91

04667

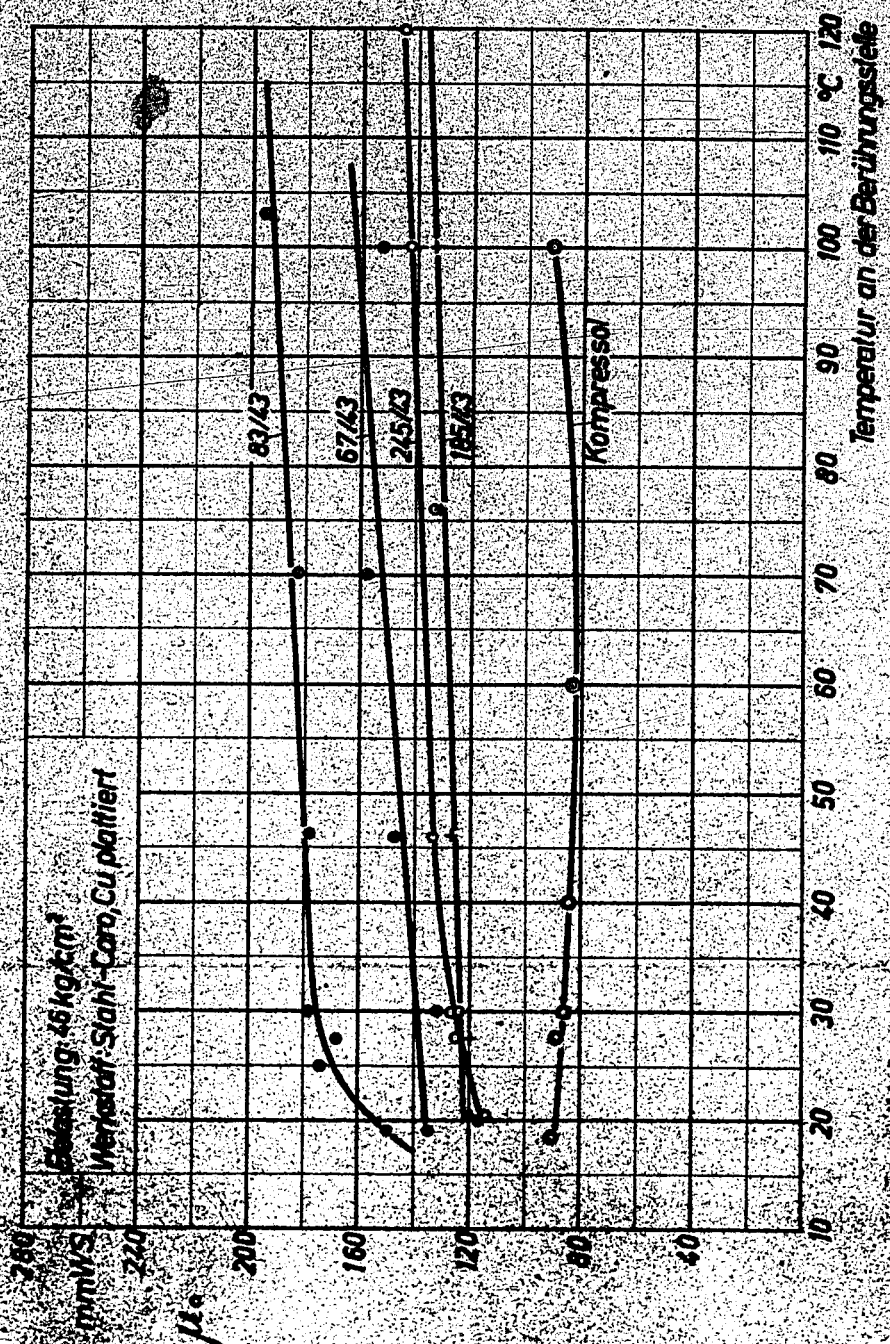


Abb.1: Mühreibung von 5 Bilen nach Birtal

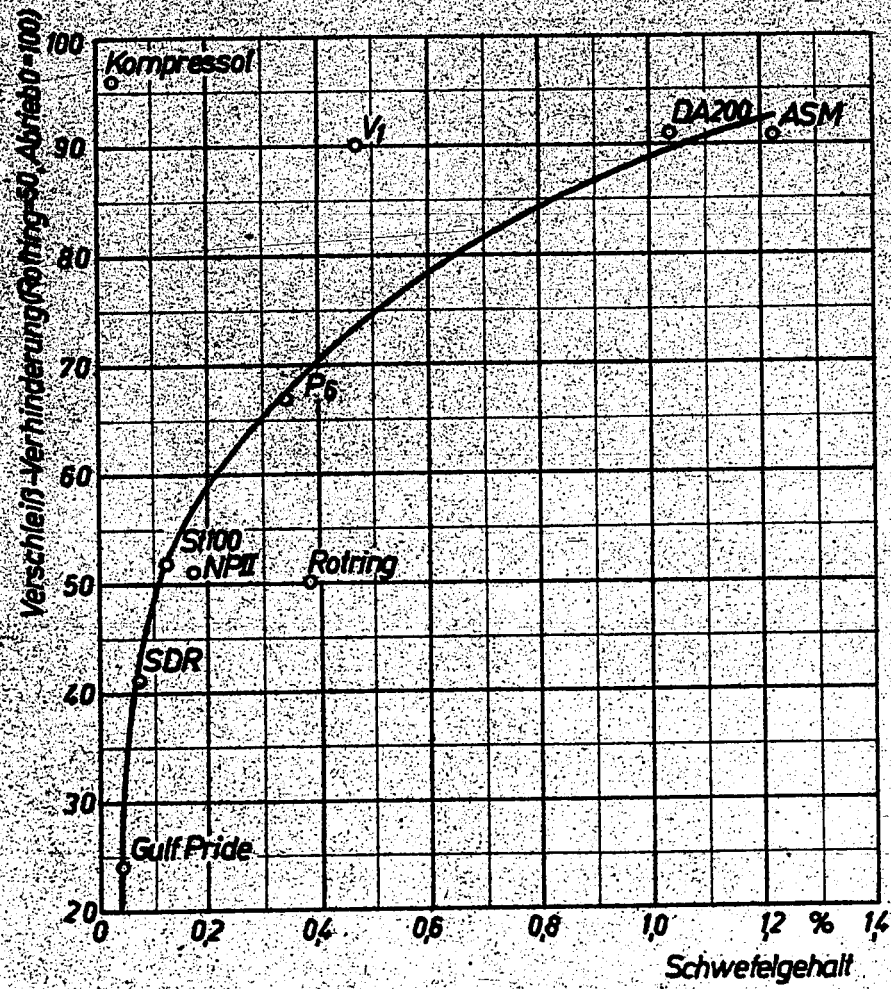


Abb. 2: Schwefelgehalt u. Verschleißverhinderung einiger Öle.

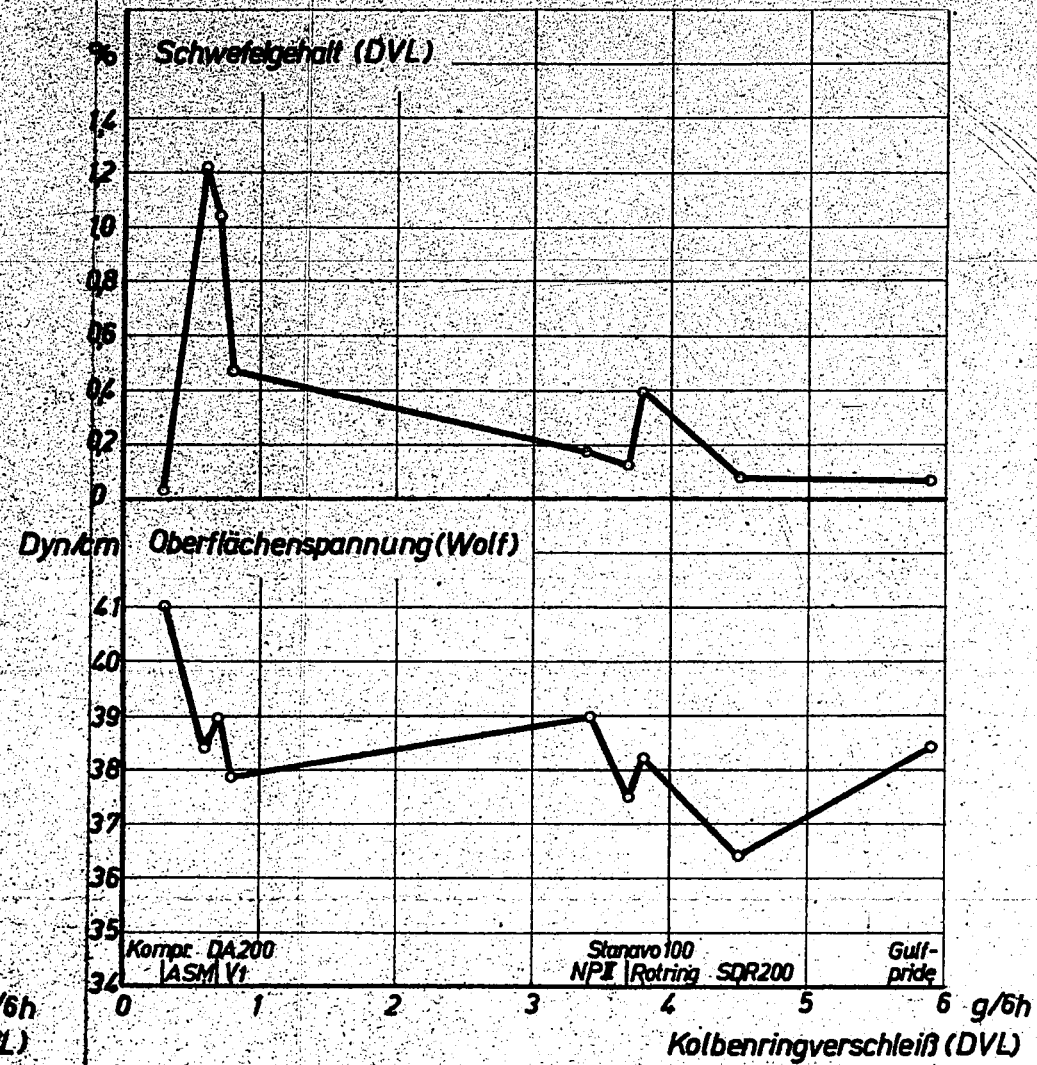
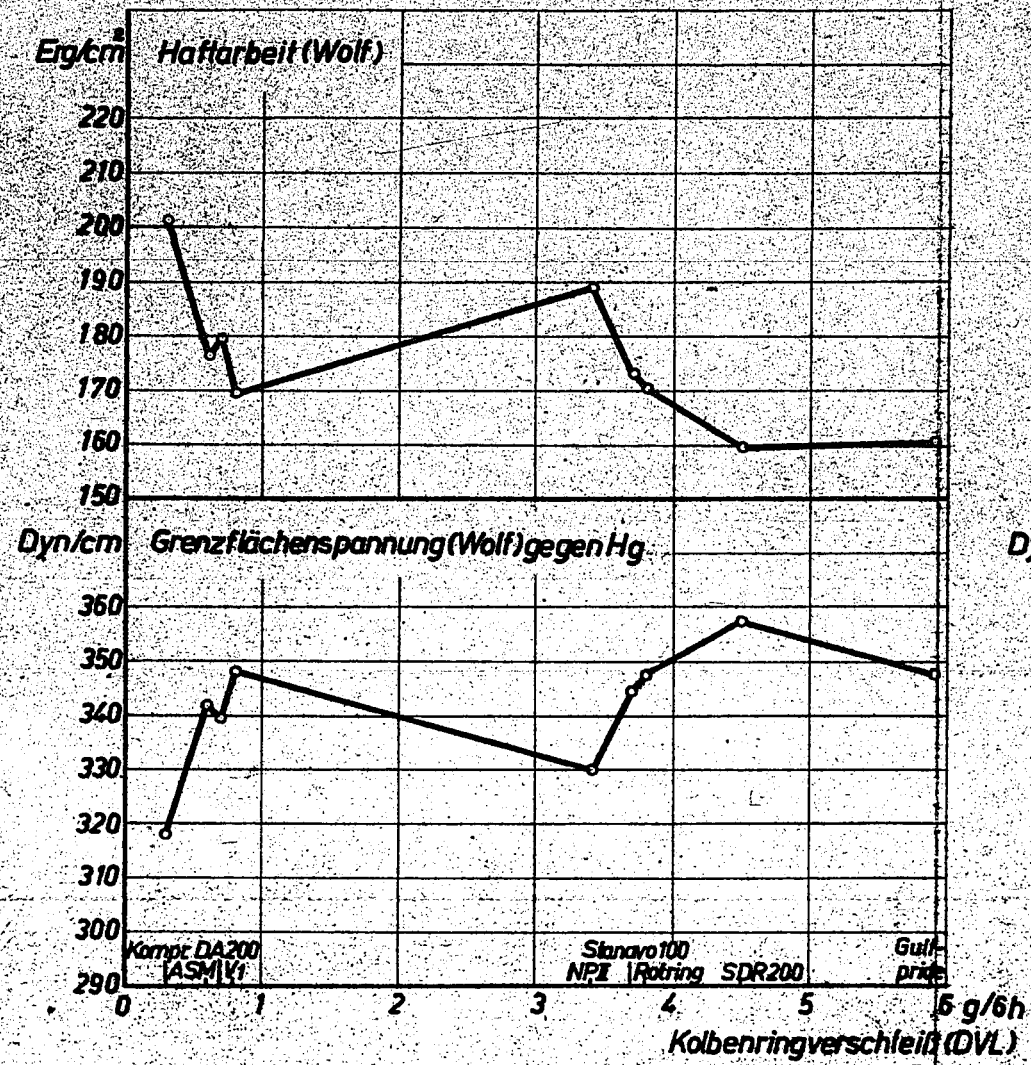


Abb.3: Kolbenringverschleiß und einige andere Eigenschaften von Ölen

Walter Cyp

04670

Geheim

Institut f. Betriebstofforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für
Luftfahrt E.V., Bln.-Adlershof



Prüfung hochklopfester synthetischer
Kraftstoffe

- a) auf ihre Überladbarkeit
- b) auf ihr Dauerverhalten

a) Überladeprüfung:

Die Durchführung der motorischen Prüfung der 4 Sonderkraftstoffe (OZ Klasse 100) erfolgte, gemäß der Besprechung am 29. Juli 38 in der DVL (DVL-Aktenvermerk vom 9.8.38), im BMW 132-F-Flugmotoren-Einzylinder bei Einspritzbetrieb. Bei der Überladeprüfung wurden folgende Prüfbedingungen eingehalten:

- | | |
|---------------------------|--|
| 1) Drehzahl | 1600 U/Min. |
| 2) Verdichtungsverhältnis | 6,5:1 |
| 3) Kühllufttemp. | ca. 25°C |
| 4) Kühlluftdruck | 200 mm WS |
| 5) Einspritzbeginn | 26° bis 30° n.o.Tpkt. |
| 6) Einspritzdruck | 60 at |
| 7) Ladelufttemp. | 80° und 130°C |
| 8) Zündung | Bestleistung bei $\lambda = 0,7; 0,9; 1,1$
bei nicht klopfendem Betrieb |
| 9) Gemischstärke | Bereich (0,7) 0,8 bis 1,3 |
| 10) Maß des Klopfens | Gehör, Klopfbeginn, 6-10 Klopf-
schläge in der Minute |

Hierbei sei noch bemerkt, daß einige Kraftstoffe bei der Ladelufttemperatur von 80°C infolge ihrer hohen Überladbarkeit (1775 mm abs. Aufladung) bei Kraftstoffüberschuß nur bis zu einer Gemischstärke von $\lambda = 0,85$ bzw. 0,98 geprüft werden konnten.

Prüfkraftstoffe und Vergleichskraftstoff:

Die physiko-chemischen Analysendaten der 4 Sonderkraftstoffe CV 1 bis CV 4 und die des Vergleichskraftstoffes C 1 sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt. Der Kraftstoff CV 4 wurde in der DVL gemischt, da er bis jetzt noch nicht von der I.G. geliefert werden konnte.

Bleigehalt:

Der Bleitetraäthylgehalt des Vergleichskraftstoffes C 1 beträgt 0,082 Vol.%. Der Bleigehalt der angelieferten Sonderkraftstoffe CV 1, CV 2 und CV 3 wurde von Seiten des Lieferers mit 0,12 Vol.% angegeben. Aus Gründen der motorischen Prüfung wurde der in der DVL gemischte Sonderkraftstoff CV 4 nur mit einem Bleigehalt von 0,10 Vol.% versehen, da schon bei diesem Bleigehalt die höchsten mittleren effektiven Kolbendrücke über dem Gesamtverlauf der Grenzkurve erreicht werden.

Dichte:

Die spezifischen Gewichte der untersuchten Kraftstoffe liegen zwischen 0,7104 und 0,7790. Welche dieser Grenzwerte den günstigsten Wert darstellen, hängt vollkommen davon ab, ob man bei Einspritzbetrieb mit gegebenem Pumpenhub größte Leistung oder geringsten Verbrauch erzielen will.

Kristallisationspunkt:

Der Kristallisationspunkt ist bei sämtlichen Kraftstoffen bei -60°C noch nicht erreicht.

Jodzahl:

Die Jodzahlen der Kraftstoffe CV 2, CV 3 und CV 4 liegen über dem heute angestrebten Grenzwert von 3,0.

Dampfdruck:

Der Dampfdruck des Kraftstoffes C 1 liegt für den Höhenbetrieb zu ungünstig und dürfte auch bei CV 4 Schwierigkeiten verursachen. Die Kraftstoffe CV 1, CV 2 und CV 3 werden in dieser Beziehung keine Schwierigkeiten bereiten.

Siedeverhalten:

Das Siedeverhalten entspricht den Dampfdrücken; das Anlassen in der Kälte kann bei den Kraftstoffen CV 1, CV 2 und CV 3 Schwierigkeiten verursachen.

Chemische Zusammensetzung:

Die chemische Zusammensetzung ist nur insofern interessant als die Kraftstoffe CV 2, CV 3 und CV 4 hohe Aromatengehalte aufweisen.

Heizwert:

Der untere Heizwert sämtlicher CV-Kraftstoffe ist geringer als der von C 1. Die unteren Heizwerte von CV 1 bis CV 4 liegen um folgende Prozente unter dem Heizwert von C 1:

CV 1	ca. 0,5%;	CV 3	ca. 4,32 %
CV 2	" 5,4%;	CV 4	" 6,5 %

Octanzahlen des Vergleichsbenzins und der Prüfkraftstoffe:

Die Kraftstoffe C 1, CV 1-CV 4 wurden auch im CFR-Motor nach dem Research- und Motor-Verfahren geprüft. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Zahlentafel 1 zusammengestellt. Nach der Octanzahlprüfung gehören sämtliche Kraftstoffe der Octanzahlklasse 100 an. Die Octanzahlen der Kraftstoffe CV 3 und CV 4 stimmen (innerhalb der Fehlergrenze) nach beiden Verfahren ungefähr überein. Die Octanzahlen der anderen Kraftstoffe weichen um 4 bis 7 Octaneinheiten voneinander ab. Die Überladeprüfung bewertet sie jedoch in einer anderen Reihenfolge.

Ergebnisse der Überladeprüfung:

Bevor auf die Ergebnisse der Überladeprüfung der 4 Sonderkraftstoffe (Octanzahlklasse 100) im BMW 132 F eingegangen wird, sei noch darauf hingewiesen, daß die motorische Prüfung dieser Kraftstoffe in einem Flugmotoren-Einsylinder erfolgte, der bisher ausschließlich Kraftstoffen der Klasse OZ 87 vorbehalten war. Die Frage, inwieweit sich nun die Ergebnisse auf einen Flugmotor der Klasse OZ 100 übertragen lassen, bleibt hierbei offen.

Die Bewertung der motorischen Eigenschaften der Kraftstoffe CV 1 bis CV 4 geschieht am besten durch den Vergleich des Gesamtverlaufes der Grenzkurven bei den Ladelufttemperaturen 80° und 130°C . Dieser Verlauf, der sich über den gesamten Bereich der praktisch interessierenden Mischungsverhältnisse erstreckt und Aufschluß über das thermische Verhalten der Kraftstoffe an der Klopfgrenze gibt, wird durch den vorherrschenden Charakter der Kohlenwasserstoffe weitgehendst bestimmt. Ferner interessiert im einzelnen die bei Startbedingungen (20 bis 30%iger Kraftstoffüberschuß) erreichbare Höchstleistung und die Vermagerbarkeit dieser Kraftstoffe bei einem Luftüberschuß von 0 bis 20% (in einigen Fällen sogar bis 30%) und verschiedenen Ladelufttemperaturen.

Die Beurteilung des Klopfbeginnes erfolgt zweckmäßig durch den Vergleich der mittleren effektiven Kolbendrücke in at (p_{me}) bzw. der mit einem DVL-Thermoelement gemessenen mittleren Temperaturen im Verbrennungsraum. In den beiliegenden Kurvenblättern (Abb. 1 u. 2) wurden überdies die bei den Klopfmessungen auftretenden Zylinderkopf- und Auspufftemperaturen, sowie der spezifische Kraftstoffverbrauch aufgezeichnet.

Als Vergleichskraftstoff diente ein handelsüblicher Flugmotorenkraftstoff (OZ 100) mit der Bezeichnung C 1. Er besitzt im Gegensatz zu den Versuchskraftstoffen nur einen Bleitetraäthylgehalt von 0,082 Vol.% und ist vorwiegend paraffinischen Charakters.

Nach der chemischen Analyse ist Kraftstoff:

C 1	vorwieg. paraffin. Charakters;	78,1% Paraffine
CV 1	" " " "	; 76,1% "
CV 2	" aromatisch-naphthenisch. Charakters;	53,2% Arom.+Ungesättigte 30,3% Naphthene
CV 3	" paraffin.-aromat. " "	; 42,2% Paraffine 34,8% Aromaten+Ungesättigte
CV 4	" aromat.-naphthen. " "	; 36 % " + 26 % Naphthene

Bei dem Kraftstoff CV 4 ist noch besonders zu bemerken, daß der restliche Prozentsatz sich nicht nur aus Paraffinen, sondern auch aus 20% Isopropyläther zusammensetzt.

04675

- 7 -

Bewertet man die untersuchten Kraftstoffe bei einem Kraftstoffüberschuß von 20% ($\lambda = 0,8$) hinsichtlich ihrer Eignung unter Startbedingungen (Forderung hoher Überladbarkeit), so ergibt sich für die Kraftstoffe bei einer Ladelufttemperatur von 80 bzw. 130°C auch unter Berücksichtigung der verschiedenen Bleigehalte beinahe eine umgekehrte Reihenfolge:

Reihenfolge	Kraftstoff	P_{ms} (kg/cm ²) bei 80°C	P_{ms} (kg/cm ²) bei 130°C	Bleigehalt %	Aromatengehalt %
1	CV 2	29 (geschätzt)	ca. 22,0	0,12	53,2
2	CV 4	27 bis 29 (geschätzt)	≥ 23,0	0,10	36,0
3	CV 3	ca. 22	20,0	0,12	34,8
4	CV 1	17,6	16,4	0,12	8,6
5	C 1	16,0	14,6	0,082	10,5

Die geforderte hohe Überladbarkeit von Flugmotorenkraftstoffen bei Startbedingungen ist also wesentlich von dem Gehalt an Aromaten abhängig.

Um Aufschluß über die Vermagerbarkeit der untersuchten Kraftstoffe zu erhalten, sind in den beiden nachstehenden Aufstellungen die bei 10, 20 und 25% bzw. 30% Luftüberschuß erreichten Leistungen an der Klopfgrenze, sowie die dazugehörigen Kraftstoffverbräuche gegenübergestellt.

Kraftstoff	Luftüberschuß			
	10%	20%	25%	30%
C 1	75 PS	73 PS	73 PS	- PS
CV 1	79,5 PS	78,5 PS	80 "	- PS
CV 2	82 "	81,1 "	83,5 PS	87 "
CV 3	85,2 "	84,6 "	87 "	91,5 PS
CV 4	95,5 "	99 "	104 "	-

Bemerkenswert ist ferner folgende Feststellung:

Geht man von der Tatsache aus, daß in den meisten Fällen die an der Klopfgrenze mit DVL-Thermoelementen gemessenen Auspufftemperaturen (T_A) höher liegen als die mittleren Temperaturen im Verbrennungsraum (T_V) und rechnet bei den verschiedenen Luftüberschusszahlen 0,9; 1,05 und 1,2 bei der Ladelufttemperatur 80°C den Unterschied ($T_A - T_V$) aus, so erhält man folgendes Bild:

Reihen- folge	Kraftstoff	C/H - Verhältnis	Luftüberschusszahlen		
			0,9	1,05	1,2
1	C 1	5,75	+40°C	+ 77°C	+85°C
2	CV 1	5,80	+20 "	+ 72 "	+85 "
3	CV 3	6,62	-10 "	+ 63 "	+125 "?
4	CV 4	6,52	-50 "	+ 40 "	+ 65 "
5	CV 2	7,77	-	+ 23 "	+ 54 "

Der Unterschied zwischen Auspufftemperatur und mittlerer Verbrennungsraumtemperatur nimmt mit der für das thermische Verhalten der Kraftstoffe maßgebenden Reihenfolge ab. Bei $\lambda = 0,9$ liegen sogar die mittleren Temperaturen im Verbrennungsraum für die Kraftstoffe CV 3 und CV 4 höher als die Auspufftemperaturen.

Ferner ist noch zu erwähnen, daß mit steigendem C/H-Verhältnis der untersuchte Kraftstoffe (5,75 bis 7,77), also mit abnehmender Wärmeleitfähigkeit¹⁾, die mit DVL-Thermoelementen gemessenen mittleren Temperaturen im Verbrennungsraum ansteigen.

Aus früheren Versuchen ist bekannt, daß bei ein- und demselben Kraftstoff ein verschieden großer Bleigehalt wohl die Höhe der Kurvenlage, also die Überladbarkeit des Kraftstoffes beeinflusst, jedoch nicht die Gestalt der Grenzkurve. Es ist also für die vorgenommene Bewertung ein verschiedener Bleigehalt gleichgültig.

der Gase

04677

- 8 -

Kraftstoff	Luftüberschuß			
	10%	20%	25%	30%
C 1	178 g/Psh	175 g/Psh	174 g/Psh	-
CV 1	177 "	173 "	172 "	-
CV 2	186 "	183 "	182 "	181 g/Psh
CV 3	180 "	175 "	174 "	173 "
CV 4	185 "	180 "	180 "	-

Da mit dem Kraftstoff CV 4 die größten Leistungen bei Klopfbeginn erzielt werden und die entsprechenden Kraftstoffverbräuche nur um 5 bis 7 g/Psh über denen des Vergleichskraftstoffes C 1 liegen, eignet sich CV 4 am besten für den vermögerten Betrieb (s.a. Abb. 1). Folgende Gegenüberstellung soll dies für verschiedene Luftüberschußbereiche veranschaulichen:

Luftüberschußzahlen	1,1	1,2	1,25
Leistungsgewinn von CV 4 gegenüber C 1	27,4%	35,6%	42,5%
Mehrverbrauch von CV 4 gegenüber C 1	3,9%	2,8%	3,4%

Die Eignung der untersuchten Kraftstoffe für den Betrieb im Luftüberschußbereich wäre demnach wie folgt zu beurteilen:

Reihenfolge	Ladeflufttemperatur	
	80°C	130°C
1	CV 4	CV 4
2	CV 3	CV 2 +)
3	CV 2	CV 1(≅)++)
4	CV 1	CV 3(≅)++)
5	C 1	C 1

+) Der Umkehrpunkt der Grenzkurve liegt jedoch am tiefsten von allen Kurven

++) ungefähr gleiche Eigenschaften

Die im Flugmotoren-Einzylinder bei $n=1600$ U/Min. gefundenen Ergebnisse sind mit Vorsicht auf den Mehrzylinder zu übertragen, jedoch dürften sie bei Einspritzbetrieb einen gewissen Anhalt geben. Die Erhöhung der Drehzahl wird sich für den vermagerten Betrieb nur günstig auswirken.

Einen Überblick über die bei verschiedenen Luftüberschusszahlen an der Klopfgrenze sich einstellenden spezifischen Kraftstoffverbräuche erhält man aus folgender Zusammenstellung (Ladelufttemperatur 80°C):

Kraftstoff	Leistung (PS) an der Klopfgrenze	Prozentuale Zunahme d. CV ² Kraftstoffe gegenüber C 1 (%)	Spez. Verbr. (g/PS) an d. Klopfgrenze	Prozent. Zu- bzw. Abnahme d. CV-Kraftst. gegenüber C 1 (%)	Bemerkung
C 1	86	-	230	-	
CV 1	96	+ 11,7	225	- 2,3	$\lambda=0,8$
CV 2	-	-	-	-	
CV 3	-	-	-	-	
CV 4	-	-	-	-	
C 1	84,5	-	205	-	
CV 1	93,0	+ 10,1	196	- 4,6	$\lambda=0,09$
CV 2	-	-	-	-	
CV 3	105,0	+ 24,3	195	- 5,1	
CV 4	119,0	+ 40,8	208	+ 1,5	
C 1	73,0	-	175	-	
CV 1	78,5	+ 7,5	173	- 1,2	$\lambda=1,2$
CV 2	81,1	+ 11,0	183	+ 4,0	
CV 3	84,6	+ 15,9	175	0	
CV 4	99,0	+ 35,6	180	+ 2,8	

Abschließend sind noch die bei kloppfreiem Betrieb durchgeführten Temperaturmessungen anzuführen. Die hierbei eingehaltenen Bedingungen waren für alle Kraftstoffe folgende:

Leistung $N = 60$ PS
 Luftüberschusszahl $\lambda = 0,9$
 Drehzahl $n = 1600 \pm 3$ U/Min.
 Ladelufttemperatur $t_L = 80^{\circ}\text{C}$
 Zündung $= 30^{\circ}\text{K.W.}$

Kraftstoff	Bleigehalt Vol.%	mittl. eff. Kolbendruck, kg/cm ²	Ladedruck mm Hg	Luftüberschusszahl	Temperaturen		
					mittl. Verbrennungsraum (°C)	Auspuff (°C)	Zylinderkopf (°C)
CV 1	0,082	10,98	892	0,906	647	711	211
CV 1	0,12	10,98	897	0,906	666	706	211
CV 2	0,12	10,96	902	0,898	664	720	213
CV 3	0,12	10,98	900	0,901	664	708	211
CV 4	0,10	11,0	893	0,873(!)	680	706	215

Die mit dem Kraftstoff CV 4 durchgeführten Temperaturmessungen sind, da sie bei einem größeren Kraftstoffüberschuß gefahren wurden, nicht ohne weiteres zum Vergleich heranzuziehen. Eine Wiederholung dieses Versuches konnte aus Kraftstoffmangel nicht vorgenommen werden.

Die gemessenen Temperaturen liegen bei den hier geprüften Kraftstoffen zum größten Teil innerhalb der Meßgenauigkeit.

Die Bestimmung des Kraftstoffverbrauches bei einer Luftüberschusszahl von ca. 0,95 im kloppfreien Gebiet, der sich bei 70% der Leistung, die bei $\lambda=0,7$ ermittelt wird, einstellen würde, mußte unterbleiben, da für drei Kraftstoffe die Leistung bei 30% Kraftstoffüberschuß an der Kloppgrenze nicht bestimmt werden konnte.

Zusammenfassung:

Nach der im Flugmotoren-Einzyylinder BMW 132 F bei Einspritzbetrieb vorgenommenen Prüfung der Überladbarkeit wären die untersuchten Kraftstoffe, beurteilt

- a) nach dem Gesamtverlauf der Grenzkurven (thermisches Verhalten),
- b) nach der Höchstleistung unter Startbedingungen
- c) nach der Vermagerbarkeit

wie folgt zu bewerten:

04680

Kraftstoff	a) Gesamtverlauf d. Grenzkurven		b) Startbedingungen		c) Vermagerbarkeit		Blei-tetra-äthyl-gehalt Vol. %
	80°C	130°C	80°C	130°C	80°C	130°C	
C 1	1	1	5	5	5	5	0,082
CV 1	2	2	4	4	4	3	0,12
CV 2	5	5 ⁺)	1	1 ⁼	3	2 ⁺⁺)	0,12
CV 3	3	3	3	3	2	4	0,12
CV 4	4	4 ⁼	2	2 ⁼	1	1	0,10

+) ungefähr gleiche Eigenschaften

++) allerdings liegt der Umkehrpunkt der Grenzkurven am tiefsten von allen Kraftstoffen

Diese Gegenüberstellung besagt, daß die Auswahl der Kraftstoffe je nach dem vorwiegenden Verwendungszweck erfolgen muß. Hervorzuheben wären die bei Kraftstoff CV 4 (Zusatz von 20% Isopropyläther) gleich guten Eigenschaften für Start und Vermagerung trotz des um 2/100 Vol. % geringeren Bleigehaltes.

b) Über das Ergebnis der Prüfungen auf das Dauerverhalten der CV-Kraftstoffe wird später berichtet.

Berlin-Adlershof, den 26. Oktober 1938

Institut für Betriebstoffforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.

Der Bearbeiter

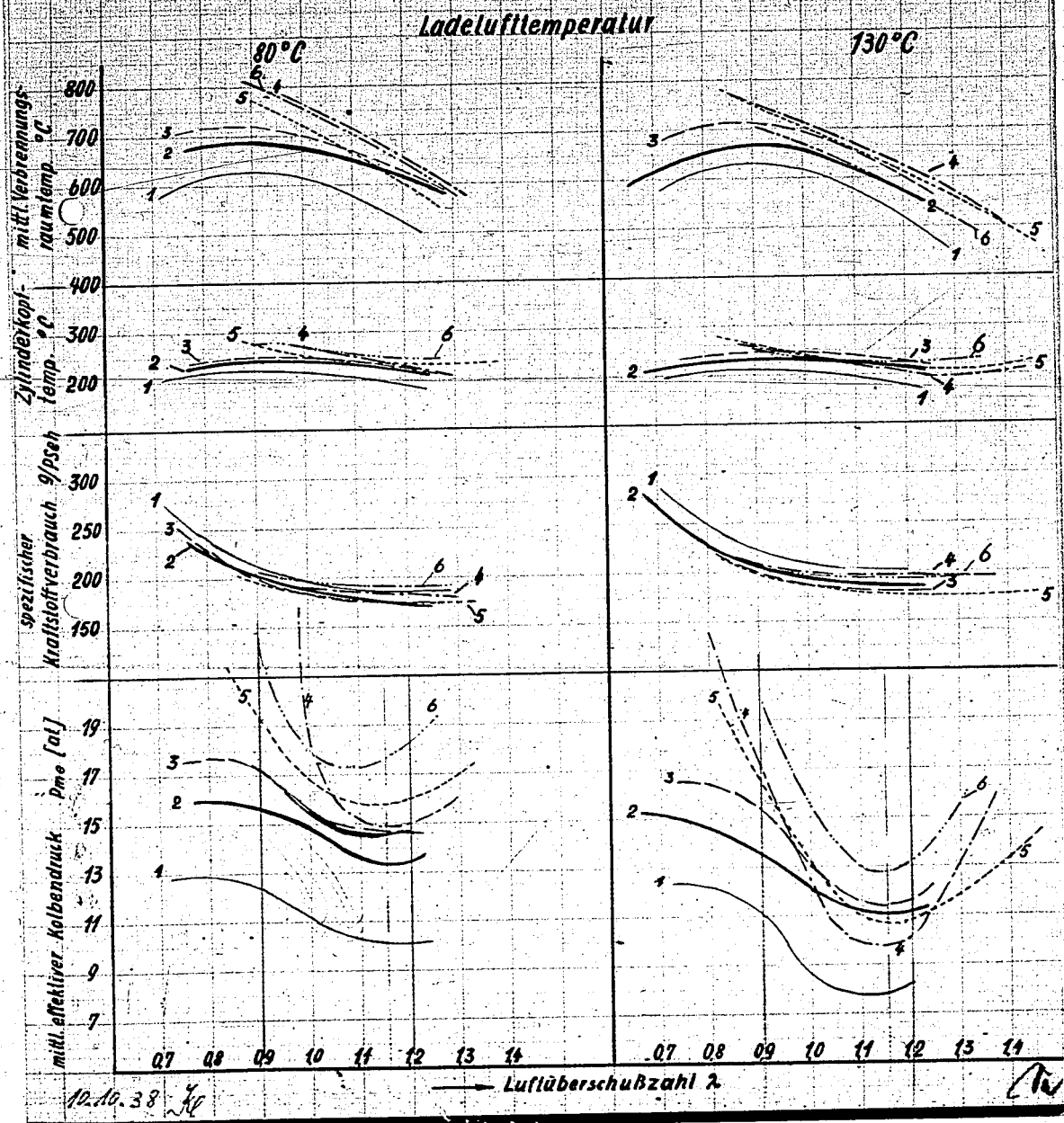
F. Seeber

F. Seeber

Abbildung 2 04681

Überladeprüfung hochklopfester synthetischer Kraftstoffe

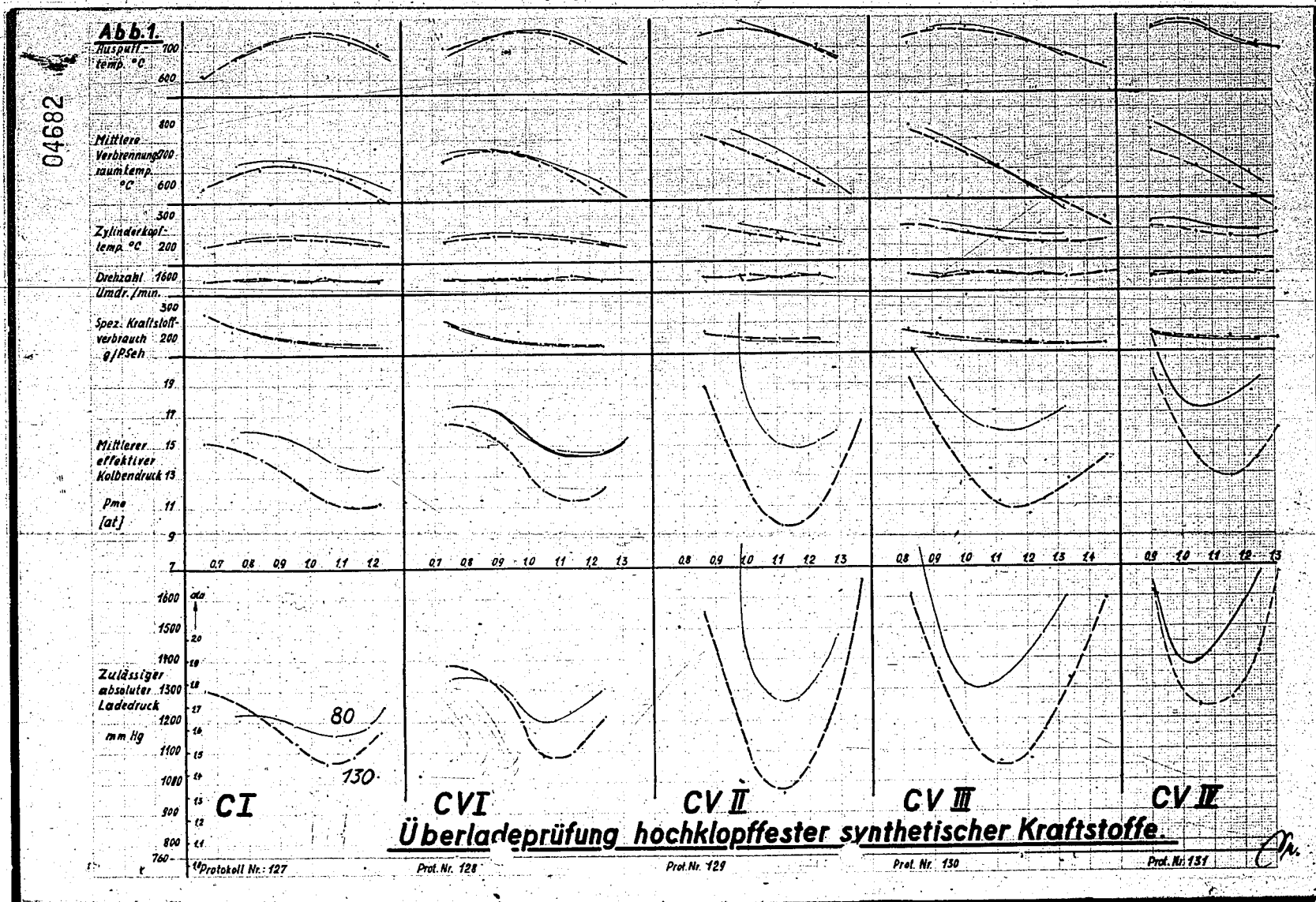
Prüfmotor BMW 132 F		1 Borneo Vergleichs-BI	
Drehzahl	1600 U.p.m.	Kühllufttemp.	ca. 25°C
Verdichtungsverh.	6,5:1	Kühlluftdruck	200 mm WS
Ladelufttemp.	80 und 130°C	Einspritzdruck	60 at
Einspritzbeginn	26-30° n.a.T.	Zündung	beste Leistung
		2	C I
		3	C VI
		4	C VII
		5	C VIII
		6	C IX



10.10.38

Luftüberschubzahl λ

C IX



POOR
COPY

18

Physico-chemische Analysendaten und Mischungsverhältnisse des Vergleichskraftstoff C 1 u. der Sonderkraftstoffe CV 1 bis CV 4.

Kraftstoff-Bezeichnung	C 1	CV 1	CV 2	CV 3	CV 4
Kraftstoffzusammensetzung		50 V. % VT 705 50 " ET 100	50 V. % VT 705 50 " VT 710	50 V. % VT 705 30 " VT 710 20 " ET 100	50 V. % VT 705 30 " VT 710 20 " Isopropyläther
Bleitetraethylgehalt	0,082% Pb	0,12 V. % Pb	0,12 V. % Pb	0,12 V. % Pb	0,12 V. % Pb
Eing.-Nr.	225/38	240/38	229/38	241/38	(in DVL gemischt)
Dichte bei 20°C	0,7104	0,7170	0,7990	0,7665	0,7710
Refraktion	1,4010	1,4020	1,4510	1,4320	1,4280
Verharzende Bestandteile mg/100 cm ³	1,5	3,0	4,0	1,0	3,0
Jodsahl	1,7	1,04	4,8	4,4	3,9
Dampfdruck kg/cm ²	0,395	0,285	0,260	0,270	0,325
ASTM-Destillation					
Siedebeginn °C	42	51	55	54	48
bis 50 °C Vol. %	0,5	-	-	-	-
60 " "	4,0	0,5	0,5	0,5	1,0
70 " "	8,0	2,5	2,0	2,0	6,5
80 " "	17,0	11,0	7,5	9,0	22,0
90 " "	30,0	25,5	18,5	20,0	46,0
100 " "	52,0	56,0	38,0	45,0	65,0
110 " "	83,5	86,0	59,0	69,0	76,5
120 " "	94,0	95,0	78,5	85,5	87,0
130 " "	96,5	97,0	90,5	93,0	95,0
140 " "	(137°)97,5	(133°)97,5	97,0	97,0	(141°)98,0
150 " "			(145°)98,0	(143°)98,0	
Rückstand "	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2
Verlust "	1,3	1,5	0,8	1,0	0,8
Anilinpunkt °C	66,2	65,0	50,6	59,4	-
Arom.+Unges. %	10,5	8,6	53,2	34,8	36++)
Naphthene %	11,4	15,3	30,3	23,0	26++)
Paraffine %	78,1	76,1	16,5	42,2	18++) u. 20% Isopropyläther
H ₂ -Gehalt %	14,8	14,7	11,4	13,1	12,9
C " %	85,2	85,3	88,6	86,8	84,1
O ₂ " %					3,0
Unterer Heizw.kcal/kg	10600	10545	10029	10142	9915
Octanz.(Motor-Verf.)	102+)	106,0+)	96,5	100	101+)
" (Research- ")	98	99,0	102,5+)	101,5+)	102,5+)

+) = extrapoliert aus verlängerter Eichkurve

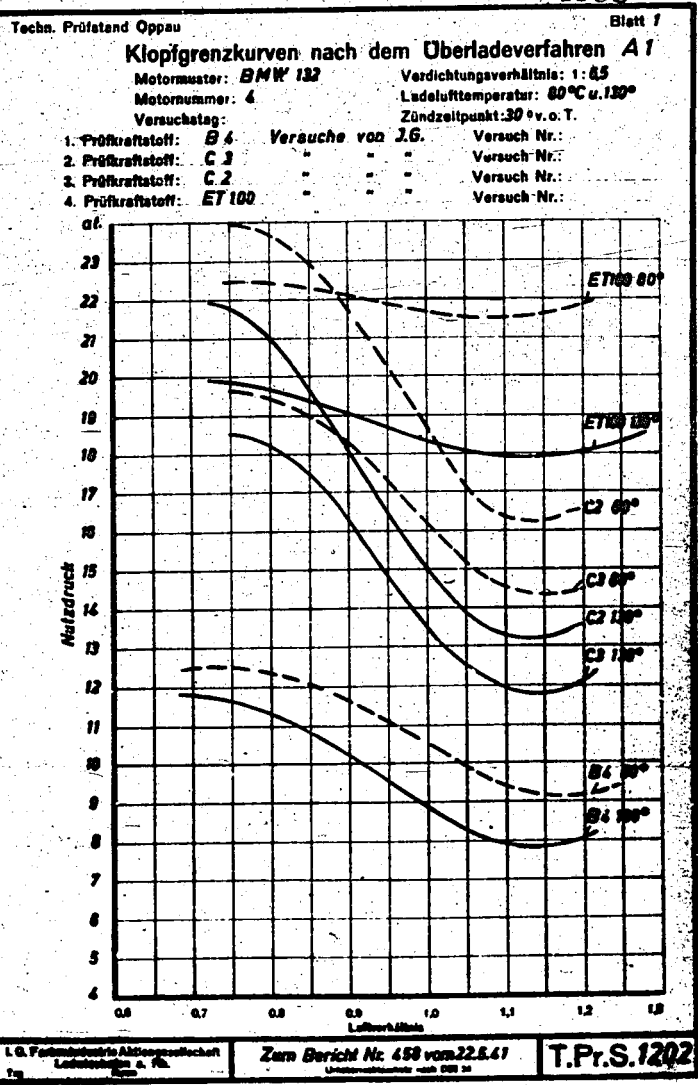
**) errechnet aus den Mischungsverhältnissen

04883

POOR
COPY

18

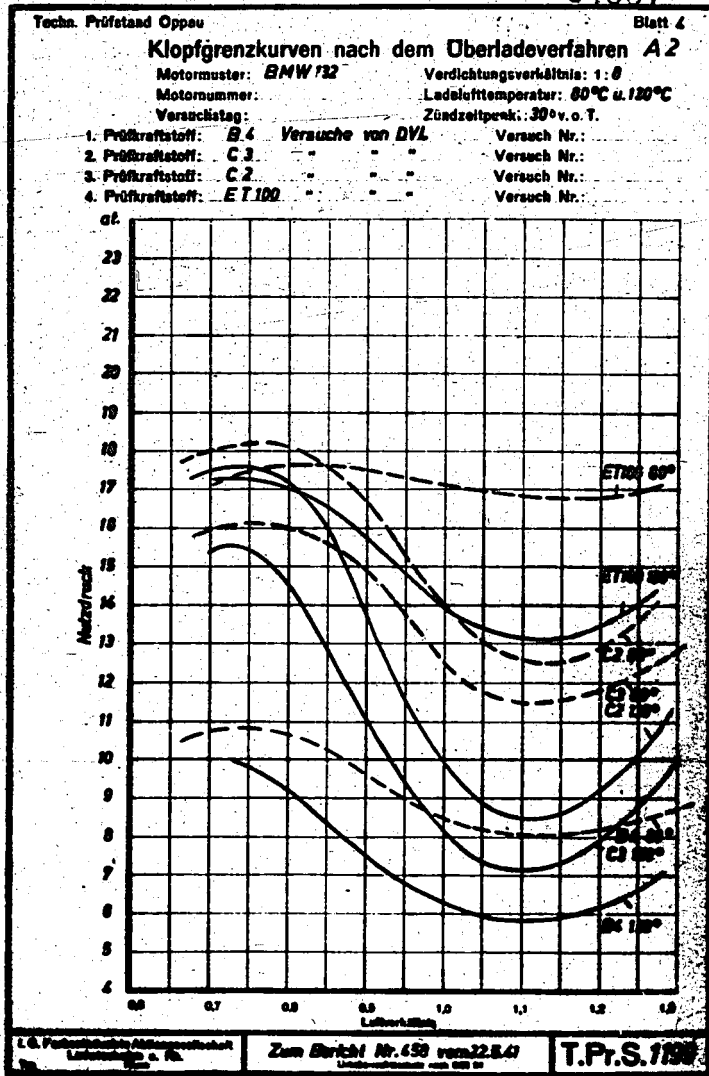
04686



POOR COPY 19

POOR COPY

04687



POOR
COPY 19

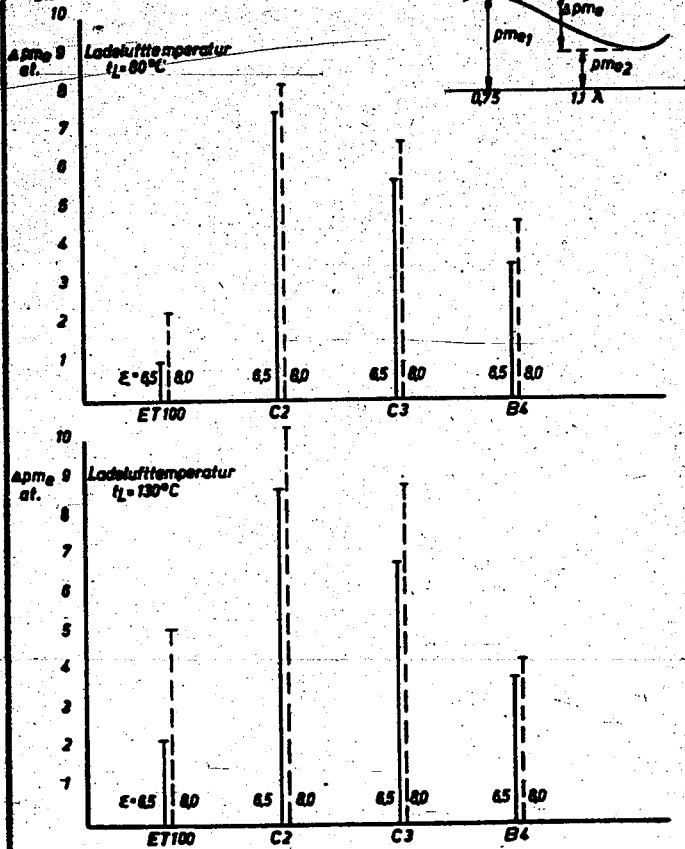
POOR
COPY

Techn. Prüfstand
Oppau

04691 Blatt: 11

Δp_{me} -Werte ($p_{me1} - p_{me2}$) A 6

- 1.) bei einer Ladelufttemperatur von $t_L = 80^\circ C$
2.) " " " " " $t_L = 130^\circ C$



Bei 130°C Ladelufttemperatur sind die Δp_{me} -Werte grösser als bei 80°C
Die aromatischen Kraftstoffe C2 u. C3 sind an den grösseren Δp_{me} -Werten erkennbar.

n. Versuchen der IG.

L.S. Prüfstand für Abgasmessungen
Ladungsbau u. Blau

Zum Bericht Nr. 458 vom 22.5.41

T.P.S. 1205

POOR
COPY 19

POOR
COPY

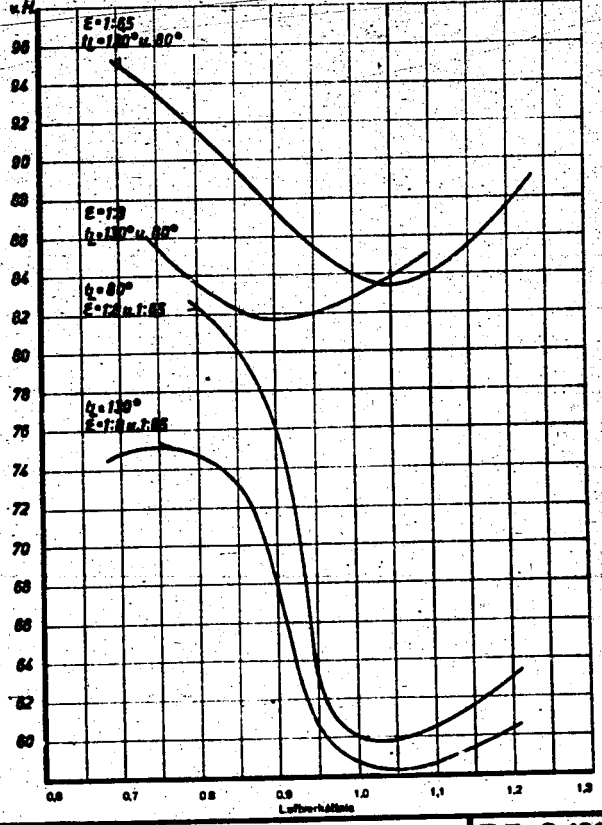
04692

Techn. Prüfstand Oppau Blatt 13

Verhältnis der Klopfgrenzkurven nach dem Überladeverfahren B1

Motormuster: **BMW 132** Verdichtungsverhältnis: **1:6,5 u. 7,8**
Motornummer: Ladelufttemperatur: **80°C u. 130°C**
Versuchstag: Zündzeitpunkt: **30° v. o. T.**

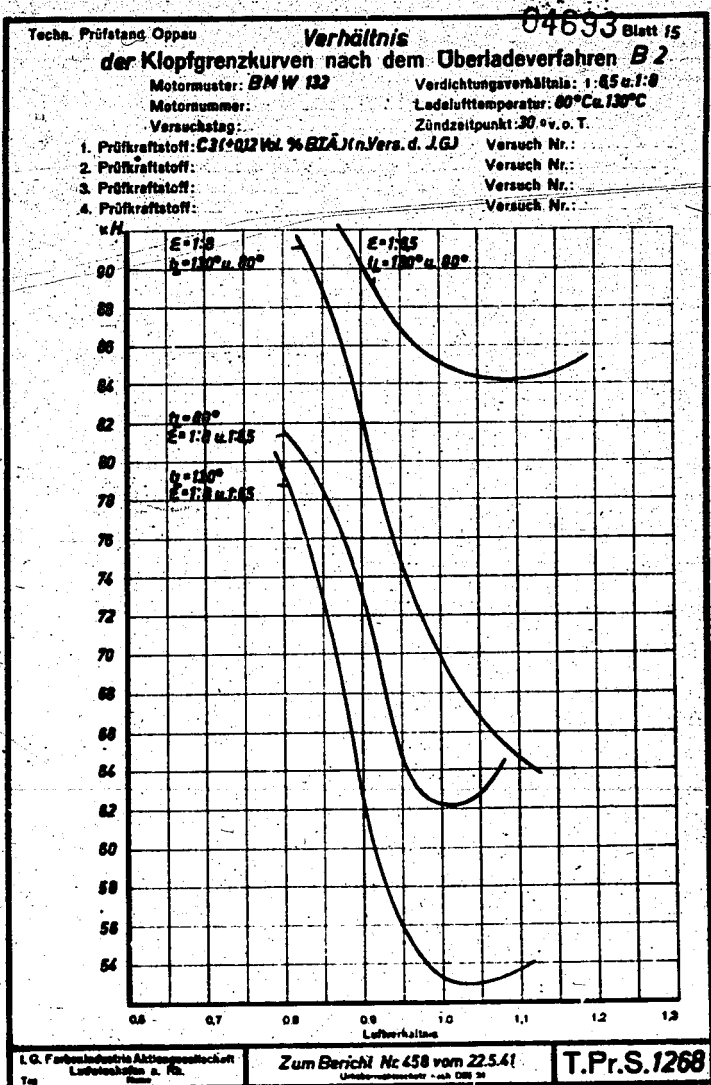
- 1. Prüfkraftstoff: **B4 (50/2 Vol. % B1A. i. n. Ver. d. 2. G.)** Versuch Nr.:
- 2. Prüfkraftstoff: Versuch Nr.:
- 3. Prüfkraftstoff: Versuch Nr.:
- 4. Prüfkraftstoff: Versuch Nr.:



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Zum Bericht Nr. 458 vom 22.5.41 T.Pr.S.1267
Ludwigshafen a. Rh. Ludwigshafen a. Rh.

POOR COPY 19

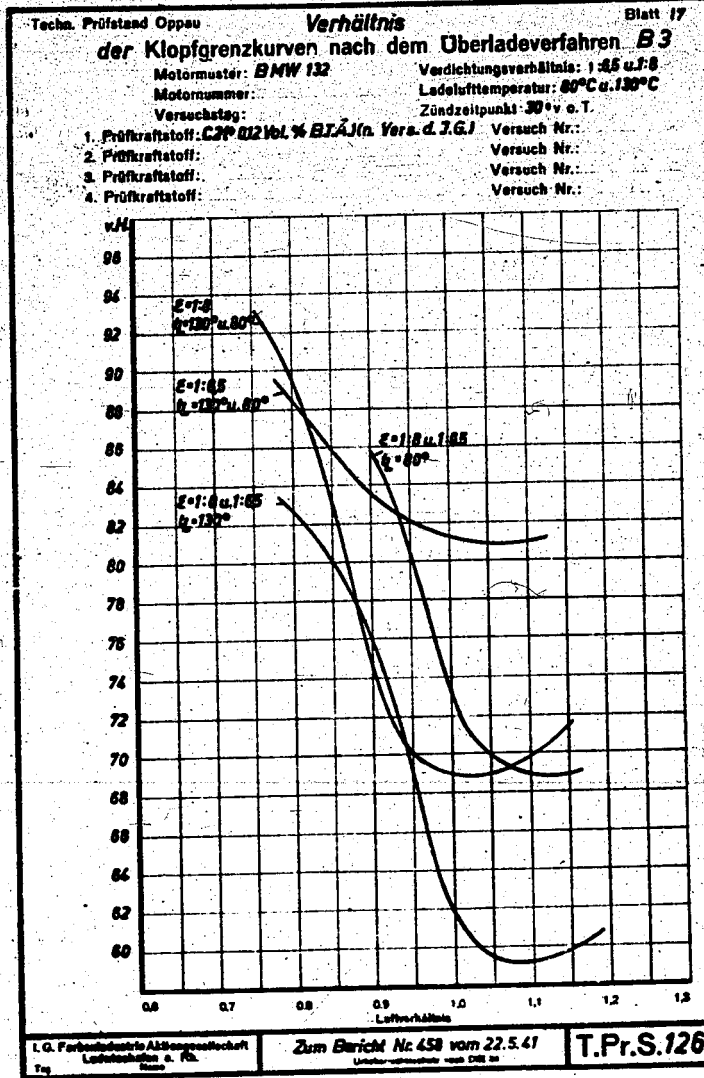
POOR COPY



POOR
COPY 19

PO
CO

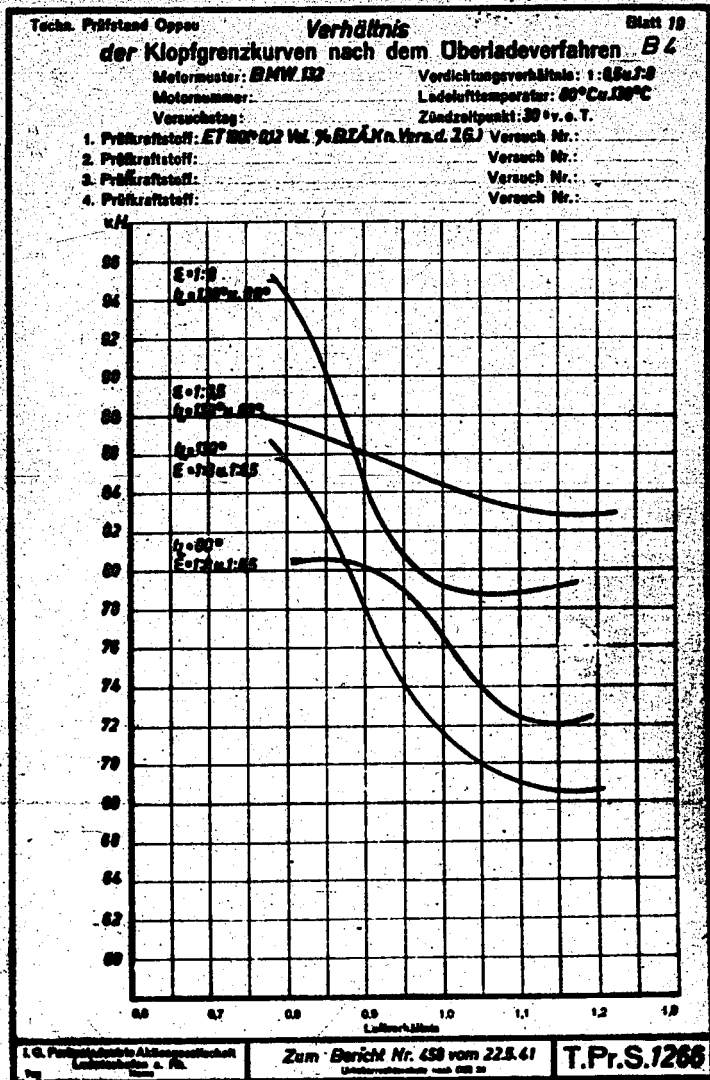
04694



POOR
COPY 19

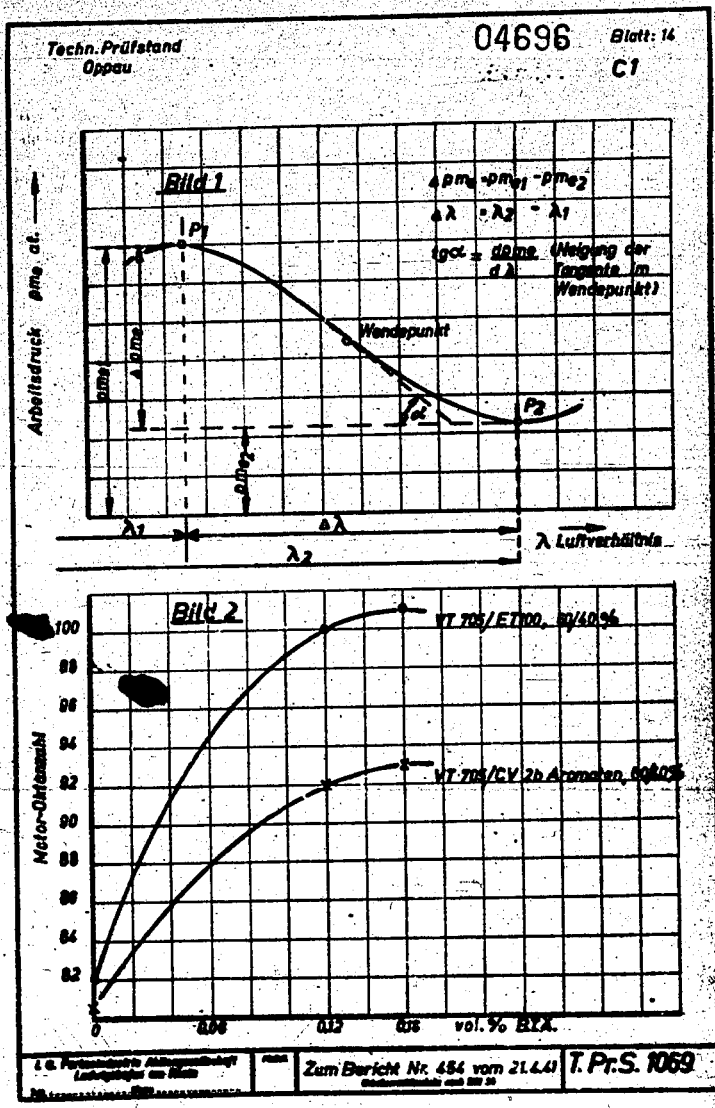
PO
CO

04695



POOR
COPY 19

PO
CO



POOR
COPY 19

PO
CO

Techn. Prüfstand
Oppau

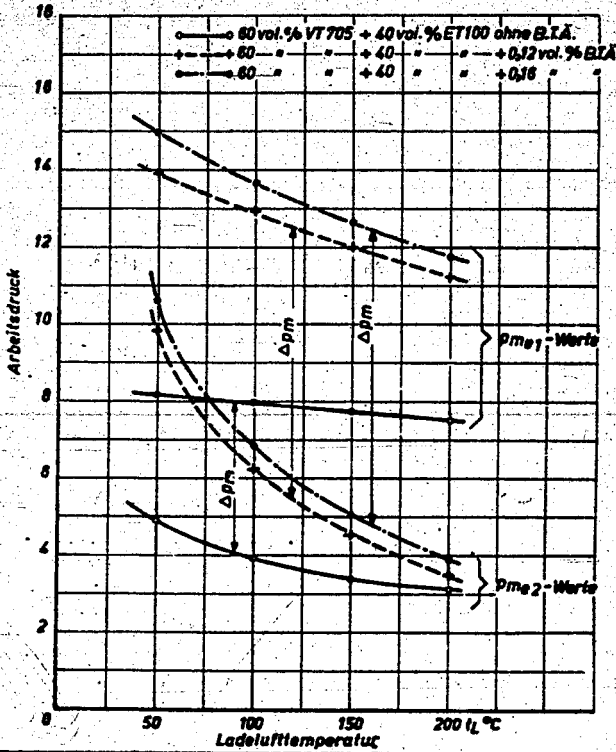
04697

Blatt 8
C2

Abhängigkeit der max. und min. Arbeitsdrücke von der Überladelufttemp. an der Klopfgrenze

Verdichtungsverhältnis $\epsilon = 11,8$
Drehzahl $n = 1800/\text{min.}$
Zündung $= 30^\circ \text{ v.o.T.}$
Einspritzbeginn $= 25^\circ \text{ n.o.T. Saugperiode}$
Kühlluftdruck $= 200 \text{ mm WS.}$

Arbeitsdruck



L.G. Fortschritts-Prüfungsgesellschaft
Lehrerbildung u. Fortb.

Zum Bericht Nr. 454 vom 21.4.41

T. Pr. S. 1070

POOR
COPY 19

POOR
COPY

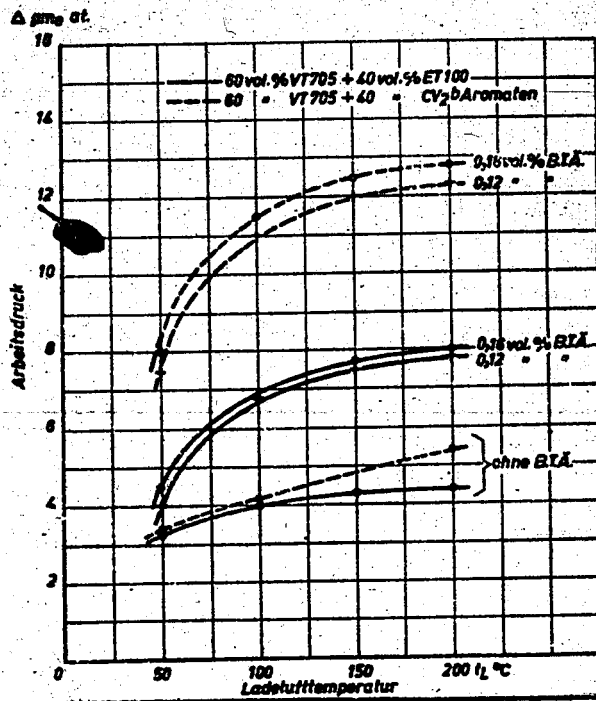
Techn. Prüfstand
Oppau

04699

Blatt 10
C4

Abhängigkeit des Δp_{me} -Druckes von der Überladelufttemp. an der Klopfgrenze

Verdichtungsverhältnis: $\epsilon = 11,8$
Drehzahl: $n = 1600/\text{min.}$
Zündung: $\alpha = 30^\circ \text{ v.o.T.}$
Einspritzbeginn: $\beta = 25^\circ \text{ n.o.T.}$ Saugperiode
Kühlluftdruck: $= 200 \text{ mm WS.}$



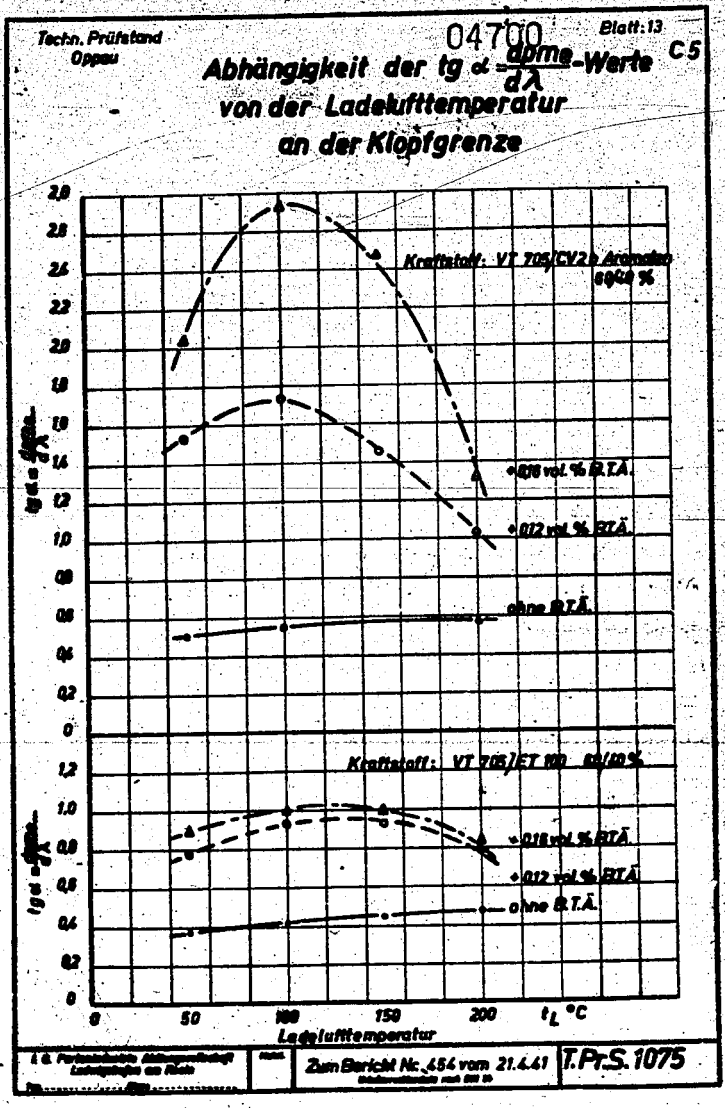
L.B. Forschungs- u. Entwicklungsstelle
Lehrstuhl für Verbrennungsmotoren
Lehrstuhl für Verbrennungsmotoren

Zum Bericht Nr. 454 vom 21.4.41

T.Pr.S.1072

POOR
COPY 19

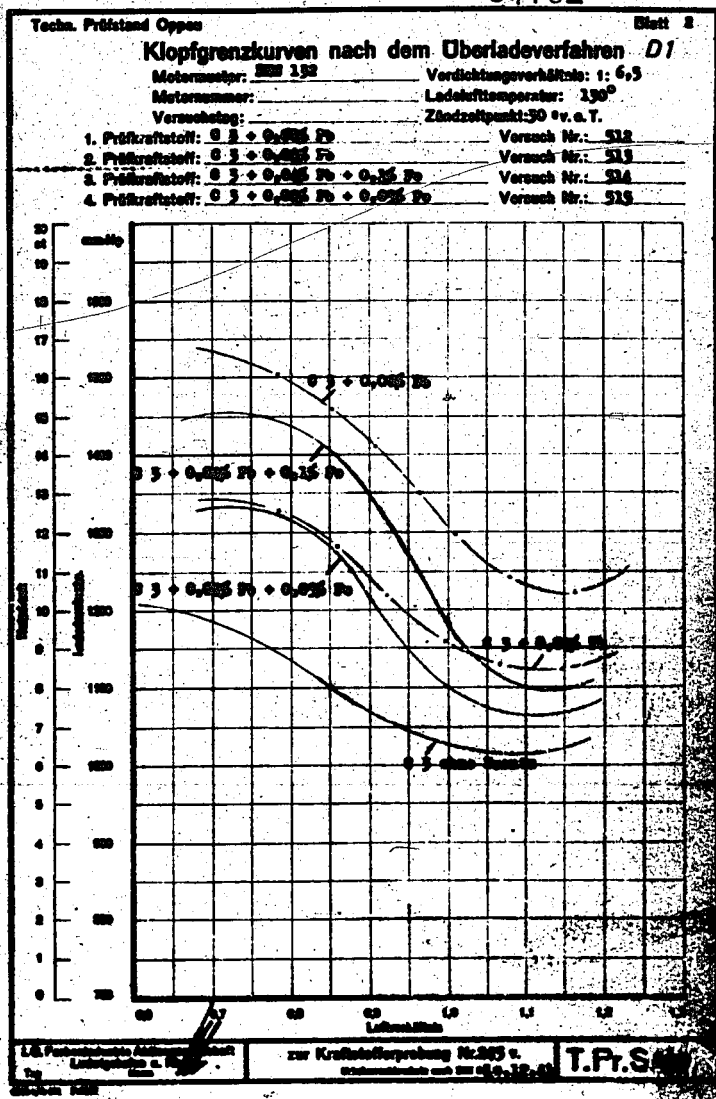
PO
CO



POOR
COPY 19

PO
CO

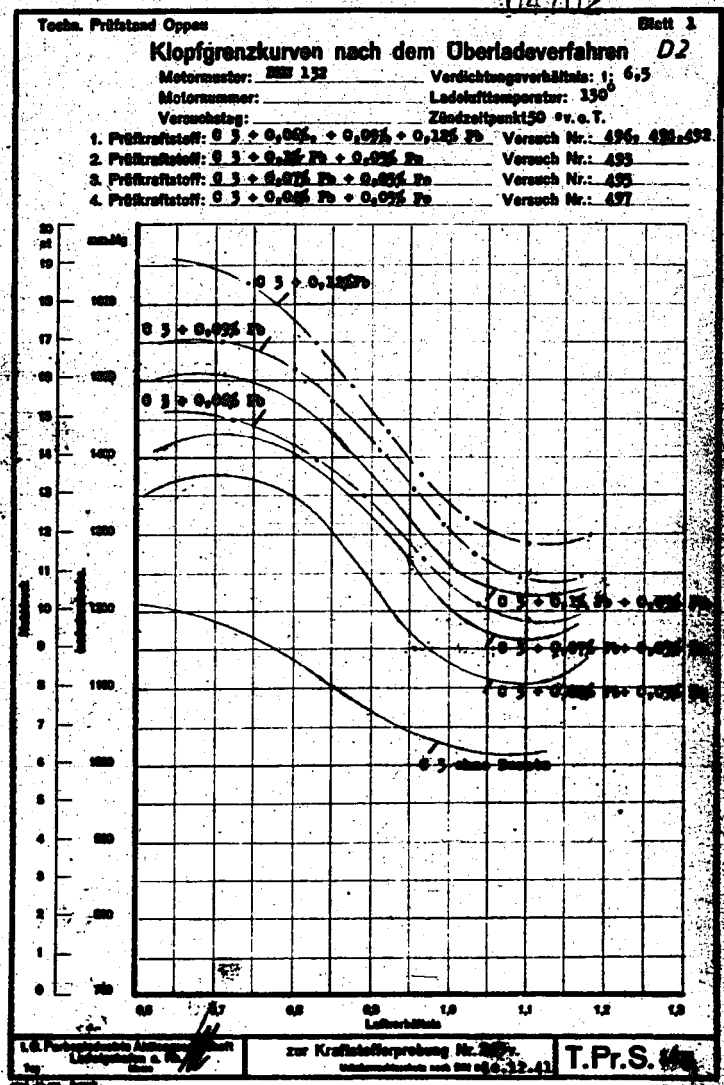
04701



POOR
COPY 19

POOR
COPY

04702



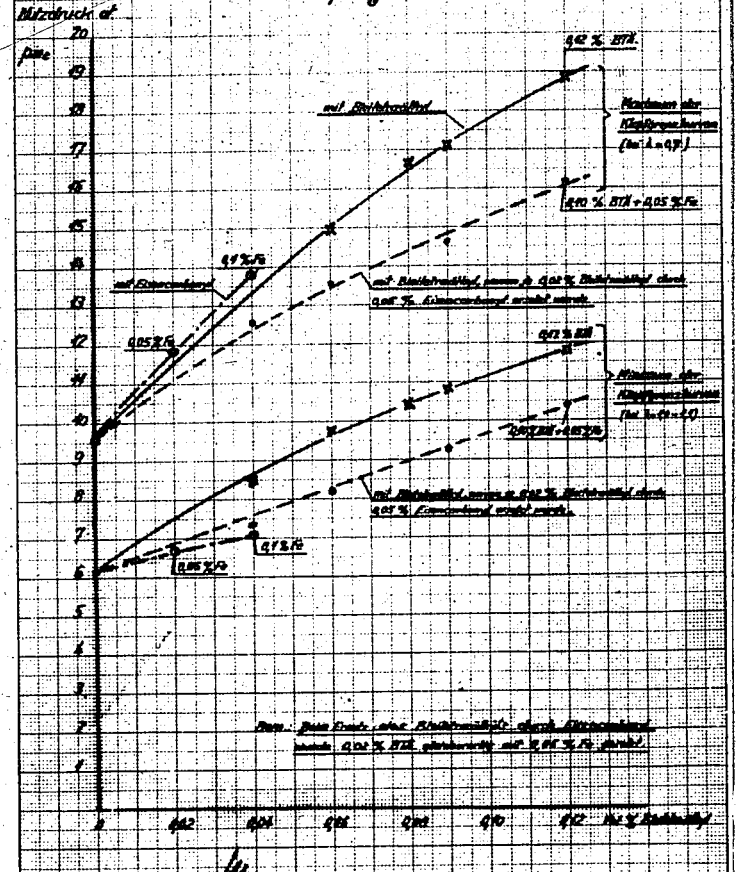
POOR COPY 19

POOR COPY

Techn. Prüfbericht
Opport.

04703 Blatt 4
D3

Einfluss des Bleitetra-Äthyls bzw. Eisencarbonyls auf den Verlauf der Klopfgrenzkurven. Kraftstoff: C3



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rh. Zur Klopftestprüfung Nr. 265 v. 10.12.41 TP: S. 1674.

POOR COPY 19

POOR COPY

04704

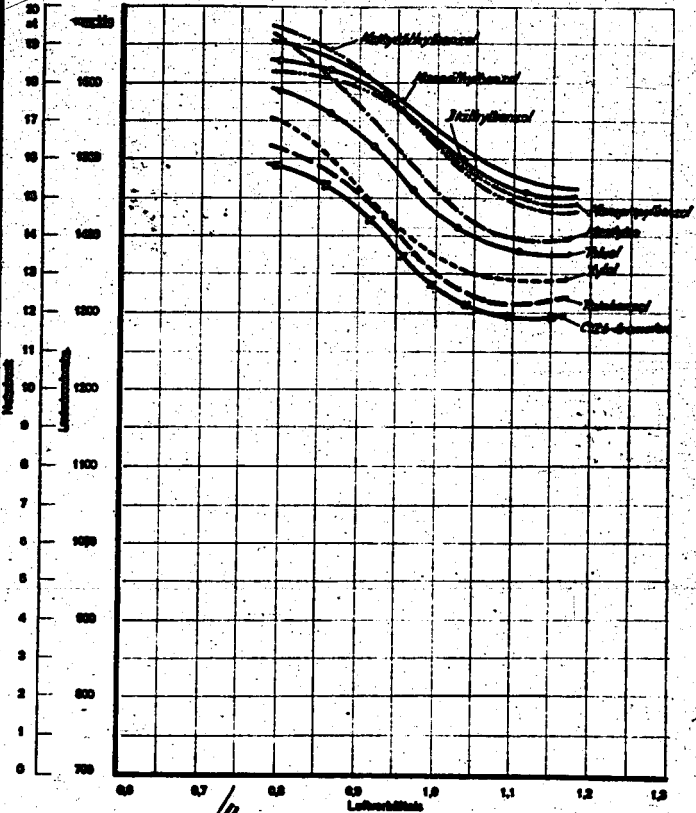
Techn. Prüfstand Oppen

Blatt 19

Klopfgrenzkurven nach dem Überladeverfahren E1

Motorantrieb: BMW 422-Diesel Verdichtungsverhältnis: 1:6,5
Motornummer: _____ Ladeflächtemperatur: 60 °C
Versuchsart: _____ Zündzeitpunkt: 30 ° v. e. T.

- 1. Prüfkraftstoff: Arbeitskraftstoff mit 25,5 Versuch Nr.: _____
- 2. Prüfkraftstoff: Arbeitskraftstoff mit 40,2 bis 42,2 Versuch Nr.: _____
- 3. Prüfkraftstoff: _____ Versuch Nr.: _____
- 4. Prüfkraftstoff: _____ Versuch Nr.: _____



L.B. Prüfstand für Motorprüfungen
 zur Kraftstoffprüfung Nr. 250 v. 1964
 T.Pr.S. 1707

POOR
 COPY 19

POOR
 COPY

04705

Techn. Prüfstand Typen

Blatt 47

Klopfgrenzkurven nach dem Oberladeverfahren E2

Motorbauer: *BMW 32 - Einzel* Verdichtungsverhältnis: 1:65

Motornummer: _____ Ladelufttemperatur: 30°C

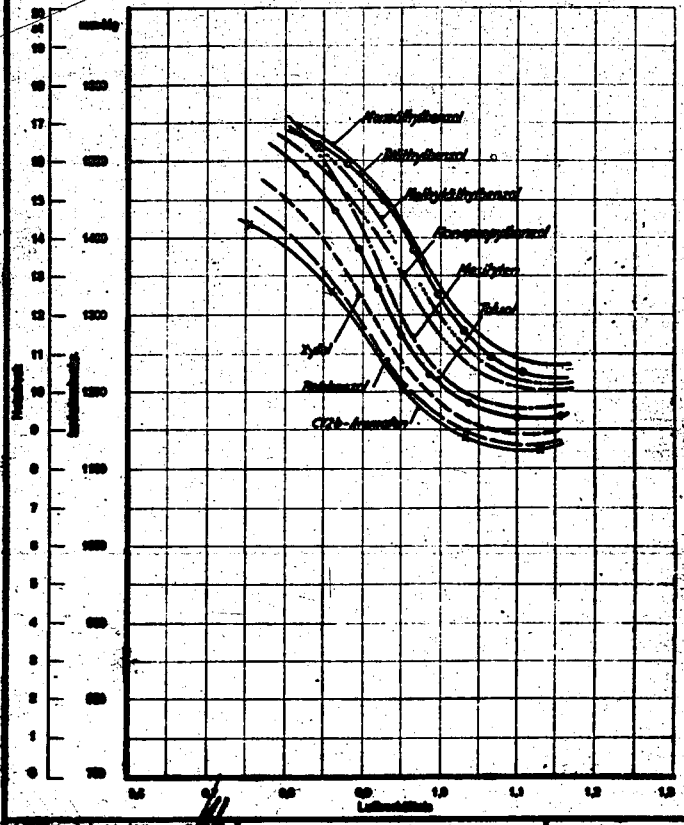
Versuchsstag: _____ Zündzeitpunkt: 30 v. v. T.

1. Prüfkraftstoff: *Aromaten in Mischung mit 75.9* Versuch Nr.: _____

2. Prüfkraftstoff: *St. St. 100 mit 0.2 M. S. B. 71 m. 1. 2.* Versuch Nr.: _____

3. Prüfkraftstoff: _____ Versuch Nr.: _____

4. Prüfkraftstoff: _____ Versuch Nr.: _____

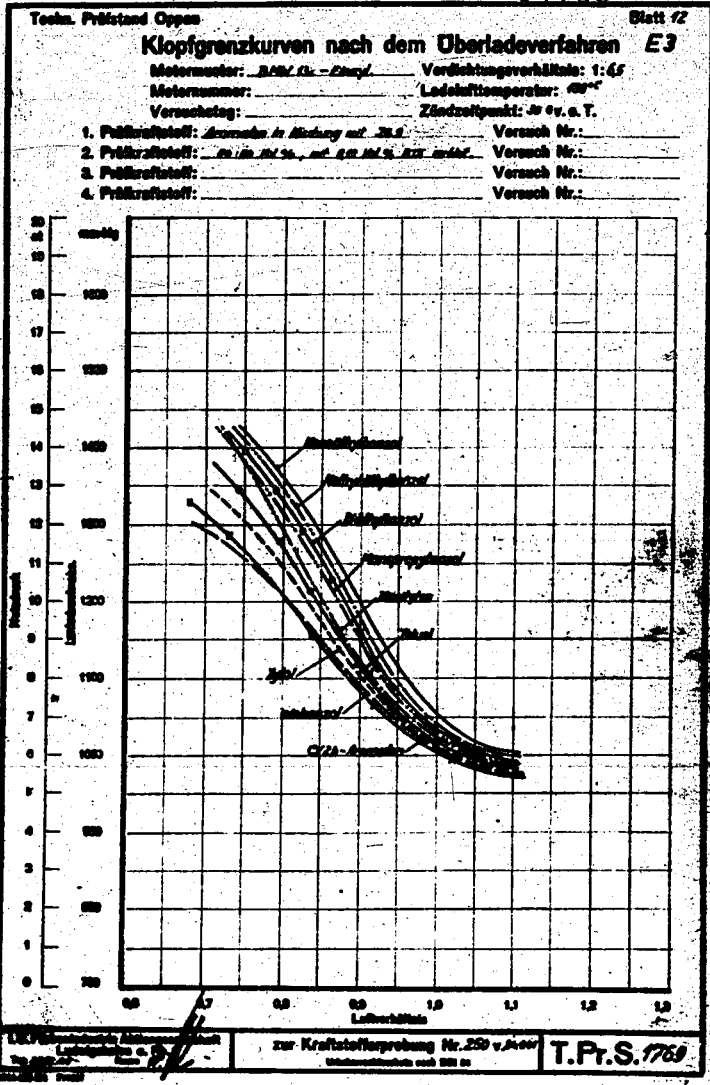


zur Kraftstoffprüfung Nr. 20 v. 1934
T.P.S. 1934

POOR COPY 19

PO CO

04706



POOR COPY 19

PO CO

Techn. Prüfstand
Oppau.

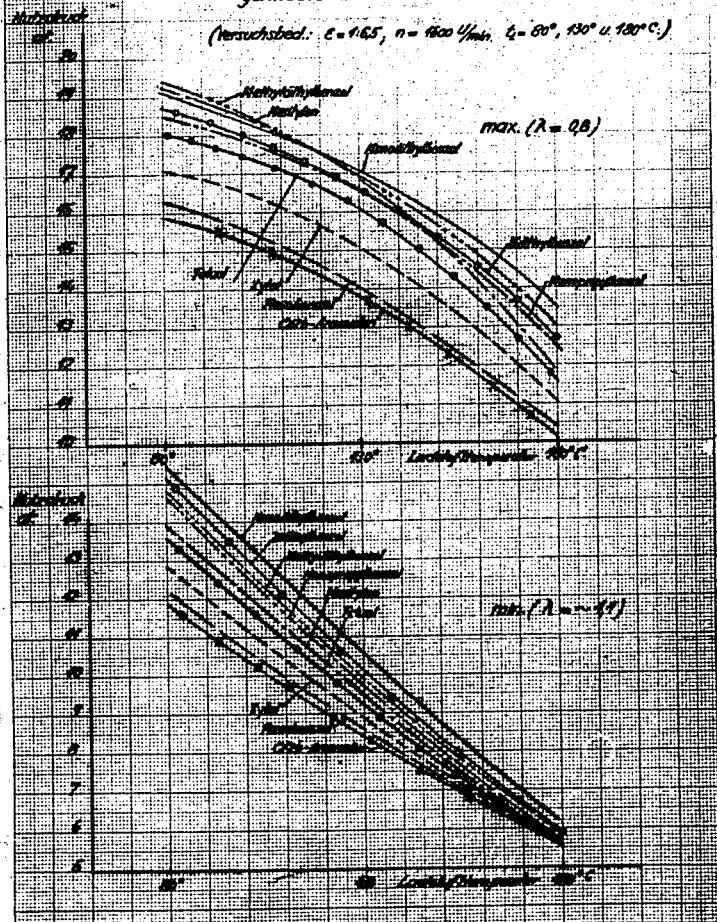
04707

Blatt 14

E 4

Temperaturempfindlichkeit der Aromaten-
gemische am BMW 132 N.

(Versuchsbed.: $\epsilon = 1.65$, $n = 1800 \text{ U/min}$, $t = 80^\circ, 130^\circ \text{ u. } 180^\circ \text{ C.}$)



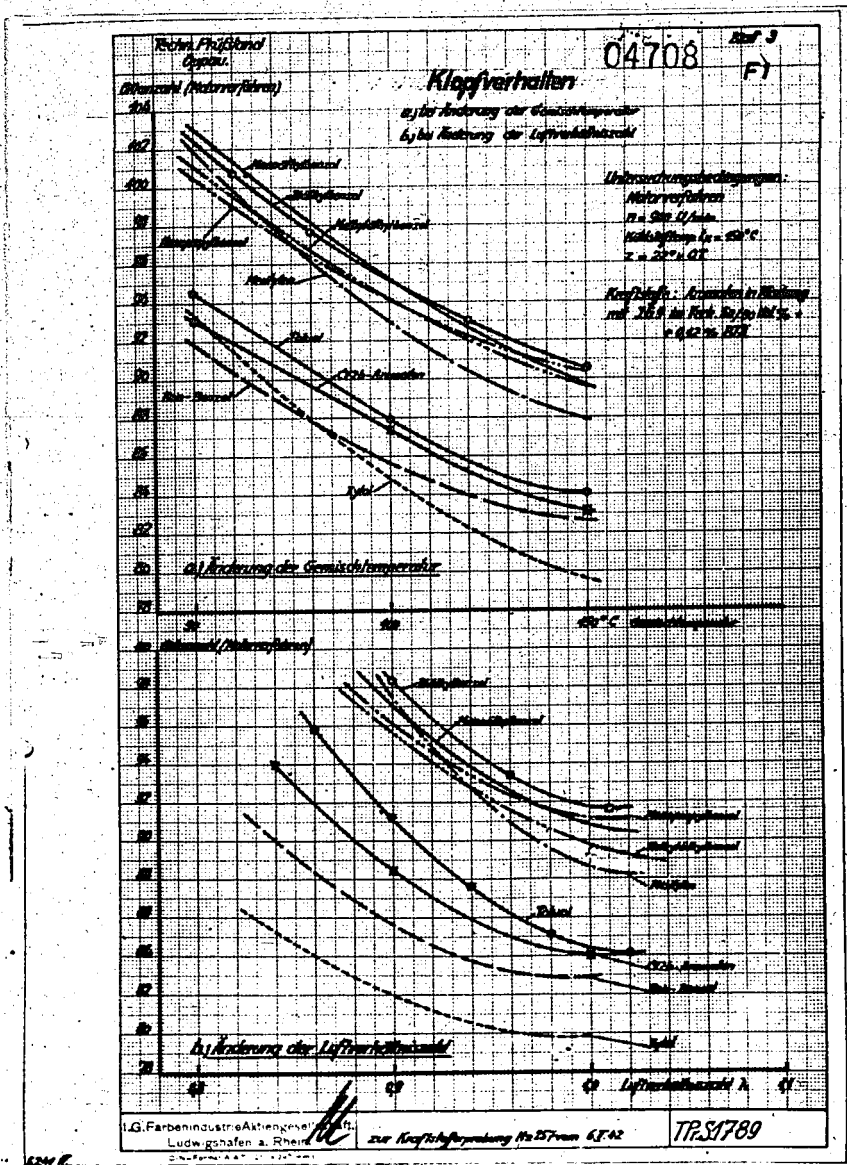
I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rhein.

zur Kraftstoffprüfung Nr. 250

T.P.S. 1771

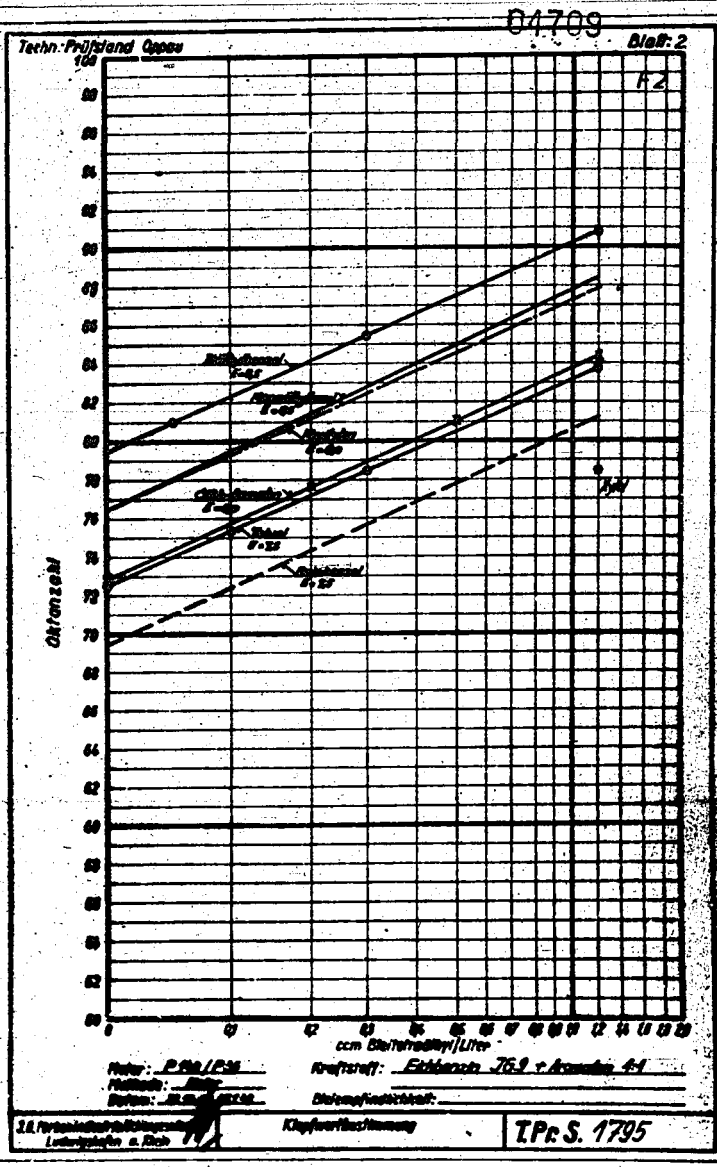
POOR
COPY 19

POOR
COPY



POOR
COPY 19

POOR
COPY



POOR
COPY 19

POOR
COPY

04710

Techn. Prüfstand Oppau

Blatt 1/1

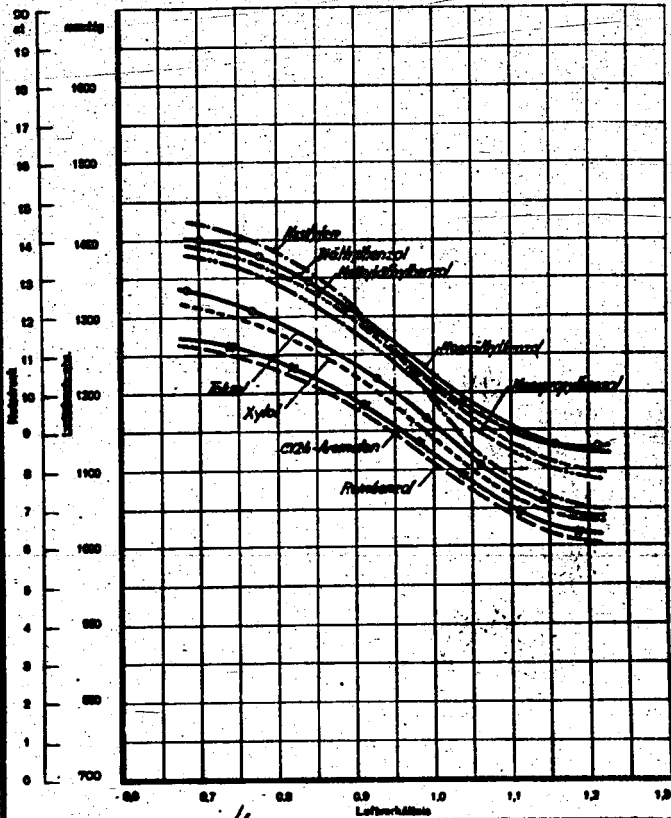
Klopfgrenzkurven nach dem Überladeverfahren G1

Motormuster: ZG. Hochschwabe, A¹ Verdichtungsverhältnis: 1:8

Motornummer: ... Ladelufttemperatur: 60°C

Versuchsstag: ... Zündzeitpunkt: 30° v. o. T.

- 1. Prüfkraftstoff: *Aracoren in Mischung mit Z.S. 2* Versuch Nr.:
- 2. Prüfkraftstoff: *19-10 M % mit 12 M % BZL vermischt* Versuch Nr.:
- 3. Prüfkraftstoff: ... Versuch Nr.:
- 4. Prüfkraftstoff: ... Versuch Nr.:



L. G. Prüfstand Oppau ... zur Kraftstoffprüfung Nr. 250 v. 2000 T.Pr.S. 1770

POOR
COPY 19

PO
CO

04711

Techn. Prüfstand Oppau

Blatt 1

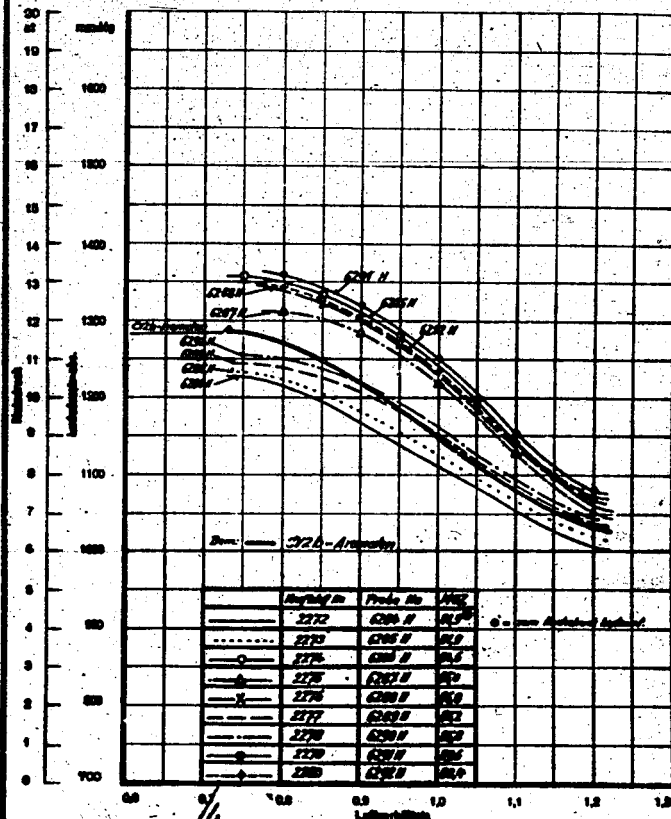
Klopfgrenzkurven nach dem Überladeverfahren G2

Motormuster: *2.G. Ver. Motr. K.* Verdichtungsverhältnis: 1:8

Motornummer: Ladelufttemperatur: $t = 20^{\circ}\text{C}$

Versuchsgeg: Zündzeitpunkt: 60 ev. o. T.

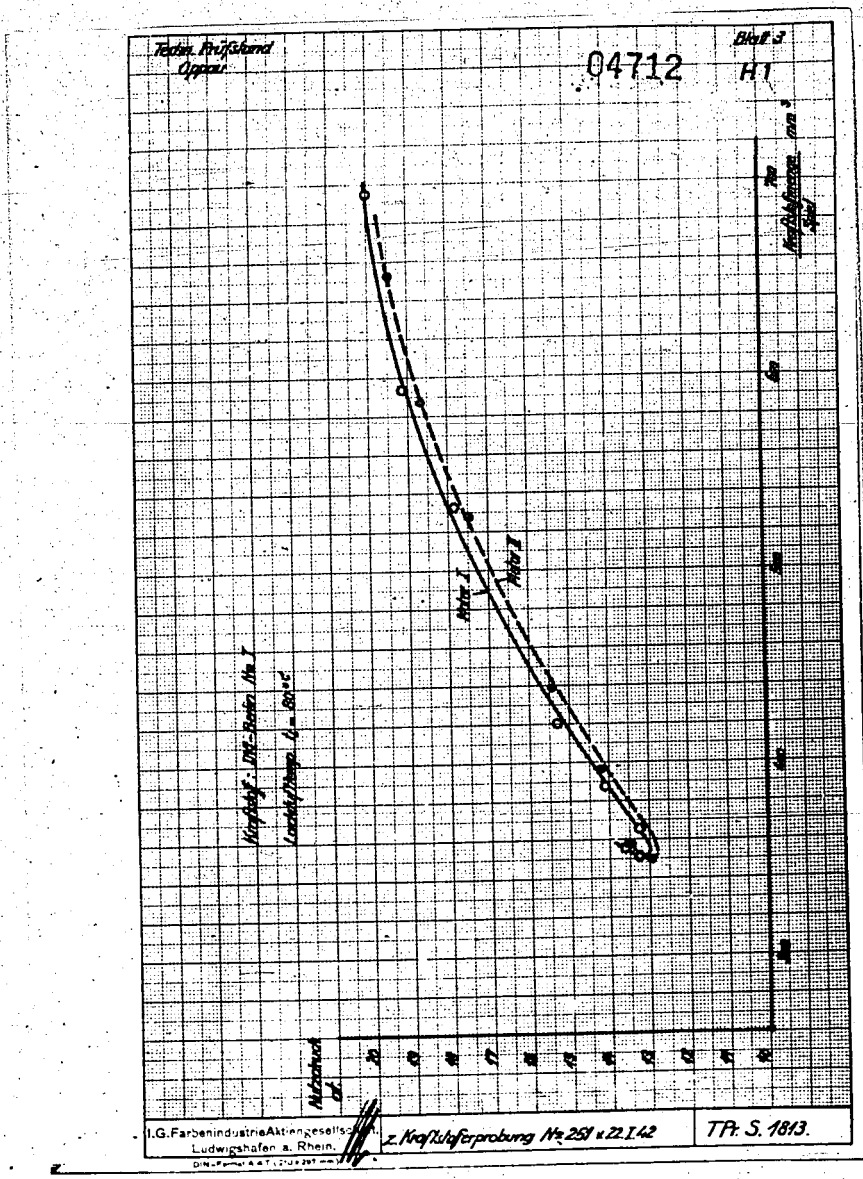
- 1. Prüfkraftstoff: *C12b - Benzol (Prüfkraftstoff G244 - G244.1)* Versuch Nr.: *256 - 26*
- 2. Prüfkraftstoff: *mit 91,1% J.G. 9 + 9,9% M. 2. B.T.* Versuch Nr.:
- 3. Prüfkraftstoff: Versuch Nr.:
- 4. Prüfkraftstoff: Versuch Nr.:



I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
 zur Kraftstoffprüfung Nr. 27 v. 4. E. T.Pr.S. 1381.
 Luftverhältnis

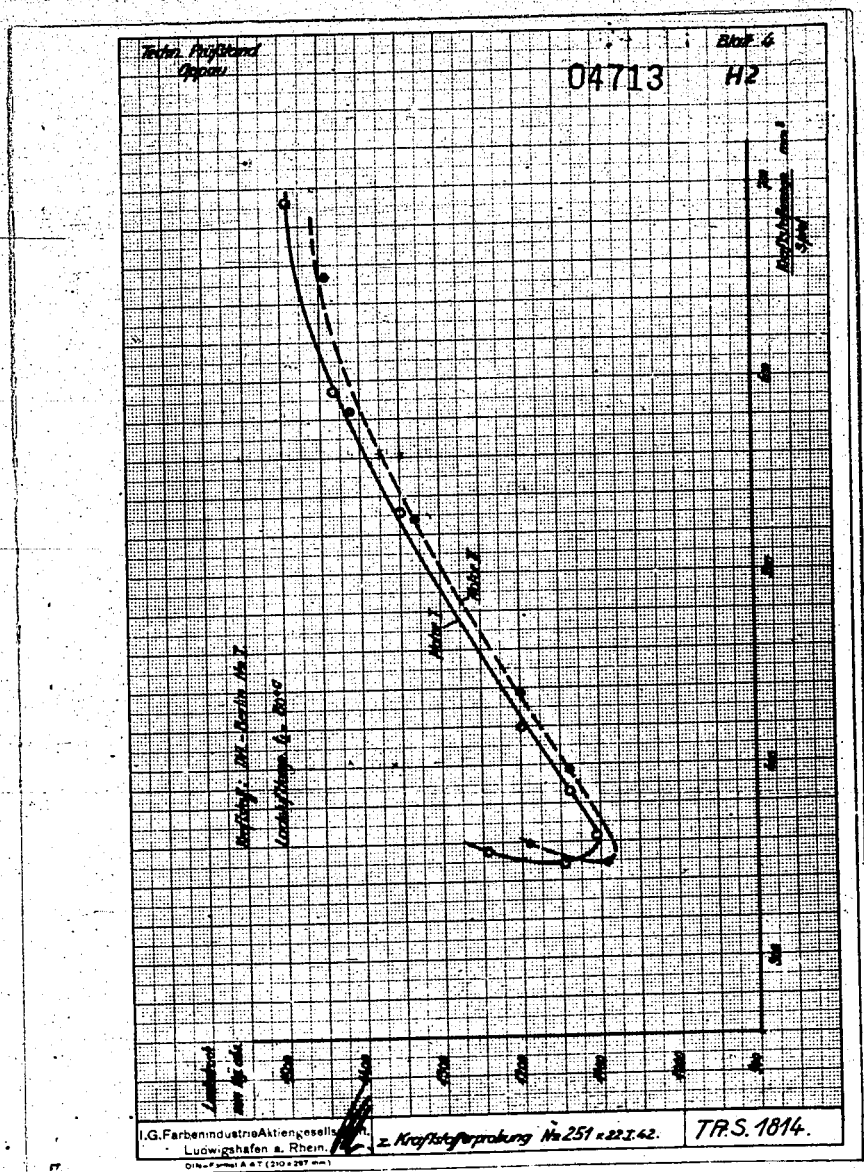
POOR
 COPY 19

PO
 CO



POOR
COPY 19

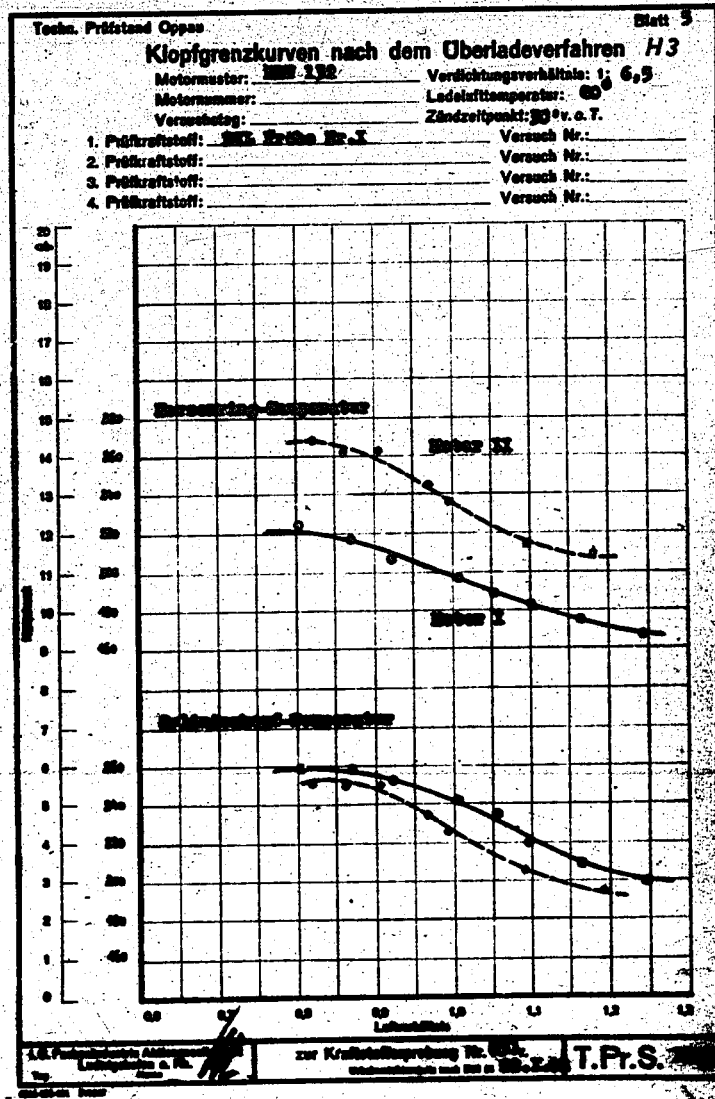
PO
CO



POOR
 COPY 19

POOR
 COPY

04714



POOR
COPY 19

04714-A

UM 1047

(20)

Verteiler:

- 1. Forschungsführung
- 2. ZWB
- 3. WS
- 4/5. DVL - BS
- 6/15. RLM, GL/A-M II B

Nachbestellungen sind zu richten an:

Deutsche Versuchsanstalt
für Luftfahrt, E.V.
Berlin-Adlershof
Brieffach 2

04715

Bestimmung der Inhibitoren "R" und "S" in Schmierölen.

Auftraggeber: IIG, Q1/A-M II B

Vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt:

Abschriften der Analysenvorschrift der I.G. Ammoniakwerk
Hannover G.m.b.H., Analytisches Labor, Nr. 24a, v. 25.12.43
und der E-Stelle Travemünde B 32 vom 9.3.45
Je eine 50 cm³ Probe vom Zusatz "S", Nr. 14517 und Zusatz
"R" Nr. 14516, zugesandt von der E-Stelle Rechlin,
Bing, 22.6.45

Der Analysenvorschlag der I.G. (qualitative Bestimmung) vom
16.12.42 wurde bereits von der E-Stelle Travemünde geprüft, sodass
sich eine weitere Stellungnahme erübrigt. Der Verbesserungsvor-
schlag der E-Stelle Travemünde vom 9.3.45 (qualitative Bestim-
mung) hat Nachteile, wie das unangenehme Arbeiten mit einer
KCN-Schmelze. Ein Heranziehen der in den obengenannten Berichten
verwendeten Farbreaktionen mit Toluol-3,4-dithiol und Kakothelin
(Nitroverb. des Brucins) für eine quantitative kolorimetrische
Bestimmung erscheint schon wegen des dazu benötigten Kolorime-
ters und der leichten Oxydierbarkeit des Sn(II) nicht zweckmäßig.
Ein quantitativer Nachweis einer bestimmten Phenolgruppe in vor-
liegender Verdünnung im Öl dürfte hier überhaupt nicht in Frage
kommen und da das Zinn als Hauptträger einer (inhibierenden) Wir-
kung anzunehmen ist - die Angabe der Konstitution des Inhibitors
wäre diesbezüglich allerdings erwünscht - bleibt eine Zinnbe-
stimmung auch am sinnvollsten. Die im oben genannten I.G. Bericht
angegebenen Zinngehalte der Inhibitoren (etwa 10%) konnten nicht
gefunden werden, sondern waren bei den der DVL zur Verfügung ge-
stellten wesentlich geringer und unterschiedlich.

Im folgenden wird ein Verfahren angegeben, welches mit ein-
fachen Mitteln den Zinngehalt eines Öles zu bestimmen gestattet.

Die Methode wurde an einem aus dem Jahre 1939 stammenden
Rotringöl, welches mit den Inhibitoren versetzt wurde, geprüft.

Da die Möglichkeit besteht, daß die Zinngehalte der Inhi-
bitoren Schwankungen unterworfen sind, müßte die Zusatzmenge des
Inhibitors auf Zinn bezogen werden.

Quantitative Bestimmung der einwertigen Zinn-
"B" und "C" in Schmierölen.

1. Grundsätzliches.

Zersetzen des organischen Zinnsalzes durch Kochen des Öles mit wässriger Salzsäure, Reduktion der erhaltenen Zinnlösung mit Aluminium und Bestimmung des Zinn(II)-Salzes mittels gestellter Eisenchloridlösung und Indigoearmin als Indikator¹⁾.

2. Durchführung der Analyse.

Gerät: Jenaer 500 cm³ Erlenmeyerkolben mit Normalschliff (29,2/42) und Rückflußkühler; 150 cm³ Erlenmeyerkolben mit Normalschliff (18,8/38) und seitlich angeschmolzenem Rohr (s. Abb.); Steigrohr mit Normalschliff (18,8/38); Mikrobürette (2 cm³).

Benötigte Ölmenge: 100g

Dauer : etwa 1 1/2 Std.

Arbeitszeit : max. 1/2 Std.

100g Öl wird im 500 cm³ Erlenmeyerkolben mit 50 cm³ Xylol verdünnt und nach Zugabe von 40 cm³ 25%iger Salzsäure ($D_{20} \sim 1,125$) eine Stunde am Rückflußkühler kräftig gekocht. Zur Herabsetzung des Siedeverzuges (Stoßen) werden Glaskugeln zugefügt. Der wässrige Anteil wird noch warm im Scheidetrichter vom Öl getrennt und in einen Erlenmeyerkolben mit Rohransatz (s. Abb.) abgelassen, wobei zum Ausspülen von Siedekolben und Scheidetrichter insgesamt 10 cm³ HCl (25%ig) verwendet werden. An den seitlichen Rohransatz wird ein schwacher Kohlensäurestrom angeschlossen und nach Zufügen von 0,5g zerschnittenem Aluminiumdraht (25 cm eines 1 mm starken Drahtes in etwa 10 St. geteilt) d. Kolben mit dem Steigrohr versehen. Der Kolben steht anfangs zweckmäßig in einem kalten Wasserbad, um eine zu kräftige Reaktion zu vermeiden. Nach vollständigen Auflösen des Aluminiums (der Kolben ist bis dahin einige Mal leicht zu schwenken) wird abgekühlt - wobei die Kohlen-

¹⁾ Benutzt wurden die Angaben von:
Meister in "Lehrb. d. Anal. Chemie" von Treadwell II Bd. 8. 605, (1935)
W. Schlüttig Z. f. anal. Chemie 70, 55 (1927)

säurezufuhr zur Vermeidung von Luftzutritt erhöht wird - und mit drei Tropfen einer zehntelprozentigen Indigocarminlösung versetzt. Aus einer Mikroburette wird nun mit n/100 FeCl₃-Lösung von gelb auf blau unter jetzt wieder schwächeren Kohlensäurestrom titriert. Man titriert auf einen blauen Farbton, der eine Minute unverändert bestehen bleibt.

Da die Kohlensäure aus Stahlflaschen nicht sauerstofffrei ist, vermeidet man ein Durchperlen des Gases durch die Flüssigkeit und einen zu starken Kohlensäurestrom.

Je nach der verwendeten Aluminiumsorte zeigt diese ebenfalls einen Verbrauch an Titerlösung. Es wird deshalb ein Blindversuch durchgeführt, in dem 0,5g Aluminiumdraht in 50 cm³ HCl (25%ig) unter den angegebenen Bedingungen aufgelöst und titriert wird.

Berechnung:

Verbrauch: a cm³ n/100 FeCl₃-Lsg.
 Blindversuch: b cm³ n/100 FeCl₃-Lsg.
 Gesucht: x g/100g Sn
 1 cm³ n/100 FeCl₃ entsprechen: 0,0005935 g Sn

Daraus folgt:

$$x = 0,0005935 \cdot (a-b) \text{ g/100g Sn (Gew.}\%)$$

Benötigte besondere Reagentien:

n/100 FeCl₃-Lösung: 0,7984g Fe₂O₃ (Urtitersubstanz) in 10 cm³ 20%iger HCl (D₂₀ ~ 1,10) gelöst, mit 20%iger HCl in den Meßkolben gespült und auf 1 Ltr. aufgefüllt.

0,1%ige Indigocarminlösung: 0,1g Indigocarmin in 100 cm³ Wasser lösen. In eine Tropfflasche füllen.

Gerät:



Steigrohr, Länge 250 mm, innerer Durchmesser etwa 5 mm
 Normalschliff 18,8/38

Rohransatz für CO₂-Einleitung (innerer Durchmesser etwa 5 mm)

Flüssigkeitsspiegel (50 cm³)

150 cm³ Erlenmeyerkolben mit Normalschliff und Rohransatz

Belegzahlen:

Öl	Inhibitor zugefügt Gew.%	Zinn gefunden Gew.%	Anmerkung
Rotring	0,02000 "R"	0,00111	+) 3 ^h gekocht
		0,00112	
		0,00111	
	0,01000 "R"	0,00056	
		0,00057	
0,02000 "S"	0,00055 ₅	+) 3 ^h gekocht	
	0,00055 ₅		
0,01000 "S"	0,00027		
	0,00027 ₅		
	0	0,00000	

Der Blindwert des verwendeten Aluminiums (b) betrug: 0,15 cm³ n/100 FeCl₃-Lösung.

+) Die mit Salzsäure behandelten inhibierten Öle ergaben nach abermaligen einstündigen Kochen mit 25%iger HCl einen Zinn-Restgehalt von nicht ganz 0,00002 Gew.% Sn (etwa 1 Tropfen n/100 FeCl₃-Lösung).

Die Bestimmung kann - allerdings mit geringer Genauigkeit - ohne Kohlensäureflasche und Spezial-Brienmeyerkolben durch Entwicklung der Kohlensäure bei Zugabe von einigen Marmorstücken vor Beendigung der Reduktion durchgeführt werden.

04719

Von den Zusätzen wurde einmal vergleichsweise der Zinngehalt nach folgender Methode bestimmt^{*)}: 1/2 bzw. 3g der Zusätze "H" und "S" wurden mit etwa der 251gfachen (Gew.) Menge rauchender Salpetersäure (D₂₀ 1,52) 3 Stunden an Rückflusskühler gekocht, wobei die Salpetersäure in drei Portionen zugesetzt wurde. Nach Eindampfen auf etwa 5 cm³ am Sandbad wurde mit 200 cm³ Wasser versetzt, mit 25%igem Ammoniak (etwa 25 cm³) neutralisiert, schwach angesäuert und etwa 1/4 Stunde gekocht. Nach Abkühlen lassen, Filtrieren, waschen (5%ige Ammoniumnitratlösung) wurde bis zur Gewichtskonstanz geglüht. (Das Filtrat von "S" wurde noch mit H₂S auf Sn geprüft. Befund negativ.)

Demnach enthalten die Zusätze:


"H": 5,63 Gew.% Sn, gegenüber 5,58 Gew.% berechnet aus der Bestimmung im Öl nach der DVL-Methode
"S": 2,90 Gew.% Sn, gegenüber 2,78 Gew.% berechnet aus der Bestimmung im Öl nach der DVL-Methode.

^{*)} Die Methode gibt bei Gegenwart fremder Metalle zu hohe Werte durch Verunreinigung des SnO₂ durch fremde Oxyde. (Der geglühte SnO₂-Nd. vom Zusatz "S" war bräunlich gefärbt.)

Berlin-Adlershof, den 3. August 1943

Institut für Betriebsstoffforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.

Der Bearbeiter:


I. Morghen

Der Bericht umfaßt:

5 Seiten (I, 1-4)

BS 10/389

UM 1047 (15) 0408. 7. 8. 43

REA

Ein
nungar
schen
man d
kompr
ten G
durch
brannt
plötzlich
wobei
Druck
wellen
Beansp
zeitig
kann n
nung i
lichen
Es
Kompri
Kolber
hat da
wände
Ladun
vor de
von ei
so hoch
ohne 2
läuft
als Fu
Motor
tane U
gezünd
wirkt
ist; da
der U
zündun
dem U
nicht
Störme

21

REAKTIONSKINETISCHE BETRACHTUNGEN ZUM KLOPFVORGANG IM MOTOR.

Von W. Jost und L. von Mülling.

Eine Analyse des Klopfvorganges im Verbrennungsmotor führt zu interessanten reaktionskinetischen Fragestellungen. Unter Klopfen versteht man die Erscheinung, daß in dem im Zylinder komprimierten und durch einen Funken gezündeten Gemisch vor der vollständigen Umsetzung durch die fortschreitende Flamme im noch unverbrannten Anteil durch spontane Reaktionen eine plötzliche sehr heftige Umsetzung eingeleitet wird, wobei durch steilen, lokalen Temperatur- und Druckanstieg und gleichzeitig auftretende Stoßwellen übermäßige thermische und mechanische Beanspruchungen hervorgerufen werden und gleichzeitig die Leistung vermindert wird. Schematisch kann man sich die Erscheinungen bei der Verbrennung im Otto-Motor folgendermaßen veranschaulichen (Fig. 1).

Es wird angenommen, daß nach Ansaugen und Komprimieren des Brennstoff-Luft-Gemisches der Kolben festgehalten werde; in diesem Augenblick hat das Gemisch, das von den heißen Zylinderwänden und durch Vermischen mit einem Rest der Ladung vom vorangehenden Arbeitstakt her schon vor der Kompression vorgewärmt war, eine Temp. von einigen 100° C erreicht. Diese Temperatur ist so hoch, daß bei den allermeisten Treibstoffen auch ohne Zündung bereits eine spontane Reaktion abläuft (Fig. 1a); der hierdurch bewirkte Umsatz ist als Funktion der Zeit aufgetragen. Im wirklichen Motorbetrieb hat man aber, noch ehe dieser spontane Umsatz merkbar wird, durch einen Funken gezündet; die hiervon ausgehende Flamme bewirkt einen Umsatz, der in Fig. 1b eingezeichnet ist; daneben ist in dieser Figur gestrichelt auch der Umsatz eingezeichnet, wie er ohne Fremdzündung ablaufen würde; letzterer kommt neben dem Umsatz durch die fortschreitende Flamme nicht in Betracht. Es liegt aber nahe, folgende Stärmöglichkeiten anzunehmen: 1. Der spontane

Umsatz kann schon merklich werden, ehe der Umsatz durch die fortschreitende Flamme einsetzt (Fig. 1c), oder 2. Zunächst läuft zwar die Verbrennung im Anschluß an die Fremdzündung normal, nach einiger Zeit wird sie aber von der im Un-

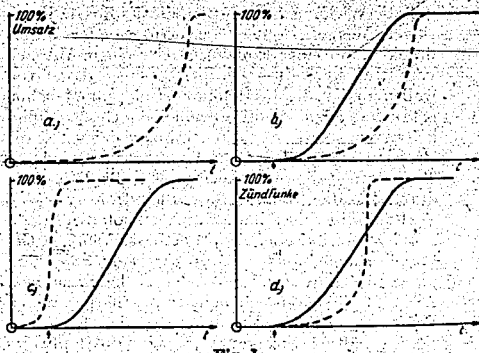


Fig. 1.

verbrannten von selbst ablaufenden Reaktion, die in ihrem letzten Stadium mit außerordentlich gesteigerter Geschwindigkeit verläuft, überholt; das ist nun gerade das Bild, das man im Motor beim Klopfen beobachtet.

Diese Darstellung läßt auch von Anfang an verstehen, warum Erhöhung der Kompression das Klopfen befördern muß. Weiter sieht man daraus, von welcher Seite her eine exakte theoretische Behandlung des Klopfvorganges auszugehen hätte: Man müßte zunächst die in dem komprimierten Gemisch erreichten Drücke und Temperaturen ermitteln, wobei Druck und Temperatur in dem restlichen unverbrannten Teil des komprimierten Gemisches für jeden Zeitpunkt anzugeben wären

05740

04721

unter Berücksichtigung einerseits des Wärmeaustausches mit der Zylinderwandung, andererseits der zunehmenden Kompression infolge der Expansion des verbrennenden Teils der Ladung. Eine exakte theoretische Erfassung der Temperatur ist kaum möglich, da man den Einfluß der Konvektion und Wirbelung bei der Abkühlung sowie die Wirkung der verschieden heißen Teile des Verbrennungsraumes wohl höchstens empirisch annähernd wird bestimmen können, was dann für jeden einzelnen Motortyp besonders zu geschehen hätte.

Nehmen wir einmal an, dies alles wäre bekannt, dann könnte man die zum Klopfen führenden Reaktionen erfassen (falls man zunächst einmal von einer evtl. Mitwirkung von Stoßwellen, absieht, die als Folge der Flamme selbst entstehen), wenn man die betreffenden Reaktionsgeschwindigkeiten in dem in Frage kommenden Temperatur- und Druckgebiet angeben könnte. Aber gerade diese Angaben fehlen, denn es handelt sich ja um ganz extreme Temperaturen und Drücke, bei denen keine Reaktionsgeschwindigkeiten gemessen sind¹⁾. Wir können vorläufig also nur das Umgekehrte tun; aus früher mitgeteilten Versuchen und Überlegungen ist bekannt²⁾, daß die zum Klopfen führenden Reaktionen sicherlich Kettenreaktionen sind und daß die Wirkung von Stoffen, die als Zusatz in geringer Menge Klopfen hervorrufen oder unterdrücken, auf einer Einleitung oder einem Abbruch von Reaktionsketten beruht. Was wir daher tun wollen und z. T. bei früherer Gelegenheit schon getan haben³⁾, ist, die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten von Kettenreaktionen anzuwenden auf die Beobachtungen über das Klopfen verschiedener Treibstoffe im Motor, sowie dessen Beeinflussung durch Zusätze, insbesondere Bleitetraäthyl.

Da wir im folgenden weitgehend von den Ergebnissen technischer Klopfwertbestimmungen Gebrauch machen müssen, so ist es zweckmäßig, kurz die dafür verwandten Methoden zu kennzeichnen. Allen Methoden ist gemeinsam, daß man einen Prüfmotor benutzt, in dem man das Kompressionsverhältnis variiert und bei der Klopfwertbestimmung so weit erhöhen kann, bis Klopfen einsetzt. Die einzelnen Methoden unterscheiden sich in der Art des verwandten Motors und der eingehaltenen Betriebsbedingungen, sowie in der Skala, in der man die Klopfwerte angibt, Ricardo benutzte als Maß das höchste nutzbare Kompressionsverhältnis (in der engl. Literatur H.U.C.R. = Highest Useful Compression Ratio), das bei gegebenen Motor- und Arbeitsbedingungen mit dem

zu untersuchenden Treibstoff noch angewandt werden kann. Dieses kritische Kompressionsverhältnis als Maß hat den Vorteil, daß damit definierte Aussagen über den physikalischen Zustand, vor allem Druck und Temperatur verbunden sind; praktisch ist es aber wenig brauchbar, da es ja nur auf ganz speziell vorgegebene Versuchsbedingungen bezogen ist. Man ist daher in der Praxis dazu übergegangen, in einem standardisierten Prüfmotor unter festgelegten Betriebsbedingungen das Klopfverhalten eines Kraftstoffes zu vergleichen mit dem von Gemischen zweier Standardstoffe (n-Heptan und i-Octan), von denen der eine sehr wenig, der andere hochklopfest ist, so daß die daraus gebildete Skala für alle bisher im praktischen Betrieb in Frage kommenden Treibstoffe ausreicht. Die auf diese Weise erhaltenen Daten über das Klopfverhalten der Treibstoffe werden als Octanzahlen angegeben; dabei ist als Octanzahl eines Kraftstoffes der Prozentgehalt an i-Octan desjenigen n-Heptan-i-Octan-Gemisches definiert, das das gleiche Klopfverhalten wie der untersuchte Treibstoff aufweist. Diese sogenannte CFR- (= Cooperative Fuel Research Committee) Methode existiert in 2 Modifikationen, der ursprünglichen „Research“-Methode und der später abgeänderten „Motor“-Methode, die so abgeändert wurde, daß die damit erhaltenen Resultate sich besser den im praktischen Betrieb erhaltenen anpassen⁴⁾. Da in der Literatur nach verschiedenen Methoden erhaltene Zahlenwerte veröffentlicht sind, ist es nötig, auf diese Unterschiede hinzuweisen. Ist ein Stoff auf seine Klopfbarkeit nicht in reiner Form, sondern in Mischung (am besten mit n-Heptan oder auch mit einem sonstigen wenig klopfesten Grundstoff) untersucht worden, so kann man hieraus eine Mischoctanzahl für den betreffenden Stoff berechnen, sofern die Octanzahl des Grundstoffes bekannt ist und man die der Mischung bestimmt hat; die Mischoctanzahl ist diejenige Octanzahl, die man dem reinen Stoff zuschreiben muß, wenn man damit nach der Mischungsregel die Octanzahl des Gemisches richtig berechnen will; sie stimmt im allgemeinen nicht mit der Octanzahl des reinen Stoffes überein.

Statt den Klopfwert eines Gemisches in Octanzahlen anzugeben, kann man ihn auch vergleichen mit dem zur gleichen Änderung des Klopfverhaltens des Grundstoffes notwendigen Anilinzusatz; man kommt so zu dem „Anilinäquivalent“ eines Kraftstoffes. Falls der Kraftstoff die Klopfbarkeit des Grundstoffes nicht erhöht, sondern erniedrigt, so muß man die zur Kompensation dieser Erniedrigung nötige Menge Anilin bestimmen, kommt somit zu einem negativen Anilinäquivalent des Kraftstoffes. Das Anilinäquivalent ist die Anzahl hundertstel Gramm Anilin, die pro Liter zugefügt werden müssen.

¹⁾ In Einzelfällen, z. B. bei n-Heptan, kann man aus den von Tizard und Pys [Philos. Magazine 44, 79 (1922)] durch adiabatische Kompression bestimmten Zündtemperaturen bei verschiedenen Induktionszeiten einige Schlüsse ziehen.
²⁾ Vgl. W. Jost, Ztschr. Elektrochem. 41, 183 (1935). W. Jost, L. v. Müffling und W. Rohrmann, Ztschr. Elektrochem. 42, 488 (1936).

⁴⁾ Es gibt noch weitere Modifikationen der CFR-Methode, vgl. etwa W. Gießmann, Ztschr. Ver. Dtsch. Ing. 80, 833 (1936).

Da nicht von sämtlichen Kraftstoffen Angaben im gleichen Maßstab vorliegen, so ist es unabdingbar, falls man ein größeres Untersuchungsmaterial heranziehen will, die Bezugswerte verschiedener Art zu verwenden. Als Anhalt für die Beziehung zwischen H.U.C.R. und Octanzahl mögen die von Lovell, Campbell u. Boyd bestimmten H.U.C.R. verschiedener n-Heptan-1-Octan-Mischungen dienen (Fig. 2). Im tatsächlichen Motorbetrieb kann man beim gleichen Kraftstoff etwas höhere Kompressionsverhältnisse erreichen als unter den Bedingungen der CFR-Methode, großordnungsmäßig etwa um eine Einheit.

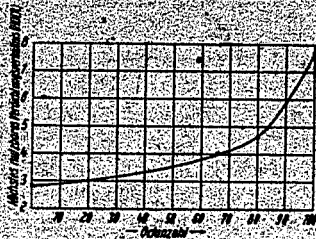


Fig. 2

Wir stellen in den folgenden Tabellen 1 und 2 und Fig. 3 bis 5 das Material über Klopfwerte zusammen, das wir zu den unten folgenden Überlegungen benutzen werden.

Über die Eigenschaften und absoluten Klopfwerte der einzelnen Verbindungen wird man erst dann nähere Aussagen machen können, wenn der Ablauf der Oxydationsreaktion und besonders der zum Klopfen führenden ständigen Vorreaktion in allen Einzelheiten und mit Geschwindigkeitskonstanten bekannt ist. Systematische Untersuchungen sind bisher hauptsächlich in der Gruppe der Paraffine angestellt; bekanntlich nimmt mit zunehmendem Grade der Verzweigung die Klopfneigung, natürlich infolge Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit, ab. Pope, Dykstra und Edgär stellten fest, daß bei verzweigten Paraffinen die Reaktion nach Abbau der längsten geraden Seitenkette ungefähr zum Stillstand kommt. Da als primäre Reaktionsprodukte bei der Oxydation der Kohlenwasserstoffe Aldehyde auftreten, die außerordentlich leicht weiterreagieren unter Abbau zu niederen Aldehyden, was bei gestreckten Kohlenwasserstoffen nach einmal erfolgtem Reaktionsbeginn zum Abbau des gesamten Moleküls führt, hatten die Verfasser bei anderer Gelegenheit (l. c.) früher die Ansicht ausgesprochen, daß die Reaktionsträgheit der verzweigten Verbindungen darauf beruht, daß an dem tertiären C-Atom, an dem die Seitenkette sitzt, die Oxydation zur Bildung von Keton statt Aldehyd führt; die Ketone sind sehr beständig gegen weitere Oxydation, und die Annahme ihrer Bildung könnte die hohe Beständigkeit der ver-

Tabelle 1
Kritisches Kompressionsverhältnis und seine Erhöhung durch Zusatz von Pb(C₂H₅)₂ (1 mm³/Gal.) [Nach Campbell, Signalgo, Lovell und Boyd, Ind. Eng. Chem. 46, 476 (1934); Ind. Eng. Chem. 46, 1105 (1934)]

Verbindung	Krit. Komp.-Verh.	Erhöhung des krit. K.-V. durch Zusatz von 1 cm ³ P.B.L. pro Gallon
Aliphaten (einschl. ungesättigte)		
1-Pentan	5,8	0,50
1-Pentan	5,8	0,50
2-Pentan	7,0	0,50
2-Methylbutan	5,7	0,50
2-Methylbutan(-2)	7,0	0,70
n-Hexan	5,3	0,20
2,4-Hexadien	6,6	0,10
1,5-Hexadien	4,8	0,25
Dimethylbutadien	8,6	0,10
n-Heptan	2,8	0,20
1-Heptan	3,7	0,25
2-Heptan	4,9	0,80
1-Heptin	4,9	0,33
2-Heptin	3,4	0,10
3-Äthylpentan	3,9	0,20
3-Äthylpentan(-2)	6,6	0,50
2,4-Dimethylpentan	5,0	0,50
2,4-Dimethylpentan(-2)	5,5	0,70
2-Methylhexan(-5)	4,7	0,25
3-Methylhexan(-6)	5,0	0,20
2,2,4-Trimethylpentan	7,7	2,10
1-Octan	3,4	0,15
2-Octan	4,0	0,10
2,2,4-Trimethylpentan(-3)	10,0	0,35
2,2,4-Trimethylpentan(-4)	11,3	0,25
2,7-Dimethyloctan	3,3	0,20
3,4-Diäthylhexan	3,9	0,30
Naphthene		
Cyclopentan	10,8	2,70
Cyclopentan	7,9	0,20
Cyclopentadien	10,9	0,50
Dicyclopentadien	11,0	0,50
Dimethylfulven	9,2	0,13
Inden	11,2	0,10
Cyclohexan	4,5	0,65
Cyclohexan	4,8	0,20
Cyclohexadien(-1,3)	5,9	0,02
Methylcyclohexan	4,6	0,30
Cyclohexylacetylen	4,6	0,21
1,2-Dimethylcyclohexan	5,1	0,35
1,3-Dimethylcyclohexan	4,4	0,21
1,2-Methyläthylcyclohexan	4,3	0,16
1,3-Methyläthylcyclohexan	3,8	0,12
1,4-Methyläthylcyclohexan	3,7	0,13
1,2-Methyl-n-propylcyclohexan	3,6	0,12
1,3-Methyl-n-propylcyclohexan	3,4	0,12
1,4-Methyl-n-propylcyclohexan	3,3	0,12
1,4-Methyl-i-propylcyclohexan	4,0	0,28
1,2-Methyl-n-butylcyclohexan	3,4	0,10
1,3-Methyl-n-butylcyclohexan	3,3	0,10
1,4-Methyl-n-butylcyclohexan	3,2	0,10
1,2-Methyl-n-amylycyclohexan	3,2	0,10
Decalin	3,8	0,13
Dipenten	5,9	0,25
Aromaten		
Phenylacetylen	12,4	0,50
Benzylacetylen	7,4	0,12
Methylphenylacetylen	11,8	0,30
Äthylbenzol	10,5	2,00
1-Methyl-4-i-propylbenzol	11,1	1,00
tert.-Amylbenzol	12,1	2,00
1-Phenylbutadien	9,5	0,00
Trimethylphenylallen	8,3	0,20

zweigigen Paraffine erklären. Die Deutung wurde übrigens mittlerweile auch von anderer Seite übernommen¹⁾; doch ist der Versuch, die Ketone direkt unter dem Oxidationsprodukt nachzuweisen, bisher negativ verlaufen²⁾; augenfällige Experimente stehen noch aus.

Tab. 2

Die Octanzahlen sind aus den Angaben für das H.U.C.B. von Lovell, Campbell und Boyd (S. A. E. Journ. 26, 163 (1930)) mit Hilfe des Diagramms in Fig. 2 entnommen.

Verbindung	Octanzahl	(H. U. C. B.)	Misch-octanzahl	Differenz Misch-octanzahl-Octanzahl
n-Pentan	64	(3,8)	60	-4
1-Pentan	92	(5,8)	95,5	+6,5
2-Pentan	98	(7,0)	125	+27
1-Pentan	91	(5,7)	92	1
2-Methylbuten(-2)	98	(7,0)	167	+69
n-Hexan	35	(3,3)	29	-6
1-Hexan	80	(4,6)	85	+5
2-Hexan	89	(5,4)	100	+11
2,4-Hexadien	97	(6,6)	174	+77
1,6-Hexadien	83	(4,8)	79	-4
n-Heptan	0	(2,8)	0	—
1-Heptan	55	(3,7)	65	+10
3-Heptan	84	(4,9)	95	+11
2,4-Dimethylpentan	85	(5,0)	80	-5
2,4-Dimethylpenten(-2)	—	(8,8)	123	—
3-Äthylpentan	63	(3,9)	68	+5
3-Äthylpenten(-2)	97	(6,6)	124	+27
2,2,3-Trimethylbutan	—	(13,0)	116	—
2,2,3-Trimethylbuten(-3)	—	(12,6)	132	—
n-Octan	-32	(2,6)	-19	+13
1-Octan	45	(3,4)	25	-20*
2,2,4-Trimethylpentan	100	(7,7)	100	—
2,2,4-Trimethylpenten(-3)	—	(10,0)	144	—
2,2,4-Trimethylpenten(-4)	—	(11,3)	150	—
Cyclopentan	—	(10,8)	125	—
Cyclopenten	—	(7,9)	139,5	—
Cyclopentadien	—	(10,9)	156	—
Cyclohexan	77	(4,5)	85,5	+8,5
Cyclohexen	82	(4,8)	101,5	+19,5
Cyclohexadien(1,3)	93	(5,9)	220	+123
Methylcyclohexan	80	(4,6)	74	-6
1-Methylcyclohexen	82	(4,8)	132,5	+50,5

Eins der wenigen Beispiele, an denen man heute eine theoretische Vorausberechnung des H.U.C.B. versuchen könnte, ist das n-Heptan. Hier haben Tizard und Pye Zündtemperaturen durch adiabatische Kompression bestimmt für verschiedene Induktionszeiten τ . Nach Todes³⁾ würde man bei

¹⁾ Lewis und v. Elbe, Journ. Amer. Chem. Soc. 59, 972 (1937).

²⁾ H. A. Beatty, Chem. Rev. 21, 328 (1937).

³⁾ Dies ist der einzige Fall, in dem für ein Olefin eine größere Differenz im entgegengesetzten Sinne auftritt; wie aus Fig. 2 hervorgeht, bedeutet in diesem Bereich der Octanzahlen ein größerer Unterschied in den Octanzahlen nicht viel für das kritische Kompressionsverhältnis.

⁴⁾ O. Todes, Acta physicochimica U.R.S.S. 5, 785 (1936).

Wärmeexplosion mit einfachen Annahmen über die Reaktionsgeschwindigkeit eine Beziehung erwarten

$$p = \frac{E}{RT} \cdot \frac{p^2}{p_0}$$

wo E diescheinbare Aktivierungswärme ist. Vernach-

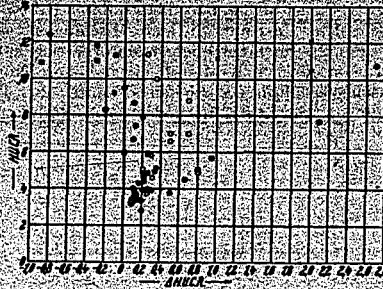


Fig. 3. Erhöhung des Krit. Komp.-Verh. durch Zusatz von Pb (C₂H₅), (1 cm³/Gallone) gegen Krit. Komp.-Verh. ohne Bleisatz aufgetragen. (Nach Lovell, Campbell und Boyd.)

- Paraffine und gesättigte Naphthene
- Monoolefine
- Diolefine und Acetylenkohlenwasserstoffe
- Einfach ungesättigte Naphthene
- Mehrfach ungesättigte Naphthene
- Aromaten in gesättigter Seitenkette
- Aromaten in ungesättigter Seitenkette

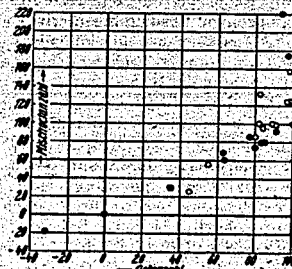


Fig. 4. Misch-octanzahl gegen Octanzahl aufgetragen. (Nach Daten von Lovell, Campbell, und Boyd.)

- Paraffine und gesättigte Naphthene
- Monoolefine und einfach ungesättigte Naphthene
- Diolefine und mehrfach ungesättigte Naphthene

lässt man fürs erste die Temperaturabhängigkeit von p^2 , so kann man $\log \tau$ als Funktion von $1/T$ auf-

¹⁾ Dadurch erhält man eine etwas verfälschte Aktivierungsenergie; bei der Anwendung auf das Klopfproblem kann dadurch aber kaum ein Fehler auftreten, weil beim Klopfen, ebenso wie bei den Versuchen von Tizard und Pye, die Temperaturerhöhung durch adiabatische Kompression hervorgerufen wird, p also beide Male eine eindeutige (und nahezu die gleiche) Funktion von T ist.

tragen und erhält daraus eine AE von $\sim 37,6$ kcal. Will man damit das kritische Kompressionsverhältnis im CFR-Motor abschätzen, so kann man ungefähr so vorgehen: die Dauer der Verbrennung im CFR-Motor kann man zu etwa $\frac{1}{1000}$ sek. annehmen, damit ein erheblicher Rest der Ladung spontan abrennt, wird eine Induktionsperiode von nicht über $\frac{1}{1000}$ sek. zulässig sein. Aus den Versuchsdaten von Fizard und Pys interpoliert man hierfür eine Temperatur von $\sim 370^\circ\text{C}$. Zum Erreichen dieser Temperatur ist ein Kompressionsverhältnis von ~ 5 erforderlich, bei einer Anfangstemperatur von 100°C (Kühlwassertemperatur beim CFR-Research-Verfahren) und bei einem Verhältnis der spez. Wärmen $\rho_0/\rho_1 \approx 1,35$. Da der restliche Teil

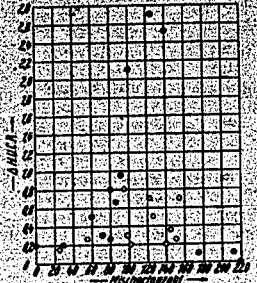


Fig. 5.

Erhöhung des Krit. Kompr.-Verh. durch Zusatz von $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ gegen Mischbetanzahl aufgetragen. (Nach Daten von Lovell, Campbell und Boyd.)

- Paraffine und gesättigte Naphtene
- Monoolefine und einfach ungesättigte Naphtene
- Diolefine und mehrfach ungesättigte Naphtene

des Gemisches von der zuerst abbrennenden Gemischmenge weiter komprimiert wird, so ist das kritische Kompressionsverhältnis wahrscheinlich beträchtlich kleiner als 5. Man könnte daran denken, die Rechnung exakter durchzuführen, indem man die Induktionsperiode für stetig wachsende Kompression ausrechnet; doch erscheint das vorläufig nicht sinnvoll, solange man andere Faktoren, wie z. B. die Wärmeverluste, nicht ebenfalls quantitativ erfaßt. Es mag genügen, daß das so abgeschätzte kritische Kompressionsverhältnis < 5 in qualitativer Übereinstimmung steht mit dem von Campbell, Lovell und Boyd (loc. cit.) bestimmten Wert von 2,8.

Wir wollen im folgenden noch auf einige Tatsachen eingehen, die sich aus dem allgemeinen Charakter der Reaktion verstehen lassen. Bekanntlich sprechen alle bisher aufgefundenen experimentellen Tatsachen dafür, daß es sich bei der Oxydation der Kohlenwasserstoffe um eine Kettenreaktion handelt; wenn auch, wie gesagt, die einzelnen Schritte in der Kette noch nicht bekannt sind, so lassen sich doch aus dem allgemeinen für diesen Typ von Reaktionen geltenden Gesetzmäßigkeiten

eine Reihe von wichtigen Schlüssen auf das vorliegende Problem ableiten. Die kritischen Bedingungen, unter denen Kettenreaktionen zur Explosion überleiten, sind von Semenov für spezielle Fälle später von Storch und Kassel, Lewis und von Elbe abgeleitet worden (vgl. hierzu auch 3)). Immer wenn bei einer exothermen Reaktion die Geschwindigkeit einen bestimmten Wert überschreitet⁴⁾, hat die Zeit-Umsatz-Kurve einen vom normalen Fall abweichenden Verlauf, und man bezeichnet die so verlaufende Reaktion als explosiv.

Wir wollen zunächst die ruhige, stationäre Reaktion betrachten, die im komprimierten Gemisch unterhalb der Klopfgrenze abläuft. Ein entscheidendes Kennzeichen von Kettenreaktionen ist ja ihre Empfindlichkeit gegen sehr geringe Mengen bestimmter Zusatzstoffe, durch die entweder Ketten eingeleitet oder abgebrochen werden können. Bekannt ist die Hemmung der Chlorknallgasvereinigung durch Sauerstoff, der H_2 -Oxydation durch I_2 usw. Auch die Oxydation der Kohlenwasserstoffe kann durch geringe Mengen von Zusätzen beeinflusst werden; am bekanntesten ist die Hemmung der Reaktion durch sogenannte Antiklopfmittel, in erster Linie $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$.⁵⁾ Wie wir oben erwähnt hatten, tritt Klopfen dann ein, wenn die stille Reaktion im noch unverbrannten Teil der Ladung eine kritische Geschwindigkeit übersteigt, und die Wirkung des Antiklopfmittels ist einfach so zu verstehen, daß durch Kettenabbruch die Reaktionsgeschwindigkeit unter die kritische Grenze erniedrigt wird. Nach Semenov ist die Geschwindigkeit einer Kettenreaktion mit Kettenverzweigung durch den Ausdruck

$$v = k \frac{a_0}{(b - a)} \quad (1)$$

gegeben, wobei a_0 der Neubildung von Kettenträgern, b dem Kettenabbruch, a der Kettenverzweigung entspricht; dieser Ausdruck setzt voraus, daß der Kettenabbruch wie die Kettenverzweigung von gleicher, vorzugsweise erster Ordnung in bezug auf die aktiven Teilchen sind, eine Bedingung, die durchaus nicht notwendig und unter praktischen Verhältnissen häufig sogar unzulässig erscheint;

⁴⁾ W. Jost und L. v. Muffling, Ztschr. physikal. Chem. A 188, 43 (1939).

⁵⁾ Den Fall der isothermen Explosion durch Kettenverzweigung nehmen wir unter den extremen Bedingungen im Motor deshalb nicht an, weil hier sicher schon frühzeitig das Wärmegleichgewicht gestört wird. Man befindet sich ja immer weit oberhalb der Drucke, die man unter Laboratoriumsbedingungen als obere Explosionsgrenze findet. Das schließt aber nicht aus, daß man es mit einer Reaktion mit Kettenverzweigung zu tun hat. Es ist sogar das wahrscheinlichste, anzunehmen, daß das allererste Anlaufen der Reaktion mit Kettenverzweigung erfolgt (unter Umständen eingeleitet durch einen primären Radikalzerfall der Kohlenwasserstoffmoleküle), daß aber das weitere Ansteigen der Reaktionsgeschwindigkeit zum größeren Teil durch die Störung des Temperaturgleichgewichts veranlaßt wird.

⁶⁾ Egerton, Nature 121, 10 (1928). Egerton und Gates, Nature 119, 427 (1927). H. S. Taylor, Nature 119, 746 (1927).

doch legen wir hier diesen Ausdruck zugrunde, weil er erstens eine einfache Formulierung ermöglicht und außerdem die oben erwähnte Voraussetzung (besondere Kettenabbruch nach erster Ordnung in bezug auf die aktiven Teilchen) unter den hier zu betrachtenden Bedingungen (Zusatz eines kettenabbruchenden Mittels) wahrscheinlich weitgehend erfüllt ist.) Setzt man nun unter sonst konstanten Versuchsbedingungen eine bestimmte Menge Bleitetraäthyl hinzu, so erhält man einen zusätzlichen Kettenabbruch, den wir mit β bezeichnen wollen und der der Konzentration des Bleitetraäthyl proportional ist:

$$\beta = f \cdot c \quad (2)$$

Für die Reaktionsgeschwindigkeit ergibt sich somit:

$$v \approx \frac{k'}{b + \beta - a} = \frac{k'}{d + f \cdot c} \quad (3)$$

$$(k = k \cdot n_0, d = b - a)$$

Hieraus sieht man bereits, daß die Verlangsamung der Reaktion und damit die Herabsetzung der Klopfestigkeit durch eine ganz bestimmte Menge $Pb(Ath)_4$, die wir mit c_0 bezeichnen wollen, von der bereits vorhandenen Menge $Pb(Ath)_4$ abhängig ist; war c von vornherein schon wesentlich größer als c_0 , so hat ein weiterer Zusatz der Menge c_0 keine wesentliche Wirkung mehr. In der Tat ist es eine bekannte Erfahrung, daß bei wachsendem Zusatz an Antiklopfmittel die spezifische Wirksamkeit schnell abnimmt. Um die Überlegung mit den Experimenten²⁾ vergleichen zu können, müssen wir noch die Temperaturabhängigkeit der Reaktion berücksichtigen; die Verlangsamung der Reaktion nach $Pb(Ath)_4$ -Zusatz macht sich dadurch bemerkbar, daß nun erst bei höherem Kompressionsverhältnis, also höherer Temperatur, die Reaktionsgeschwindigkeit den zum Einsetzen des Klopfen nötigen kritischen Wert erreicht. Die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur läßt sich ja durch einen Ausdruck:

$$v = C \cdot \exp(-E/RT) \quad (4)$$

wiedergeben³⁾, wobei C von den sonstigen Versuchsbedingungen, wie Druck, Gemischzusammensetzung usw., abhängt und hier dem obigen Ausdruck $k \cdot n_0 / (b - a)$ bzw. $k' / (d + f \cdot c)$ proportional gesetzt wird; das ergibt:

$$v = \frac{k'}{d + f \cdot c} \cdot \exp(-E/RT) \quad (5)$$

Die Temperatur des Gemisches ergibt sich aus dem Kompressionsverhältnis s unter Annahme adiabatischer Kompression gemäß dem Ausdruck⁴⁾:

¹⁾ Übrigens ist es auch unter diesen Voraussetzungen nicht gesagt, daß sich die Reaktionsgeschwindigkeit auf die einfache Form $v \approx n_0 / (b - \beta)$ bringen läßt, vgl. Jost und v. Müffling, loc. cit.

²⁾ Die ja kritischen Kompressionsverhältnis beim Klopfen und nicht direkt die Reaktionsgeschwindigkeit betreffen.

³⁾ Die bei komplizierteren Reaktionen, wie in unserem Falle, nur als Interpolationsformel für das begrenzte, in Frage kommende Temperaturgebiet zu bewerten ist, b und a (1) werden ja ebenfalls temperaturabhängig sein.

⁴⁾ Für genauere Rechnung könnte man durch einen empirischen Ansatz noch den Abkühlungseffekt berücksichtigen.]

$$T = T_0 \cdot s^{\kappa-1} \quad (6)$$

(T_0 = Ausgangstemperatur vor der Kompression, $\kappa = c_p/c_v \approx 1,35$)

Durch Einsetzen in (5) erhält man:

$$v = \frac{k'}{d + f \cdot c} \cdot \exp(-E/RT_0 \cdot s^{\kappa-1}) \quad (7)$$

Nun nehmen wir an, daß gerade bei diesem Kompressionsverhältnis die Reaktionsgeschwindigkeit ohne Zusatz von $Pb(Ath)_4$ den kritischen Wert erreicht:

$$v_{kr} = \frac{k'}{d} \cdot \exp(-E/RT_0 \cdot s^{\kappa-1}) \quad (8)$$

Bei Zusatz von $Pb(Ath)_4$ in der Menge c müssen wir dann das Kompressionsverhältnis um den Betrag Δs erhöhen, um die Geschwindigkeit wieder auf den kritischen Wert zu steigern:

$$v_{kr} = \frac{k'}{d + f \cdot c} \cdot \exp(-E/RT_0 (s + \Delta s)^{\kappa-1}) \quad (9)$$

Aus den beiden Gleichungen (8) und (9) erhält man dann die Beziehung:

$$(d + f \cdot c)/d = \exp\left\{\frac{E}{RT_0} \left[s^{\kappa-1} - (s + \Delta s)^{\kappa-1} \right]\right\} \quad (10)$$

Sind die Bedingungen so gewählt, daß $\Delta s \ll s$ ist, so kann man setzen:

$$(d + f \cdot c)/d \approx \exp\left\{E s^{\kappa-2} (\kappa - 1) \frac{\Delta s}{s} / RT_0\right\} \quad (11)$$

und weiter:

$$\Delta s \approx \text{const} \cdot \ln\{(d + f \cdot c)/d\} \quad (12)$$

Obwohl diese Beziehung nur eine grobe Näherung sein kann (z. B. wird d als konstant angenommen), gibt sie überraschend gut die Meßergebnisse über die Steigerung des maximalen Kompressionsverhältnisses mit wachsendem Zusatz an Antiklopfmittel wieder¹⁾, wenn man geeignete Werte für die Konstanten einsetzt.

An anderer Stelle war früher bereits gezeigt, daß man durch Differentiation der Gl. (7) eine Beziehung zwischen dem höchsten nutzbaren Kompressionsverhältnis ohne Zusatz und der Steigerung desselben durch eine ganz bestimmte Menge Antiklopfmittel ableiten kann. Man erhält nämlich:

$$\ln v = \ln C - E \cdot s^{\kappa-1} / RT_0 \quad (13)$$

$$d \ln v / ds = -(1 - \kappa) \frac{E \cdot s^{\kappa-2}}{RT_0} \quad (14)$$

$$\Delta \ln v / \Delta s \approx (\kappa - 1) \frac{E \cdot s^{\kappa-2}}{RT_0} \quad (15)$$

$$\Delta s \approx \Delta \ln v \frac{RT_0 \cdot s^2}{E(\kappa - 1)} \quad (16)$$

Setzt man für v Gl. (3), so ist sinngemäß $\Delta \ln v = \ln\{(d + f \cdot c_0)/d\}$, also:

$$\Delta s \approx \ln\{(d + f \cdot c_0)/d\} \frac{RT_0 \cdot s^2}{E(\kappa - 1)} \quad (17)$$

¹⁾ Versuchsergebnisse von Hebl und Rendel, Journ. Inst. Petrol. Technol. 18, 187 (1932).

04726

Dies ergab den Ausdrucksformel

$$d = \text{const.} \quad (18)$$

Tatsächlich wurde gefunden, daß diese Gleichung die Befunde bei einer bestimmten Gruppe von Kohlenwasserstoffen, den Paraffinen und gesättigten Naphthenen, verhältnismäßig gut wiedergibt. Es muß dazu vorausgesetzt werden, daß die Wahrscheinlichkeiten für Kettenabbruch und Kettenverweigung am kritischen Punkt bei den Kohlenwasserstoffen dieser Gruppe die gleichen sind und der Zusatz von Antiklopfmittel in der Menge c_0 den gleichen relativen Einfluß hat, desgleichen muß die Aktivierungswärme E bei allen Verbindungen etwa denselben Wert haben, es hat den Anschein, als ob diese Bedingungen bei den betrachteten Paraffinen und Naphthenen tatsächlich erfüllt seien¹⁾. Die spezifische Wirkung des Antiklopfmittels $Pb(Ath)_2$ ist bei dieser Gruppe von Kohlenwasserstoffen überhaupt am höchsten. Man kann sich vorstellen, daß bei der Verbrennung dieser Verbindungen relativ lange Ketten ablaufen, da hier die Wahrscheinlichkeit für den Kettenabbruch und damit d klein ist; infolgedessen muß die kettenabbrechende Wirkung des Antiklopfmittels, ausgedrückt durch $f \cdot c_0$, eine relativ große Änderung bedingen. Bei anderen Gruppen von Kohlenwasserstoffen liegen die Verhältnisse wahrscheinlich anders, besonders die ungesättigten Verbindungen zeigen sich als sehr viel weniger durch Zusatz von Antiklopfmittel beeinflusbar. Als Erklärung kann man annehmen, daß die Wahrscheinlichkeit des Kettenabbruchs bei diesen Stoffen schon ohne Zusatz von Antiklopfmittel hoch ist²⁾ (vielleicht infolge Vernichtung der aktiven Teilchen durch Anlagerung an die Doppelbindung³⁾), und daß infolgedessen ein Zusatz der gleichen Menge $Pb(Ath)_2$ nur noch eine relativ geringe Wirkung hat. In extremen Fällen begünstigt Bleitetraäthylzusatz sogar das Klopfen; man hat also eine Beschleunigung der von selbst ablaufenden Reaktion. Zum Verständnis dieser Erscheinung muß man berücksichtigen, daß das Bleitetraäthyl unter den Versuchsbedingungen zerfällt unter Abspaltung von Radikalen, die sicher ihrerseits Ketten einleiten werden⁴⁾; meistens überwiegt die kettenabbrechende Wirkung der entstehenden Bleiatome bzw. Bleioxydmoleküle diesen Effekt bei weitem, so daß

man die Kettenanlagerung durch das Bleitetraäthyl ohne große Fehler vernachlässigen kann; in diesen besonderen Fällen scheint aber die kettenabbrechende Wirkung des reinen Stoffes schon so groß zu sein, daß daneben die des $Pb(Ath)_2$ vernachlässigt werden kann; dagegen bleibt die Kettenanlagerung durch die Radikale bestehen, die auf diese Weise einen negativen Einfluß des Antiklopfmittels hervorruft; man hat in diesem Fall zu formulieren

$$d = \frac{f + f_0 \cdot c_0}{d + f \cdot c_0} \quad \text{wobei } f \cdot c_0 \ll d \text{ ist.}$$

Auf Grund dieser Überlegungen scheint es nun leicht verständlich, daß Stoffe, die bei geringer Bleimempfindlichkeit hohe Klopfestigkeit zeigen infolge ihrer eigenen stark kettenabbrechenden Eigenschaften⁵⁾, Mischoctanzahlen haben, die ihre Octanzahlen weit übertreffen, also im Gemisch mit anderen KW-Stoffen auch hier stärker kettenabbrechend wirken als das i-Octan. Bei Aromaten könnte die trotz hoher Klopfestigkeit geringe Bleimempfindlichkeit auch bei Annahme sonst gleicher Verhältnisse wie bei den Paraffinen zum Teil einfach durch eine höhere Aktivierungsenergie erklärt werden, die in Gl. (17) ja im Nenner steht⁶⁾.

Es ist wohl eigentlich überflüssig zu betonen, daß die vorangehenden Überlegungen zunächst den Charakter einer Arbeitshypothese haben. Da den individuellen Eigenschaften der einzelnen Stoffe nicht weiter Rechnung getragen ist, darf es nicht wundern, daß die Beziehungen nur im Mittel innerhalb einer Gruppe erfüllt sind. Eine Einführung individueller Konstanten würde aber erst sinnvoll, wenn man diese unabhängig bestimmen könnte, was vorläufig nicht der Fall ist. Im ganzen glauben wir aber, daß der eingeschlagene Weg vorläufig der einzige ist, auf dem man hoffen kann, wenigstens zu halbquantitativen Resultaten zu gelangen. Denn an eine quantitative Beherrschung des Reaktionsmechanismus auf Grund von Untersuchungen der langsamen Oxydation ist vorläufig nicht zu denken, schon deshalb nicht, weil die unter üblichen Laboratoriumsbedingungen erhaltenen Werte in sehr unübersichtlicher Weise von Wandemflüssen bestimmt sind. Eine wesentliche Verfeinerung unserer Betrachtungen wäre natürlich möglich, doch halten wir diese für verfrüht, solange nicht die entsprechenden experimentellen Unterlagen vorhanden sind.

Wir danken der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt für die Unterstützung unserer Arbeiten. Leipzig, Physikalisch-chemisches Institut der Universität.

(Eingegangen am 16. November 1938.)

¹⁾ Für konstanten Bleisatz und die Voraussetzung, daß die relative Hemmung durch Blei bei den Stoffen, auf die (17) angewandt wird, annähernd die gleiche ist, also daß $\frac{d + f \cdot c_0}{d} \approx \text{const.}$ wird, von Stoff zu Stoff.

²⁾ Eine Verbesserung könnte man erhalten, wenn man (17) statt (18) benutzt, mit individuellen Werten von d , f und E .

³⁾ Also d größer als im Fall der Paraffine.

⁴⁾ Man denke z. B. an die hemmende Wirkung von Propylen bei thermischen Zersetzungsreaktionen.

⁵⁾ Induzierung des thermischen Zerfalls von Kohlenwasserstoffen durch Bleitetraäthyl ist beobachtet.

¹⁾ Großes d .

²⁾ Man vgl. die Befunde von Amiel und Hinshelwood bei der Benzoloxydation.

04727

Dr. Flirschbeck Op. 103

Flüssiggase

Von Dr.-Ing. Fritz Rosendahl

Unter Flüssiggasen versteht man im allgemeinen die bei geringem Überdruck und bei normaler Temperatur verflüssigbaren niederen Paraffinkohlenwasserstoffe der Gruppe C_2 und C_3 , also Propan und Butan, die noch von ihren ungesättigten und Iso-Abkömmlingen begleitet sind. Als Verunreinigungen treten Methan, Äthan und Äthylen in Mengen bis zu höchstens 5% hinzu. Die Flüssiggase haben in den letzten Jahren eine ungeheure Bedeutung gewonnen, weil sie sich als ein vorzüglicher Kraftstoff für Verbrennungsmotoren erwiesen haben. Daneben hat man in letzter Zeit angefangen, sie zur Synthese höherer, polymerisierter Benzine heranzuziehen¹⁾. Dadurch ist ihr zwangsläufiger Anfall bei der Verflüssigung der Kohle und bei der Synthese von Kohlenwasserstoffen nach Fischer-Tropsch nicht unerwünscht. In größtem Umfange finden sie sich jedoch in den Erdgasen der Erdölquellen in den USA. Die rohen Erdgase waren auch die zuerst bekannte Quelle für die Flüssiggase. Welche gewaltigen Mengen hier gewonnen werden, geht aus Veröffentlichungen des Amerikanischen Petroleum Institutes hervor: Danach wurden 1935 in den USA 56 Mrd. m³ Erdgas gewonnen, deren durchschnittlicher Gehalt an Flüssiggasen (Propan und Butan) 14% = 16 Mill. t betrug. Hiervon wurden nur 200 000 t gewonnen²⁾. Die deutschen Erdgase sind bedeutend ärmer an Flüssiggasen. Nur in Hämigsen gewinnt die Gewerkschaft Elwerath ein Erdgas, das etwa 100 g Propan je m³ enthält. Als weitere Quelle für die Flüssiggase sind die Abgase der Spalt- und Raffinieranlagen zu nennen. G. Egloff³⁾ hat die Menge der hier anfallenden Abgase auf 8,4 Mrd. m³ mit einem Gehalt von 500 bis 600 g/m³ Propan und Butan geschätzt.

Für Deutschland kommen in der Hauptsache die Schwelgase der Braun- und Steinkohle in Frage, in denen etwa 100 g Flüssiggase je m³ enthalten sind. In dem Hochtemperaturgas der Kokereien sind dagegen nur 5 bis 10 g Flüssiggase je m³ enthalten, doch sind hier gute Verfahren ausgearbeitet worden, um auch diese geringen Mengen in wirtschaftlicher Weise zu gewinnen. Die größten Gewinnungsstätten sind aber die Abgase der Hydrier- und Syntheseanlagen, bei denen man mit 10% Flüssiggasanteilen — berechnet auf die erzeugte Menge Kohlenwasserstoffe — rechnen kann.

Eigenschaften

Wie schon oben kurz angedeutet, fallen unter den Begriff der Flüssiggase nur sehr wenige, zur C_2 - und C_3 -Gruppe zählende Kohlenwasserstoffe. Dazu kommen dann noch die ungesättigten Verbindungen, wie Propylen, Butylen, und die Isomeren Isobutan und Isobutylene. In Zahlentafel 1 sind die Haupteigenschaften dieser Gase zusammengefaßt. Wie aus dieser Zahlentafel hervorgeht, sind die Flüssiggase bei 760 Torr gasförmig, jedoch unter Anwendung eines nur geringen Überdruckes leicht zu verflüssigen. Hierdurch unterscheiden sie sich ganz erheblich von anderen Treibgasen wie z. B. Methan, Äthan und Äthylen. Während Methan bei normaler Temperatur überhaupt nicht verflüssigt werden kann, sind die anzuwendenden Drücke bei Äthan und Äthylen sehr hoch. Ihre Verwendung im Gemisch mit Flüssiggasen kommt deshalb nicht in Frage, weil die erforderlichen Flaschen zu stark ausgefüllt werden müßten. Ebenso muß darauf hingewiesen werden, daß Äthan oder Äthylen in den Flüssiggasen höchstens als ganz geringe Verunreinigungen vorkommen dürfen, da sonst durch ihre Anwesenheit der zulässige Druck bald erheblich überschritten würde.

Öl und Kohle
Nr. 5. 1. Febr. 1942

Unter welchen Bedingungen sich die Flüssiggase zu O) kondensieren lassen, geht aus den Dampfdruckkurven der einzelnen Verbindungen hervor (Abb. 1). Der Dampfdruck der Mischungen hält sich streng an die bekannten Gasgesetze. Unregelmäßigkeiten sind dabei nicht beobachtet worden.

Gewinnung

Wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, werden die Flüssiggase niemals allein oder verdünnt mit anderen Gasen verwendet. Sie sind stets von ihren höheren Homologen, also den Dämpfen von Benzinkohlenwasserstoffen, begleitet. Die drei Wege der Benzinabscheidung aus Gasen sind:

1. Verdichtung mit oder ohne zusätzliche Kühlung,
2. Auswaschen mit Waschölen,
3. Adsorption mittels fester Stoffe, insbesondere Aktivkohle.

Die Gewinnung von Propan und Butan (neben Benzin) hat sich nur in Amerika wirtschaftlich gestalten lassen, weil im allgemeinen bei einem Gehalt von weniger als 20 g Benzin bzw. 50 g Flüssiggasen je m³ Gas das Verfahren seine Wirt-

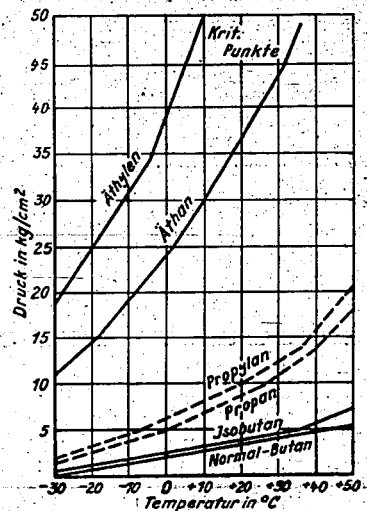


Abb. 1: Dampfdruck-Kurven von Flüssiggasen

schaftlichkeit verliert⁴⁾. Die Verarbeitung der Erdgase gestaltet sich im großen und ganzen wie folgt: Das Erdgas wird zunächst auf 25 atü verdichtet und so im Gegenstrom zu Waschöl durch einen Wasserturm geleitet. Hier werden nur die flüssigen Anteile des Erdgases gelöst. Das beladene Waschöl fließt in einen Auslaufbehälter, der jedoch nur unter einem Druck von 14 atü steht. Hierdurch entweicht ein Großteil der im Benzin gelösten, unerwünschten Gase, vor allem Methan und Äthan. Nun gelangt das Waschöl in einen weiteren Auslaufbehälter. Es entweicht wiederum Gas,

¹⁾ F. Rosendahl, Öl u. Kohle 28, 346 [1940].
²⁾ W. Grimme, Angew. Chemie 51, 265 [1933].
³⁾ Ind. Engng. Chem. 28, 1479 [1936].
⁴⁾ A. W. Nash u. D. A. Howes, Principles of Motor Fuels, S. 101.

POOR COPY 22

POOR COPY

das aber diesmal nochmals gewaschen wird. Das Waschöl steht jetzt unter einem Druck von etwa 4 bis 5 atü. Es wird durch Wärmeaustauscher geführt und gelangt allmählich zur Stabilisationskolonne (immer unter einem Druck von 4 bis 5 atü). Die Stabilisationskolonne hat den Zweck, das Benzin

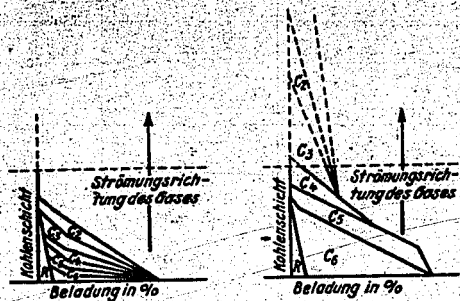


Abb. 2: Schematische Darstellung der Beladung der Aktivkohle mit Flüssiggasen (R = in der Kohle beim Ausdampfen verbleibender Rest)

zu „stabilisieren“. Hierunter versteht man das Abstreifen („Toppen“) der leichtest siedenden Anteile, so daß also ein Benzin mit einem vorher festgelegten Siedepunkt überbleibt. Will man nun die in dem Gas enthaltenen Kohlenwasserstoffe Propan, Butan und Pentan einzeln abscheiden, so trennt man sie gemeinsam durch Destillation ab und unterwirft sie dann einer nochmaligen Fraktionierung in besonderen Kolonnen unter hohem Druck.

Das in den Spaltgasen enthaltene Flüssiggas kann auf ähnliche Weise gewonnen werden. Die Deutsche Erdölraffinerie (Deurag) gewinnt das Flüssiggas auf diesem Weg.

Die für amerikanische Verhältnisse geschilderten Verfahren kommen für Deutschland nicht in Betracht, da die Verdünnung der Flüssiggase in den Trägergasen viel zu groß ist. Muß schon in Amerika mit Drücken bis zu 20 atü gearbeitet

der Flüssiggase ist heute in Deutschland die Adsorption an festen Stoffen, insbesondere der Aktivkohle, zu einem hohen Grade der Vollendung entwickelt worden. Es war schon lange bekannt, daß die Aktivkohle neben dem Benzin und Benzol auch die niedriger siedenden Kohlenwasserstoffe, wie Pentan und Propan, aus dem Gase aufnimmt. Eine gute Aktivkohle ist im Stande, mehrere Gewichtsteile Flüssiggase aufzunehmen, d. h. sie belädt sich so gut mit Flüssiggas wie ein gutes Waschöl mit Benzin oder Benzol unter normalem Druck. Es spielt bei der Anwendung der Aktivkohle keine Rolle, daß die Gase von Schwefelwasserstoff frei sein müssen, denn bei der Synthese nach Fischer-Tropsch wird von vornherein mit schwefelfreien Gasen gearbeitet, und beim Kokereigas wird die Aktivkohleanlage hinter die Entschwefelungsanlage geschaltet.

Nimmt die Aufnahmefähigkeit des Waschöls linear mit der Verdünnung des aufzunehmenden Stoffes im Gase ab, so ist dagegen die Beladungshöhe der Aktivkohle eine logarithmische Funktion. Hat man z. B. ein Gas mit 100 g/m³ Propan, so erreicht man beim Waschölverfahren höchstens eine Anreicherung von 0,1% des Waschöls, bei ruhender Aktivkohle dagegen eine Beladungshöhe von 2%. Bei zehnfach kleinerem Gehalt an Propan — also 10 g/m³ — erreicht das Waschöl eine Anreicherung von 0,01%, während die Aktivkohle noch mit 1% beladen wird. So verschiebt sich mit fortschreitender Verdünnung der Unterschied in der Aufnahmefähigkeit immer weiter zugunsten der Aktivkohle¹⁾.

Die Beladung der Aktivkohle erfolgt nun folgendermaßen: Beim Durchleiten des Gases durch die vorbereitete Kohle — und zwar stets in der Richtung von unten nach oben — im Aufnahmegerät nimmt die Kohle neben dem Benzin und den Flüssiggasen auch noch Methan, Kohlendioxyd und andere Gasbestandteile auf. Der Beladungszustand der Aktivkohle nach verschiedenen Beladungszeiten ist in der Abb. 3 wiedergegeben. Auf der senkrechten Achse ist die Höhe der Kohlenschicht, auf der waagerechten der Beladungsgrad in Gewichts-% der Kohle angegeben. Die unter-

Zahlentafel 1: Haupteigenschaften der Flüssiggase

	Propan	Propylen	Butan	i-Butan	i-Butylen
Chem. Summenformel	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈
Konstitutionsformel	CH ₃ -CH ₂ -CH ₃	CH ₂ =CH-CH ₃	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	CH ₂ =C-CH ₂ -CH ₃
Molekulargewicht	44	42	58	58	56
Dichte (flüssig)	0,510	0,479	0,579	0,579	0,579
Dichte (gasförmig)	1,523	1,479	2,046	2,064	1,977
Lüftungsgewicht (in g)	2,019	1,923	2,703	2,668	2,558
Siedepunkt (760 Torr)	-44	-47	-0,5	-0,5	-5
Dampfdruck in kg/cm ² bei 760 Torr					
0°	3,8	—	0,56	—	—
15°	6,8	—	1,6	—	—
26°	9,8	11,5	2,6	4,6	3,1
50°	18,9	—	5,9	—	—
Kritische Temperatur	97	92,3	151	134	142
Kritischer Druck	46	—	37,5	—	—
Explosionsgrenze (Vol.-%)	2,4 bis 9,5	2,2 bis 9,7	1,9 bis 8,5	1,9 bis 8,5	1,7 bis 9,0
Luftbedarf (m ³ /m ³)	23,9	21,5	31,1	31,1	28,7
Unterer Heizwert (WE/kg)	11040	10800	10920	10920	10740
Oberer Heizwert (WE/kg)	12030	11670	11850	11850	11600

werden, so läßt sich leicht denken, wie hoch der Druck in Deutschland gesteigert werden müßte, um zu einem vernünftigen Ergebnis zu kommen. Wenn billige Kälte zur Verfügung steht, kann man auch mit einem hohen Druck wirtschaftlich arbeiten. Dies Verfahren ist namentlich von der Firma Linde ausgearbeitet worden. Für die Gewinnung

sten Schichten beladen sich am höchsten und werden zuerst mit Benzin abgesättigt. Nach oben schichten sich die schwerer zu adsorbierenden Bestandteile, und diese werden

¹⁾ Jb. Brennkrafttech. Ges. 15, 35 [1934].
²⁾ G. Baillieul, W. Herbert u. E. Reismann, Aktiv-Kohle Stuttgart 1937, S. 61.

Öl und Kohle
 Nr. 5. 1. Febr. 1942

04729

im Laufe der weiteren Beladung der Aktivkohle durch die neu hinzukommenden, leichter zu adsorbierenden Bestandteile immer wieder ausgetrieben und nach oben verdrängt. Auf diese Weise ist es möglich, daß ein Bestandteil nach dem anderen infolge seiner schwereren Adsorbierbarkeit in grober Annäherung an sein Molekulargewicht durchbricht. Im Hinblick auf eine möglichst vollständige Gewinnung der Flüssiggase kommt es also gar nicht darauf an, daß die Kohle bis oben hin beladen ist, d. h. man braucht nicht darauf zu warten, bis die Flüssiggase durchbrechen. Denn schon vorher sind beim Ausdämpfen der Aktivkohle nur noch geringe Mengen (einige Prozent) an Inerten im Gase vorhanden, im Gegensatz zum Waschölverfahren, wo alle Inerten aufgenommen und demgemäß auch beim Abtreiben des Öles wieder gewonnen werden. Durch ein geschicktes Ausdämpfen der Aktivkohle, das umgekehrt zur Gasrichtung erfolgt, kann die Entfernung der Inertgase aus den Flüssiggasen noch gesteigert werden. Zu Beginn der Dampfzugabe werden aus der obersten Schicht alle darin adsorbierten Gasbestandteile frei gemacht und vom Dampf langsam nach unten getrieben. Durch diesen Vorgang gelangen nun die Inertgase in Stellen der Aktivkohle, die schon von Benzin und Flüssiggas besetzt sind, so daß sie nicht mehr aufgenommen werden können. Sie treten daher als erste aus dem Aufnahmegefäß aus. Was bei weiterem Vordringen des Dampfes in die Aktivkohle an Flüssiggasen frei gemacht wird, wird dagegen in den teilweise abgesättigten Stellen wieder aufgenommen, da hier die Vorbeladung der Aktivkohle mit Flüssiggasen (mit entsprechend niederem Teildruck) erfolgte, während beim Ausdämpfen aus den oberen Schichten Flüssiggas mit höherem Molekulargewicht ankommt und daher noch aufgenommen werden kann. Beim Vordringen des Wasserdampfes in die unteren Schichten kann auch dieser Flüssiggas-Anteil nicht mehr aufgenommen werden, und nunmehr beginnt der Austritt der Flüssiggase und des Benzins aus dem Aufnahmegefäß. Auf diese Weise ist es also möglich, beim Ausdämpfen der Aktivkohle mit mäßiger Dampfgeschwindigkeit eine Zerlegung des aufgenommenen Gases durchzuführen. Es treten zunächst in der Reihenfolge: Wasserstoff, Kohlenoxyd, Methan und Kohlendioxyd die unerwünschten Gasbestandteile aus. Erst wenn alles Kohlendioxyd ausgetreten ist, treten auch die Flüssiggase aus. Sind die Flüssiggase vollständig ausgetreten, dann folgen mit dem Wasserdampf zusammen die Benzinanteile. Durch geeignete selbsttätige Umschaltvorrichtungen kann man auf diese Weise in neuzeitlichen Anlagen unmittelbar zu einem Flüssiggas mit einem Reinheitsgrad von 80% und mehr gelangen. Dieser Erfolg ist um so erstaunlicher, als er auch bei Gasen erreicht wird, die beim Eintritt in das Aufnahmegefäß weniger als 1% Flüssiggas haben. In Abb. 3 ist ein Schaubild⁷⁾ wiedergegeben, woraus der Verlauf der Ausdämpfung der Aktivkohle zu erkennen ist.

An das Ausdämpfen der Kohle schließt sich beim Betrieb der Aktivkohleanlagen das Trocknen und das Kühlen der Aktivkohle an. Trocknen und Kühlen können mit gesonderten Gaskreisläufen erfolgen, in die neben Umwälzgebläsen ein dampfheizter Gaserhitzer bzw. ein Gaskühler eingeschaltet ist. Eine andere Art der Schaltung, die Reihenschaltung, kann bei der Gewinnung der Flüssiggase nur da angewendet werden, wo ein größerer Druckabfall nichts ausmacht. Bei dieser Schaltung wird das Gas nach dem Austreiben der Kohlenwasserstoffe im ersten Aufnahmegefäß gekühlt, darauf durch die Kohle geführt, die nach dem Trocknen zum Kühlen bestimmt ist und anschließend nach Aufheizen in einem Gaserhitzer zum Trocknen der-

jenigen Kohle verwendet, die von der vorherigen Dampfzuführung durchfeuchtet ist.

In der Abb. 4 ist eine neuzeitliche Aktivkohleanlage schematisch dargestellt. Die Aufnahmegefäße 1, 2 und 3 sind hintereinander in den Gasweg eingeschaltet. Das Aufnahme-

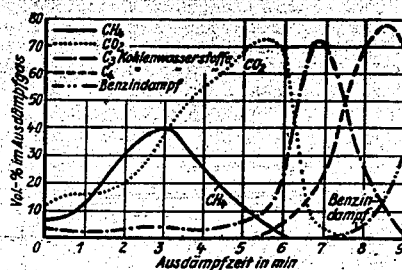


Abb. 3: Verlauf der Ausdämpfung der Aktivkohle

gefäß 1 wird mit Benzin und Flüssiggas aus dem Rohgas beladen. Das benzinfreie Gas wird mittels eines Gebläses durch einen Gaskühler gedrückt (das Gas wird durch die auftretende Adsorptionswärme stark erwärmt) und dient zum Kühlen des Aufnahmegefäßes 2. Nun wird es in dem folgenden Gaserhitzer wieder aufgewärmt, um das Aufnahmegefäß 3 zu trocknen. Das Endgas kehrt zum Teil zum Kühlgasstrom zurück, um die Gasmenge zu vergrößern. Das Aufnahmegefäß 4 wird gerade ausgedämpft. Die dabei auftretenden Armgase werden zum Rohgas zurückgeführt und gelangen so nochmals durch die Aktivkohle. Beim Beginn des Austrittes der Flüssiggase wird der Dreiwegehahn umgeschaltet, so daß der anschließende Sauger die Flüssiggase in den Gasbehälter drücken kann. Die mitaustretenden Benzindämpfe werden in der Fraktionierkolonne abgeschieden, hierbei werden die Schwerbenzine am Fuß der Kolonne abgezogen, und die Leicht-

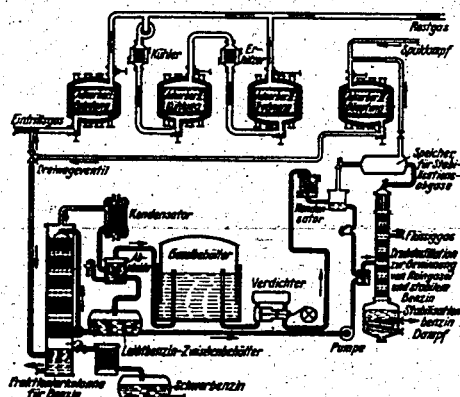


Abb. 4: Aktivkohle-Anlage in schematischer Darstellung

benzine gehen zum Kopf der Kolonne, um in dem Kühler niedergeschlagen zu werden. Sie gelangen über einen Wasserabscheider zum Leichtbenzinbehälter, aus dem ein Teil als Rückfluß wieder auf den Kopf der Kolonnen gegeben wird. Das Flüssiggas wird aus dem Gasbehälter durch-

⁷⁾ Nach W. Grimme, Z. Ver. dtsch. Ing., Beil. Verfahrenstech. 84, 18 [1940].

POOR COPY 22

einen V... dem Lei... sationsk... gasen a... Flüssigg... flüssigt... Armgas... winnung... zu Zeit... durch d... Für die... gut zu t...

Rohgas
Kamp...

Noch t... Aufnah... Größen... bei ein... Die Z... naturg... Je grö... ordnu... nur ein... gaben... das B... nur st... samme... daß d... sonsti... Wie s... (Flüss... der St... einers... ein Fl... zu er... kolon... ist fol... Währ... Druck... wird... Rohb... in die... 20 at... anfall...

POOR COPY

einen Verdichter entnommen und gelangt gemeinsam mit dem Leichtbenzin auf die Druckdestillierkolonne („Stabilisationskolonne“). Das Benzin wird frei von allen Flüssiggasen am Fuße dieser Kolonne abgezogen, während das Flüssiggas dampfförmig austritt und durch Kühlung verflüssigt wird. Die am Kopf der Druckkolonne austretenden Armgase werden unter Druck gespeichert und zwecks Gewinnung der darin enthaltenen Flüssiggasanteile von Zeit zu Zeit dem Rohgas zugesetzt, um so nochmals den Weg durch die Aktivkohle anzutreten.

Für die Gewinnung der Flüssiggase ist die Kohle möglichst gut zu trocknen, dagegen spielt ihre Temperatur keine Rolle.

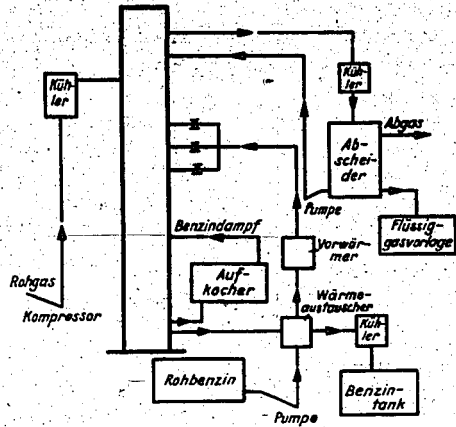


Abb. 5: Schema einer Stabilisationskolonne

Noch bei Temperaturen von 50° bis 60° findet eine gute Aufnahme statt. — Die Aufnahmegefäße erreichen heute Größen mit einem Durchmesser bis zu 5 m. Sie enthalten bei einer Schütthöhe von etwa 2 m fast 15 t Aktivkohle. Die Zahl der erforderlichen Aufnahmegefäße richtet sich naturgemäß nach dem Anfall an Flüssiggas.

Je größer eine solche Anlage ist, um so schwieriger wird die ordnungsgemäße Bedienung durch Handarbeit. Hier kann nur eine gute automatische Einrichtung helfen. Diese Aufgaben sind heute so gut gelöst, daß ein Eingreifen durch das Bedienungspersonal praktisch fortfällt. Dabei müssen nur sämtliche Beobachtungsapparate in einem Raum zusammengefaßt sein, und außerdem muß vorgesehen werden, daß die Apparate beispielsweise bei Stromausfall oder sonstigen Störungen mit der Hand bedient werden können. Wie schon angedeutet, müssen die anfallenden Erzeugnisse (Flüssiggas und Benzin) einer fraktionierten Destillation, der Stabilisation, unterworfen werden. Diese hat den Zweck, einerseits ein von Flüssiggas freies Benzin und andererseits ein Flüssiggas mit einem Reinheitsgrad von mehr als 80% zu erhalten. Das Schema einer solchen Stabilisationskolonne ist in der Abb. 5 wiedergegeben; ihre Arbeitsweise ist folgende^{*)}:

Während des ganzen Betriebes steht die Anlage unter einem Druck von 10 bis 20 atü. In dem mittleren Teil der Kolonne wird das zuvor in einem Wärmeaustauscher vorgewärmte Rohbenzin aufgegeben. Das Flüssiggas wird vor Eintritt in die gleiche Kolonne auf den Arbeitsdruck von 10 bis 20 atü verdichtet. Der in der zweiten Stufe des Verdichters anfallende Anteil wird auf den Kopf der Kolonne zugegeben.

Die eingeführten Erzeugnisse fließen in der Kolonne abwärts, während ihnen der Gas- und Dampfstrom entgegenkommt. Von Boden zu Boden herrscht eine Gegenstromauswaschung, wie in jeder Rektifizierkolonne. Als Ergebnis ziehen aus dem Kopf der Kolonne nur die Flüssiggasanteile frei von Benzin ab, die dann im Kühler, der gleichfalls unter Druck steht, niedergeschlagen werden. Das Flüssiggas gelangt in einen Abscheider, aus dem die nicht verflüssigbaren Anteile, die zusammen mit dem rohen Flüssiggas in die Kolonne eingebracht wurden, entweichen, während das Flüssiggas selbst in die Vorratsbehälter abströmt, aus denen es z. T. durch eine Pumpe als Rückfluß wieder auf die Kolonne gegeben wird, um deren Arbeit zu erleichtern. Das in der Kolonne von allen Flüssiggasen befreite Benzin fließt am Fuß der Kolonne ab, durchströmt einen Wärmeaustauscher und gelangt in einen Kühler. Hier wird es entspannt, um als Kraftstoff verwendet zu werden.

Durch Einbau von Reglern für den Druck, für die Zuflußmengen und für die Temperatur arbeitet die Anlage vollkommen selbsttätig und gleichmäßig. Bei einer geeigneten Einstellung von Kopf-temperatur, Druck in der Kolonne und Rückflußmenge kann jeder Stabilisationsgrad des Benzins und absolute Benzinfreiheit der Flüssiggase erreicht werden.

Die in der Abb. 4 mit abgebildete Rektifizierkolonne ist eine Sonderausführung der Lurgi. Bei dieser wird der Gehalt der Stabilisationsgrenze an Flüssiggasen von vornherein dadurch stark gemildert, daß das rohe Flüssiggas durch Verdichtung auf einen besonders hohen Druck einer Vorverflüssigung unterworfen und dann der verflüssigte Teil auf einen Druck von 20 atü entspannt wird. Die bei der Entspannung wieder verdampfenden Anteile werden noch einmal durch die Aktivkohleanlage geschickt. Auf diese Weise wird erreicht, daß der größte Teil der unverflüssigbaren Fremdgase infolge des hohen Druckes besonders arm an Flüssiggasen ist und abgelassen werden kann, und daß durch die Kreislaufführung größere Verluste an Propan und Butan vermieden werden. Nach dieser Vorbehandlung wird das verflüssigte Flüssiggas und das instabile Leichtbenzin der Druckdestillationssäule zugeführt und rektifiziert. Das Abgas vom Kopf der Säule, dessen Anfall hier besonders klein ist, wird ebenfalls nochmals durch die Aktivkohle geschickt. Durch diese Verkoppelung von Aktivkohleverfahren und Stabilisation ist es möglich, neben dem gesamten Benzin bis zu 95% der im Gas enthaltenen Flüssiggase zu gewinnen.

Das so gewonnene Flüssiggas ist in der Regel ein Gemisch von C₂- und C₄-Kohlenwasserstoffen. Falls in diesem Gemisch die beiden Kohlenwasserstoffe Propan und Butan zu ungefähr gleichen Teilen vorkommen, entspricht es den Gütevorschriften für Flüssiggas-Treibgas und kann ohne weiteres als solches verwendet werden. Gemische, bei denen das Verhältnis 1:1 nicht besteht, sind als Treibgas nicht zu verwenden. In solchem Falle müssen dann die Gemische in ihre Bestandteile zerlegt werden, um anschließend in einem geeigneten Verhältnis gemischt zu werden. Eine Zerlegung kommt auch dann in Frage, wenn die Flüssiggase zu Synthese- oder anderen Zwecken verwendet werden sollen.

Zur Durchführung solcher Trennungsaufgaben sind neben der Stabilisierkolonne noch weitere Kolonnen erforderlich. Bei einer weiteren Kolonne z. B. kann noch das im Flüssiggas enthaltene Benzin am Fußende abgezogen werden, während das Flüssiggas in eine zweite Kolonne strömt, um hier in

^{*)} Nach W. Grimme, Angew. Chem. 51, 271 [1938].

Butan und Propan zerlegt zu werden: Das Butan fließt am Fußende ab, und das Propan zieht zum Kopf der Kolonne. Durch Einschalten einer beliebigen Menge von Kolonnen lassen sich auf diese Weise die Kohlenwasserstoffe in fast chemischer Reinheit gewinnen. Es ist auf diese Weise möglich, auch das Isobutan rein abzuscheiden.

Die aus den einzelnen Rohstoffquellen kommenden Flüssiggase zeigen eine verschiedene Zusammensetzung. So sind in den Flüssiggasen aus Erdgas nur die gesättigten Kohlenwasserstoffe Propan, Butan und Isobutan enthalten, das gleiche gilt auch für die Abgase der Hydrieranlagen. In dem Flüssiggas, das bei der Fischer-Tropsch-Synthese anfällt, ist der Gehalt der ungesättigten Anteile etwa 30 bis 40%, bei Schmelz- und Spaltgasen steigt dieser Gehalt sogar auf 50 bis 60%. Daraus geht hervor, daß der Gehalt an Ungesättigten beim Flüssiggas um so höher ist, je höheren Temperaturen das Ursprungsgas ausgesetzt gewesen ist. So steigt der Gehalt an ungesättigten Anteilen beim Koksogas auf 70%. Für die Verwendung im Motor spielt diese Zusammensetzung keine Rolle, nur da, wo die Flüssiggase zur Herstellung anderer chemischer Verbindungen herangezogen werden, sind die Ungesättigten höchst unerwünschte Begleiter.

Verwendung als Motoren-Treibgas

Die im Handel erscheinenden Flüssiggase der einzelnen Firmen, die als BV-, Deurag-, Leuna- oder Nitag-Treibgas gekennzeichnet werden, haben eine annähernd gleiche Zusammensetzung. Ihre wesentlichen Kennzeichen sind in der Zahlentafel 2 zusammengestellt.

Zahlentafel 2: Kennzeichen der handelsüblichen Flüssiggase

Propan-Butan-Treibgas (50/50)	22600
Unterer Heizwert 15°, 735 Torr (WE/m ³)	10950
Unterer Heizwert auf Gewicht bezogen (WE/kg)	2,06
Dichte des Gases 15°, 735 Torr (kg/m ³)	0,54
Dichte der Flüssigkeit bei 15° (kg/l)	-30°
Siedetemperatur bei 760 Torr	—
Kritische Temperatur	26,9
Luftbedarf für vollständige Verbrennung (m ³ /m ³)	13,1
Luftbedarf für vollständige Verbrennung (m ³ /kg)	

Zu diesen Flüssiggasen rechnet auch ein unter dem Namen Ruhrgasol vertriebenes Gemisch folgender Zusammensetzung²⁾:

- 54 Gew.-% Propylen, Butylen
- 17 Gew.-% Propan, Butan
- 15 Gew.-% Äthylen
- 17 Gew.-% Äthan
- 7 Gew.-% gelöste Gase (Methan, Kohlendioxid u. a.)

Aus der Zahlentafel 2 geht hervor, daß die Flüssiggase einen Heizwert von fast 23000 WE/m³ aufweisen. Da der Luftbedarf etwa 28 m³/m³ beträgt, liegt der Heizwert des Flüssiggas-Luft-Gemisches ebenso hoch wie der eines Benzin-Luft-Gemisches, d. h. bei 900 WE/m³, somit ist also 1 kg Flüssiggas 1 kg Benzin vollkommen gleichwertig. Gegenüber dem Betrieb mit flüssigen Kraftstoffen ergibt sich nach den Versuchen von Rixmann¹⁾ beim Betrieb mit Flüssiggas kaum ein Leistungsabfall, im Gegenteil ist bei höheren Motordrehzahlen eine Leistungssteigerung festzustellen, die von dem besseren Liefergrad gegenüber der unzulänglichen Kraftstoffzufuhr der üblichen Vergaser für diesen Drehzahlbereich herrührt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Zündung ist sehr klein und beträgt nur einen Bruchteil der Wasserstoffflamme. Dazu tritt noch eine hohe Klopfestigkeit: Verdichtungen von 1:10 können ohne weiteres getragen werden. Von den Flüssiggasen weist dabei Propan die höchste Klopfestigkeit auf, die derjenigen des Benzols gleichgesetzt werden kann. Propylen ist etwas

weniger klopfest, dann folgt das Butylen, während die Oktanzahlen von Butanen schon etwas unter dem des Isooktans liegen. Flüssiggase als Motortreibstoffe zeigen auch noch andere Vorteile:

1. Da sie gasförmig sind, ermöglichen sie ein rasches Starten auch im strengen Winter, da sich kein Kondensat bilden kann.
2. Die Mischung zwischen dem Flüssiggas und der Luft ist so ausgezeichnet, daß eine rauch-, geruch- und rauchfreie Verbrennung erfolgt.
3. Keine Ablagerungen („Harze“) an Zündkerzen, Kolben und Ventilen.
4. Keine Schmierölverdünnung.

Der letztere Punkt ist besonders wichtig. Beim Flüssiggas — das von allen Bestandteilen mit einem Siedepunkt über 20° frei sein soll (Gütevorschrift) — tritt entgegen dem

Gasentnahme bei senkrechter Flasche

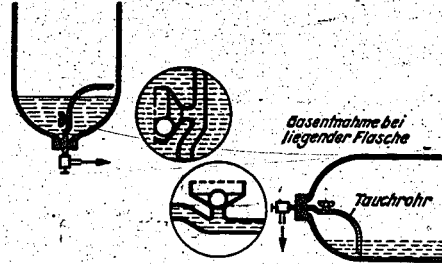


Abb. 6: Entleerung der Flaschen bei senkrechter bzw. waagerechter Anbringung

Benzin- oder Benzolbetrieb auch beim Anlassen bei kalter Witterung kein Niederschlag ein, so daß das Öl auf der Zylinderwand haften bleibt und diese geschont wird.

Bei der Entnahme der verflüssigten Gase aus den Flaschen muß darauf geachtet werden, daß sie nicht als Gas, sondern als Flüssigkeit entnommen werden. Wird nämlich das Gemisch der Gase aus dem über der Flüssigkeit befindlichen Gasraum entnommen, so tritt durch die Verdampfung eine Änderung des Gemisches ein, da nach dem Daltonschen Gesetz die der Flüssigkeit entzogene Dampfmenge sich nach dem Verhältnis der jeweiligen Teildrucke richtet. Die gelösten Gase, wie Methan und Äthan, würden zuerst entweichen, während die C₃- und C₄-Kohlenwasserstoffe ihrem Siedepunkte entsprechend folgen. Dadurch würde aber bei gleichbleibendem Luftstrom zuerst Kraftstoffüberschuß, also Luftmangel und somit eine unvollständige Verbrennung eintreten. Später würde dann Kraftstoffmangel, d. h. Luftüberschuß, vorhanden sein. Dadurch wird auch vermieden, daß durch die Verdampfungskälte die Flasche sich allmählich abkühlt und schließlich die Gasabgabe aufhört. Die Anbringung der Flaschen am Wagen in senkrechter oder waagerechter Stellung ist aus Abb. 6 ersichtlich. Um eine vollständige Entleerung der Flasche zu erreichen, ist ein Tauchrohr mit Kugelventil eingebaut. Ferner ist eine Überdrucksicherung eingelötet, die bei Wagenbränden wegschmilzt, so daß die Flasche nicht platzen kann³⁾.

In der Flasche herrscht stets der gleiche Druck. Es ist also — im Gegensatz zu den Dauergasen — nicht möglich, aus

¹⁾ F. Spansta, Treibstoffe für Verbrennungsmotoren, Berlin 1939, S. 271.

²⁾ W. Rixmann, Automobiltechn. 42, 14 [1940]

³⁾ F. Jentsch, Brennstoff- u. Wärmewirtsch. 22, 17 [1940]

04732

dem Druck auf den Inhalt der Flasche zu schließen. Der Inhalt kann nur gewichtsmäßig festgestellt werden. Ferner ist zu beachten, daß Butan bei 0° noch einen sehr niederen Dampfdruck hat, so daß bei starker Entnahme aus einer Flasche mit hohem Butangehalt durch die eintretende

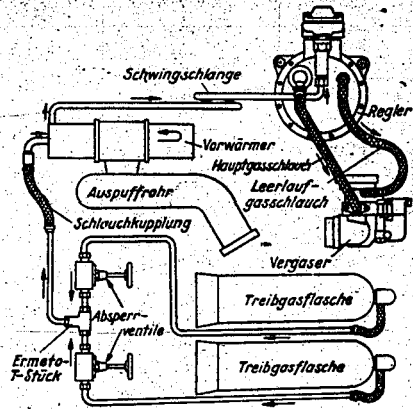


Abb. 7: Schematische Darstellung der Zuführung von Flüssiggas zum Motor

Abkühlung die Dampfentwicklung bald ganz aufhören kann. Um nun das Anbringen von Heizvorrichtungen zu vermeiden, wird Butan nicht allein, sondern in einer derartigen Mischung mit Propan oder Propylen gefällt, daß der Dampfdruck des Gemisches bei Temperaturen von -15° noch 0,5 atü übersteigt. So ist auch bei scharfer Winterkälte eine gute Entnahme gewährleistet.

Die Dämpfe der Flüssiggase sind ungiftig und greifen Metalle nicht an. Da die Gase nahezu geruchlos sind — oder sich wenigstens kaum unangenehm bemerkbar machen — ist man in Amerika dazu übergegangen, ihnen Geruchstoffe zuzusetzen, um ihr Ausströmen rechtzeitig zu bemerken. Bei der Lagerung und Belüftung ist zu beachten, daß die Gase wesentlich schwerer als Luft sind. Da fernerhin die

Zahlentafel 3: Flaschenmaße für Flüssiggas

	Flasche mit 22 kg Füllgewicht (z. B. Deurag)	Flasche mit 33 kg Füllgewicht (z. B. Leuna)	Flasche mit 46 kg Füllgewicht (z. B. B. V.)
Flaschenrauminhalt in l	60	79	108
Eigengewicht kg	30	39	53
Wärmeinhalt WE	241000	362000	505000
Wärmeinhalt entspricht Benzin (7800 kcal/l) l	31	46,5	64,8
Wärmeinhalt je Kilogramm Flaschengew. WE/kg	8000	9300	9500
Transportgewicht kg	52	72	99
Transportgewicht kg/1000 WE	0,216	0,198	0,195

Explosionsgrenzen zwischen 2 und 9% Gas/Luft liegen, müssen hinsichtlich der Lagerung dieselben Vorschriften wie bei Benzin beobachtet werden. Ferner ist noch darauf zu achten, daß beim plötzlichen Entspannen der Gase (Abblasen aus der Flasche) leicht elektrostatische Spannungen auftreten können, die zur Entzündung des Gases führen. Die Flasche muß daher bei solchen Maßnahmen gut geerdet werden.

108

Nach vielen Versuchen ist eine Einrichtung zum Einbau in den Motor geschaffen worden, um das Flüssiggas wirtschaftlich zu verwenden (Abb. 6). Das in den Flaschen unter einigen Atmosphären Druck stehende Flüssiggas wird von jeder Flasche durch eine Leitung aus Stahlrohr zu einem Absperrventil, das sich in Reichweite des Fahrers befindet, geführt. In dem Ermeto-T-Stück vereinigen sich die getrennten Speiseleitungen, und in einer gemeinsamen Leitung strömt das Flüssiggas zum Vorwärmer auf dem Auspuffrohr. Hier nimmt das Gas die zur Verdampfung erforderliche Wärme auf und tritt in den Eingangsstutzen des Druckreglers ein. Die im Vorwärmer an das Flüssiggas abgegebenen Wärmemengen müssen genügen, um die im Regler eintretende Abkühlung durch Verdampfung auszugleichen.

Den Regler verläßt das Gas bei der einen, älteren, Bauweise über zwei Schlauchleitungen (Hauptgasschlauch und Leertlaufgasschlauch). Diese enden in je einer am Benzingeraser eingesetzten Tülle (Abb. 7a). Die Begrenzung der Leertlaufgasmenge erfolgt durch die Düse K 861 in der Leertlaufdüse des Vergasers, während die Gasmenge für Vollast von der Gasblende TK 3067 bemessen wird. Es ist unzweckmäßig, die Leertlaufdüse in die am Regler befindliche Leertlaufdüse einzusetzen. Das am Reglerausgang befindliche Rückschlagventil TZK 277 ist beim Starten geschlossen. Dieses Ventil begünstigt das Ansprechen des Reglers, indem der über die Leertlaufleitung in das Reglergehäuse sich fortpflanzende Unterdruck durch das geschlossene Rückschlagventil in voller Höhe auf die Membrane des Reglers zur Auswirkung kommt.

Bei einem größeren Abstand zwischen Regler und Vergaser, was z. B. der Fall ist, wenn der erstere an der Spritzwand befestigt ist, hat sich die Anordnung nach Abb. 7b als günstig erwiesen. Man erreicht hierdurch bessere Übergänge von

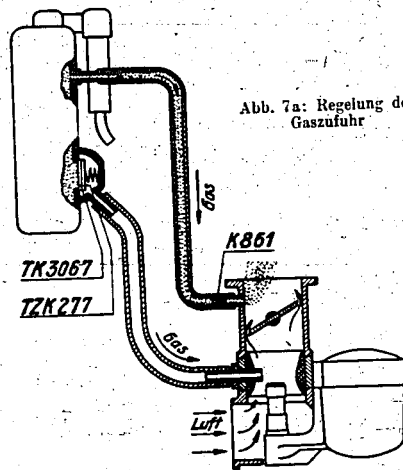


Abb. 7a: Regelung der Gaszufuhr

niederen zu höheren Drehzahlen. Das Gehäuse mit dem Rückschlagventil und der Gasblende befindet sich hierbei am Vergaser, und es führt nur ein Schlauch von 15 mm l. W. zur Austrittsstelle des Reglers.

In beiden Fällen wird das zündfähige Gemisch im Vergaser gebildet, und es gelangt auf dem üblichen Wege durch das Saugrohr in den Verbrennungsraum des Motors. Da am

Oel und Kohle Nr. 5. 1. Febr. 1942

04733

Benzinmotor in der Regel bei der Umstellung auf Treibgas keinerlei Veränderungen vorgenommen werden, ist hier eine weitere Schilderung nicht nötig.

Der Druckregler ist zweistufig ausgebildet, d. h. das Gas wird zunächst in einer Vorstufe auf 1,5 atü entspannt, während die restliche Entspannung auf einen Unterdruck von 5 bis 30 mm in einer zweiten Stufe erfolgt. Die erste Stufe enthält als Steuer und Abdichtungsglied eine Membrane aus Gummi-stoff, die unter dem Einfluß der Membranfeder nach unten durchgebogen wird. Bei dieser Durchbiegung drückt sie auf das Vorstufenventil und öffnet dasselbe. Dieses Ventil ist zwar federbelastet, d. h. die Ventillfeder versucht das Ventil zu schließen, doch ist die Ventillfeder wesentlich schwächer als die Membranfeder, so daß beim Fehlen eines Gegendruckes auf die Membrane das Gas frei einströmen kann. Von der 1. Stufe führt ein Überströmungskanal zum Ventil der 2. Stufe, das im Ruhezustand durch eine hügel-förmige Feder geschlossen gehalten wird. Durch eine Vor-richtung steht dieser Federbügel mit der Membrane der zweiten Stufe derart in Verbindung, daß das Ventil sich öffnet, sobald die Membrane unter der Einwirkung des vom Motor erzeugten Unterdruckes bewegt wird.

Das Ventil der zweiten Stufe ist zugleich ein automatisches Abschlußventil, d. h. sobald der Motor steht und folglich kein Unterdruck mehr auf die Membrane der 2. Stufe ein-wirkt, schließt dieses Ventil die Gaszufuhr ab¹²⁾. Da sich bei gewöhnlicher Temperatur Propan bei 8 und Butan schon bei 2,5 atü verflüssigen lassen, kann man sie in ver-hältnismäßig dünnwandige Flaschen abfüllen. Diese Leicht-stahlflaschen sind aus legierten Stählen mit einer Festigkeit bis zu 80 bis 120 kg/mm² mit Wandstärken von etwa 3,5 mm hergestellt¹³⁾. Gemäß eines Ministerialerlasses vom 13. Juni 1936 sind diese Leichtstahlflaschen für alle Gase zugelassen. In der Zahlentafel 3 sind die heute gebräuch-lichen Flaschen mit ihrem Inhaltsgewicht zusammengestellt.

Die Flüssigkeitsflaschen werden in der Regel an der Längs-seite des Fahrgestells angebracht (mit Neigung des Ventils nach unten) und mit einem Schutzblech gegen Sonnen-strahlung und Steinschlag versehen. In einzelnen Fällen kann auch die Anbringung (stehend) unmittelbar hinter dem Fahrersitz oder am Hinterende des Wagens vorteilhaft sein. Das Ventil ist auch in diesem Falle nach unten gerichtet. An einem leichten Lastwagen lassen sich zwei, an einem schwereren vier Flaschen einbauen. Das Tanken von Flüssig-gas geschieht durch Austausch der leeren Flaschen gegen frisch gefüllte.

Die Einbaukosten einer Treibgasanlage sind heute ein-heitlich geregelt und belaufen sich auf etwa 250,— RM. Hierzu kommen dann geringe Gebühren für die Abnahme.

Weitere Sonderauslagen entstehen nicht. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß z. T. durch die Ermäßigung der Kraftwagensteuer um 50% diese Unkosten bald wieder herausgewirtschaftet sind, so daß allmählich eine Er-sparnis entsteht. Der Preis für das Flüssiggas ist einheitlich

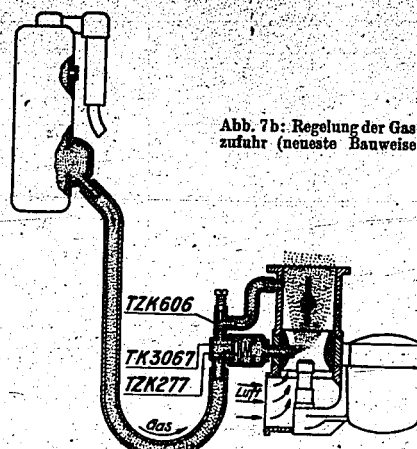


Abb. 7b: Regelung der Gas-zufuhr (neueste Bauweise)

geregelt. Er liegt 15% unter dem Preis der gleichen Gewichts-menge Benzin. Die Flaschen bleiben im Besitz der Flüssig-gas-Erzeugerwerke und werden kostenfrei für eine bestimmte Zeit in Miete gegeben.

Mit der ständig größer werdenden Ausdehnung des Ver-brauchs an Flüssiggas erwies es sich immer notwendiger, den Umlauf der Flaschen durch in der Nähe des Verbrauchs gelegene Abfüllanlagen abzukürzen und damit den Flaschen-bestand besser auszunutzen. Die großen Firmen des Treib-gasgeschäftes errichteten solche Anlagen in allen Teilen des Reiches. Das Flüssiggas wird von den Abfüllanlagen des Herstellers in Eisenbahnkesselwagen besonderer Bauart, manchmal auch in Behälterkraftwagen, den Abfüllstellen zugeführt. Neuerdings wurden auch besondere Flüssiggas-Tankstellen für die unmittelbare Abgabe in die am Wagen angebrachten Flaschen eingerichtet. Unter anderem ver-wenden die Berliner Verkehrsbetriebe solche Anlagen¹⁴⁾.

¹²⁾ Hersteller der Treibgasanlage: Deutsche Vergasergesellschaft „Solex-Vergaser“.

¹³⁾ N. Christmann, Chem. Fabrik 11, 186 [1941].

¹⁴⁾ W. Salmikoff, Brennstoff- u. Wärmewirtsch. 21, 195 [1939].

Untersuchungen über die Anwendung hoher Drücke bei der Hydrierung in der UdSSR

In einer Sitzung über die Anwendung von hohen Drücken in der Chemie und der chemischen Technik am 7. Mai 1940 hat I. B. Rapoport über die neuesten Fortschritte und Aus-sichten in der Anwendung von hohen Drücken in der Industrie der Motorenkraftstoffe berichtet¹⁾.

Von den verschiedenen Methoden der Gewinnung von künst-lichen flüssigen Brennstoffen hat die destruktive Hydrierung von Kohle, Teer, Erdölrückständen und anderen hochmoleku-laren Produkten die höchste Entwicklung erfahren.

Nach diesem Verfahren werden aus Stein- und Braunkohlen 85 bis 95% in flüssigen Produkten gewonnen, aus denen darauf 40 bis 55% Benzin, bezogen auf Kohle, erhalten werden. Die erste Fabrik in Deutschland arbeitete bei einem Druck von 200 bis 250 atü. Zurzeit arbeiten die Fabriken der destruktiven Hydrierung der Kohle mit einem Druck von 700 atü.

Wie soll diese schnelle Erhöhung des Druckes erklärt werden? Der Grund liegt augenscheinlich darin, daß die Hauptprodukte, die nach dieser Methode verarbeitet werden, Stein- und Braun-kohlen sind. Aus den Mitteilungen von Pier sowie aus den Arbeiten, die in WNIGI durchgeführt wurden, folgt, daß die Tiefe der Umwandlung der Kohle in flüssige Produkte von der chemischen Zusammensetzung und dem Alter der Kohle abhängt; die Bedingungen der Hydrierung der Kohle sind deswegen verschieden. Es gibt eine Reihe von Kohlen, die unter 200 atü Druck nicht vollständig verflüssigt werden und eine Ausbeute an flüssigen Produkten von etwa 70% ergeben. Die Erhöhung des Druckes wirkt sich positiv auf die Voll-ständigkeit der Verflüssigung aus, und außerdem ist es augen-

¹⁾ Geleitete Übersetzung aus: Bull. Acad. Sci. URSS, Ser. chim., 1940, S. 970.

POOR
COPY 22

23

AMMONIAKWERK MERSEBURG
Gesellschaft mit beschränkter Haftung

04734

Deutsche Kraftfahrtforschung
im Auftrag des Reichs-Verkehrsministeriums

Heft 54

Nachweis der Schmierfilmdurchbrechung

durch Messen des elektrischen Übergangswiderstandes
zwischen Kolbenring und Zylinder

Dr.-Ing. Reemt Poppinga VDI
Institut für Kraftfahrwesen
der Technischen Hochschule Dresden
(Leiter: Prof. Dr.-Ing. G. Beck VDI)

J.-Nr. D 2/196
Hauptbücherei
B.-Nr.

1941

VDI-Verlag GmbH · Berlin NW 7

12740

04735

Vorwort

Die Durchführung der vorliegenden Arbeit geschah im Rahmen des Forschungsprogramms des Reichsverkehrsministeriums im Institut für Kraftfahrwesen der Technischen Hochschule Dresden.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, an dieser Stelle Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Beck VDI für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für seine Ratschläge bei der Durchführung zu danken. Beim Aufbau der Versuchsanlage fand ich durch Herrn Elektromechanikermeister Liebsch wertvolle Unterstützung, für die ich dankbar bin. Herrn Ing. Richter, der umfangreiche Vorversuche durchgeführt hatte, verdanke ich manchen guten Rat. Schließlich möchte ich nicht vergessen, Herrn Dipl.-Ing. Bauernstein, ohne dessen Hilfe die Versuche nicht zu dem geforderten schnellen Abschluß hätten gebracht werden können, meinen besten Dank auszusprechen.

Dresden, 15. Februar 1940.

R. Popplaga VDI

D-88

Diese Arbeit wurde von der Technischen Hochschule Dresden als Dissertation genehmigt.

Alle Rechte vorbehalten · Copyright 1941 by VDI-Verlag GmbH, Berlin NW 7

Printed in Germany · Druck: Triasdruck GmbH, Berlin SW 68

DW 869

04736

04736

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Meßverfahren	1
21 Brauchbarkeit	1
22 Besondere Anforderungen	2
23 Elektrische Grundlagen der endgültigen Anordnung	3
3 Versuchseinrichtung	6
31 Maschineller Teil	6
311 Zylinder und Kopf	6
312 Kühlung	7
313 Schmierung	7
314 Filmantrieb und Kolbenwegübertrager	7
32 Elektrischer Teil	8
4 Versuchsergebnisse	9
41 Die Spannungs- und Widerstandsziehung	9
42 Aussagen über den Schmierzustand	13
421 Die Frage nach hydrodynamischen Gesetzmäßigkeiten	13
4211 Einfluß der Konstruktion	13
4212 Einfluß der Gleitgeschwindigkeit	14
4213 Einfluß der Gleitflächenbelastung	16
4214 Einfluß des Schmiermittels	21
422 Die Frage nach Grenzreibungsvorgängen	23
5 Zusammenfassung	26
6 Schriftumsverzeichnis	27

36710

04737

Übersicht der verwendeten Formelgrößen

E	[V]	Spannung im Hauptstromkreis
F	[m ²]	Reibfläche des Ringes
I	[A]	Strom im Hauptstromkreis
I_p	[A]	Strom im Parallelwiderstand
I_a	[A]	Übergangstrom zwischen Ring und Zylinder
N	[kg]	Normalkraft, hervorgerufen durch den Öldruck
p	[kg/m ²]	spezifische Lager- bzw. Ringpressung
R	[kg]	Reibungskraft längs des Umfangs
R_{L1}	[Ω]	Widerstand des Stromkabels von E_p -Klemme bis Zylinder
R_{L2}	[Ω]	Widerstand des Stromkabels von E_p -Klemme bis Gelenkverbindung
R_{L3}	[Ω]	Widerstand des Stromkabels von Gelenkverbindung bis Kolbenring
$\Sigma R_L = R_{L1} + R_{L2} + R_{L3}$	[Ω]	Summe aller die Messung beeinflussender Zuleitungswiderstände
R_p	[Ω]	Parallelwiderstand
R_v	[Ω]	Vorschaltwiderstand im Hauptstromkreis
R_z	[Ω]	Übergangswiderstand zwischen Ring und Zylinder
U_p	[mV]	Spannungsabfall im Parallelwiderstand
U_a	[mV]	Übergangsspannung zwischen Ring und Zylinder
v	[m/s]	Gleitgeschwindigkeit
α	[mm]	Ablenkung des Kathodenstrahls
η	[kg/m ² , F]	Zähigkeit
μ	[-]	Reibwert
ν	[m ² /s, cSt]	kinematische Zähigkeit
ρ	[m]	Abrundungshalbmesser der Ringkante
ω	[s ⁻¹]	Winkelgeschwindigkeit

1 Einleitung

Während die Erforschung der Lagerschmierung im Laufe der letzten Jahrzehnte einen großen Umfang angenommen hat, ist dem Schmiervorgang zwischen Kolbenring und Zylinder bisher kaum Beachtung geschenkt worden. Die häufig durchgeführten Reibungsmessungen an Kolbenringen im Zylinder [8, 20, 21, 22]¹⁾ haben, von geringen Ausnahmen abgesehen, kaum zur Klärung schmier-technischer Fragen beigetragen²⁾. Daher nimmt es auch nicht wunder, daß unser Wissen von dem Schmiervorgang im Zylinder noch äußerst mangelhaft ist und in keinem Verhältnis zu den hohen Anforderungen steht, die der moderne Motorenbau an die Zylinderschmierung stellen muß.

Dieser Mangel an schmier-technischen Erkenntnissen stellt sich naturgemäß der Klärung vieler mit der Schmierung zusammenhängender Fragen hemmend entgegen. So ergaben z. B. auch die im Institut für Kraftfahrwesen Dresden durchgeführten RVM-Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Zylinder- und Kolbenringverschleißes, daß viele Verschleißerscheinungen ohne ein tieferes Eingehen auf das Wesen des Schmiervorganges unerklärbar bleiben. Diese Erfahrung gab den eigentlichen Anstoß zu den schmier-technischen Untersuchungen, die Gegenstand vorliegender Arbeit sind.

In dieser Arbeit wird versucht, den elektrischen Übergangswiderstand zwischen Kolbenring und Zylinderlauffläche zur Kennzeichnung des zwischen beiden vorhandenen Schmierzustandes heranzuziehen. Zu dem Zweck wird eine Meßanordnung entwickelt, die es ermöglicht, Spannungsunterschiede zwischen Ring und Zylinder von Bruchteilen eines Millivolt (mV) bzw. eine Widerstandsänderung von einigen tausendstel Ohm (m Ω) bei laufender Maschine trägeitalos zu erfassen.

2 Meßverfahren

21 Brauchbarkeit

Das Meßverfahren setzt sich zum Ziel, dem Schmiervorgang zwischen zwei Gleitflächen durch Messung des elektrischen Widerstandes näher zu kommen. Zwar ist gegen derartige Messungen häufig der Einwand erhoben worden, daß die durch geringste Spuren von Säuren, Feuchtigkeit und Verunreinigungen stark beeinflussbare Leitfähigkeit des Öles [11] in die Meßergebnisse mit eingeht, so daß diese kein eindeutiges Maß für die Stärke des Schmierfilmes und damit für den Schmierzustand sein können. Für derartige Schichtdickenmessungen hat sich daher auch das kapazitive Verfahren, wie an Versuchsergebnissen vielfach gezeigt werden konnte [2, 14, 18], als zuverlässiger erwiesen. Offenbar hat aber die Angabe der Ölfilmstärke zur Kennzeichnung des Schmierzustandes nur im Gebiet der flüssigen Reibung einen tieferen Sinn, da im gesamten Gebiet der gemischten Reibung von ununterbrochenen Ölschichten bestimmter Stärke ja keine Rede mehr sein kann. Für diesen Fall liefert auch die Kapazitätsmessung keine Ergebnisse mehr, so daß man hier auf das Widerstandsverfahren angewiesen ist.

Da bei den geplanten Untersuchungen im Zylinder von vornherein weitgehend mit gemischter Reibung gerechnet wurde, was auch durch bereits veröffentlichte Vorversuche [1] bestätigt werden konnte, brauchte die Anwendung des Kapazitätsverfahrens gar nicht erst ins Auge gefaßt zu werden, und der Verfasser konnte sich sogleich für das Widerstandsverfahren entscheiden. Dieser Entschluß wurde noch durch die Tatsache bekräftigt, daß *Schering* und *Vieweg* [18] schon vor geraumer Zeit die Brauchbarkeit eines solchen Verfahrens zeigen konnten, wenn es sich um die Messung von Widerständen im Mischreibungsgebiet mit häufigen Durchbrüchen handelt. Bei Kugellagern fanden sie Widerstände in der Größenordnung von 0,1 bis zu 1 M Ω (Megohm), die nach ihren Aussagen nicht die Widerstände der Ölschicht, sondern Mittelwerte aus Stromstößen von Durchbrüchen waren.

Somit sind im Schrifttum nur ungenaue Zahlenangaben über die Größe des elektrischen Widerstandes zweier geschmierter Flächen im Mischreibungsgebiet zu finden [25]. Im allgemeinen ist die

¹⁾ Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Schrifttumsverzeichnis am Schluß der Arbeit.

²⁾ Nach Beendigung dieser Arbeit sind die auf mechanisch-optischem Wege durchgeführten Reibungsmessungen von *H. Tischbein* [20] bekannt geworden.

83740

04739

Anschauung verbreitet, daß bereits eine Ölschicht von geringster Stärke zwischen den Zacken zweier Gleitflächen einen Widerstand von einigen $M\Omega$ hervorrufe und daß dagegen schon die geringste Zackenberührung praktischem Kurzschluß mit dem Widerstand Null gleichkomme [2, 18]. Wie aber schon die Widerstandsmessungen von *Holms* [12] an Kontakten ergeben haben, sind die Widerstände bei vermeintlicher reiner metallischer Berührung meistens noch immer groß genug, um der Messung zugänglich zu sein. Aus den Ergebnissen *Holms* sowie anderer Forscher geht weiter hervor, daß der Übergangswiderstand auf Änderungen der Kontaktbelastung, die ein Maß für die wirklich leitende Berührungsfläche ist, sehr gut anspricht, wie Versuchsbeispiele an verschiedenen Metallkontakten nach Bild 1 zeigen. Häufig ergibt sich dabei sogar eine lineare Abhängigkeit zwischen Übergangswiderstand und Anpreßdruck.

Auch die Messung des Übergangswiderstandes zwischen Kolbenring und Zylinderwand fällt in diese Theorie von den Kontakten, wenngleich die Verhältnisse hier wesentlich verwickelter sind. Die Größe der metallischen Berührungsfläche ist hier gemäß der Begriffsbestimmung der Schmierzustände dem Anteil an „trockener Reibung“ verhältnismäßig. Entsprechend erhält man bei flüssiger Reibung (ohne metallische Berührung) den höchsten und bei trockener Reibung den geringsten Übergangswiderstand. Dabei ist allerdings zu bedenken, daß wegen der Bildung von molekularen Grenzschichten eine eigentliche trockene Reibung im Zylinder nicht zu erzielen ist, so daß sich bei vermeintlicher trockener Reibung unerklärlich hohe Widerstände ergeben können. Auf diese Tatsache, die schon von *Watson* und *Menon* [25] angeführt wird, soll im weiteren Verlauf der Ausführungen noch näher eingegangen werden.

22 Besondere Anforderungen

Bekanntlich kann die Bestimmung des Widerstandes eines Leiters durch Messung des in ihm fließenden Stromes und des von ihm erzeugten Spannungsabfalls erfolgen. Ändert sich der Widerstand, so ändern sich normalerweise sowohl der Strom als auch die Spannung, doch gelingt es auch innerhalb gewisser Grenzen, eine dieser Größen konstant zu halten, so daß die andere Größe den Widerstandsänderungen unmittelbar verhältnismäßig ist. Alsdann ist zur Bestimmung dieser Änderungen nur die Messung einer einzigen Größe, nämlich eine Strom- oder Spannungsaufzeichnung erforderlich. Verwendet man dazu trägheitsbehaftete Meßgeräte wie Millivolt- oder Galvanometer, so erhält man nur bei sehr langsam verlaufenden Änderungen einwandfreie Ergebnisse. Bei schnellveränderlichen Vorgängen dagegen wird ein nicht genau festzulegender Mittelwert angezeigt, der von der Eigenfrequenz des Meßgerätes und von der Frequenz des Vorganges mit beeinflußt wird. In diesem Fall ist eine naturgetreue Wiedergabe der Änderungen nur mittels Schleifen- oder Kathodenstrahloszillographen, von denen der letztere praktisch trägheitslos arbeitet, zu erzielen.

Mit der Pontavi-Thomson-Meßbrücke konnte gezeigt werden, daß im Zylinder dauernd sehr schnell veränderliche Vorgänge auftreten. Ein genaues Abgleichen der Brücke bei laufender Maschine war nicht möglich, da das Galvanometer entsprechend den kurzzeitigen Widerstandsänderungen starken Schwankungen unterworfen war. Der auf diese Weise gemessene Wert von etwa $0,3 \Omega$ ist ein mit vielen Fehlern behafteter Mittelwert, und es kommt deshalb für die genaue Erfassung des Übergangswiderstandes zwischen Ring und Zylinder nur eine weitgehende trägheitslose Meßmethode in Betracht.

Im folgenden kommt eine Spannungsaufzeichnung mittels Kathodenstrahloszillographen zur Anwendung. Ob und unter welchen Umständen dabei der durch Kolbenring und Zylinder fließende Strom I_0 konstant gehalten werden kann, so daß zwischen Widerstand R_0 und Spannung U_0 ein lineares Gesetz besteht, mögen folgende Überlegungen zeigen.

Allgemein ist die Forderung nach dieser linearen Gesetzmäßigkeit nur zu erfüllen, wenn in dem Stromkreis ein hochohmiger Vorschaltwiderstand R_0 , gemäß Bild 2 vorhanden ist, der bei genügend großem Verhältnis R_0/R_0 ausschließlich die Größe

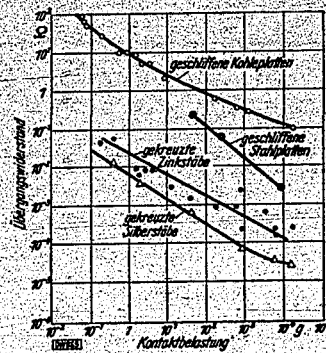


Bild 1. Übergangswiderstand von Kontakten in Abhängigkeit von der Kontaktbelastung. Nach R. Holms [12].

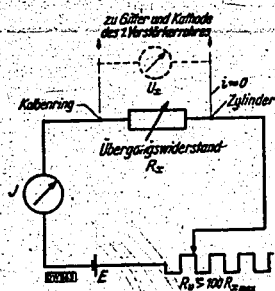


Bild 2. Schaltenschema zur Messung der Übergangsspannung U_0 zwischen Kolbenring und Zylinder.

des Stromes I_s bestimmt. So wird z. B. bei einem Vorschaltwiderstand von $10^4 \Omega$ der Strom I_s durch R_s -Schwankungen von 0 bis 100Ω nur um höchstens 1% verändert, so daß die gemessenen Spannungen den in diesem Bereich liegenden Übergangswiderständen mit großer Annäherung unmittelbar verhältnismäßig sind.

Soll das lineare Gesetz bei den Widerstandsmessungen im Zylinder eingehalten werden, so ist zunächst Klarheit darüber zu schaffen, in welchen Grenzen sich hier die Widerstandsänderungen überhaupt bewegen. Zu diesem Zweck wurde das in Bild 3 wiedergegebene Oszillogramm aufgenommen und mit bekannten Widerständen geeicht, wobei auf lineare Abhängigkeit zunächst keine Rücksicht genommen wurde. Die Übergangswiderstände bewegen sich hier etwa zwischen 0 und $1 M\Omega$, so daß bei einem Vorschaltwiderstand von etwa $100 M\Omega$ die oben geforderte lineare Gesetzmäßigkeit mit genügender Genauigkeit erreicht wäre. Die Spannung E und damit der Strom I sind dabei entsprechend der gewünschten Größe des Oszillogramms zu bemessen.



Bild 3. Spannungsoszillogramm über dem Kurbelwinkel. Eichung mit bekannten Widerständen.

Ohne auf weitere Einzelheiten des Oszillogramms einzugehen, sei doch auf die unübersichtbaren Widerstandsschwankungen hingewiesen, die offenbar daher rühren, daß ein dauerndes Festhaken und Wiederfreierwerden zwischen feinsten Oberflächenspitzen von Ring und Zylinder, möglicherweise auch zwischen molekularen Grenzschichten, stattfindet. Diese Unregelmäßigkeiten erstrecken sich auch bis in das Gebiet der höchsten Gleitgeschwindigkeit, ein Zeichen dafür, daß nicht einmal hier reine flüssige Reibung erreicht wird. Noch weniger ist dies natürlich an den Totpunkten der Fall, wo der große Anteil an „trockener Reibung“ (Grenzreibung) dadurch zum Ausdruck kommt, daß die Schwankungen um einen sehr niedrigen mittleren Widerstand erfolgen, der im Grenzfall völligem Kurzschluß gleichkommt.

Es zeigt sich also, daß schon Oszillogramme dieser Art gewisse Aussagen bezüglich des Schmierzustandes entlang der Gleitbahn ermöglichen. Jedoch ist kaum anzunehmen, daß Einflüsse der Betriebsbedingungen auf den Schmiervorgang — wie z. B. Drehzahl, Temperatur und Druck — in derartigen Oszillogrammen klar erkennbar sein werden, da die unübersichtbaren Schwankungen das Bild zu stark stören. Außerdem sind irgendwelche Widerstandsänderungen am Totpunkt wegen ihrer geringen Größe überhaupt nicht wahrnehmbar, obwohl ihnen höchste Bedeutung zukommt, da hier die ungünstigsten Schmierbedingungen vorliegen und damit hier der größte Verschleiß eintreten wird.

Daraus ergibt sich die Forderung, die Empfindlichkeit des Meßverfahrens so zu erhöhen, daß auch sehr geringe Widerstandsänderungen noch meßbare Ausschläge ergeben. Dabei muß aber eine zwangweise Begrenzung des Meßbereiches nach oben vorgenommen werden, da andernfalls die Höchstablenkung des Strahles über den Schirm des Rohres hinausgeht.

Unter Verzicht auf die lineare Spannungsabhängigkeit ist die erstgenannte dieser beiden Forderungen durch Verwendung hoher Ströme zu erreichen und die zweite durch Parallelschalten eines Widerstandes zum System Ring—Zylinder.

23 Elektrische Grundlagen der endgültigen Anordnung

Mit einem dem Übergangswiderstand R_s parallel geschalteten Widerstand R_p gemäß Bild 4 ergibt sich nach Kirchhoff für die Spannung U_s die Beziehung:

$$U_s = I \frac{R_p R_s}{R_p + R_s} \quad [\text{mV}] \quad (1)$$

An Stelle eines linearen Gesetzes ist also ein Hyperbelgesetz mit der Asymptote $U_{s, \text{max}} = I R_p$ getreten. Die zweckmäßige Umformung dieser Gleichung in die Formen:

$$\frac{U_s}{I R_p} = \frac{I_s}{I} = \frac{1}{1 + (R_p/R_s)} \quad (2)$$

oder

$$\frac{U_s}{I R_p} = \frac{I_s}{I} = \frac{1}{1 + (R_p/R_s)} \quad (3)$$

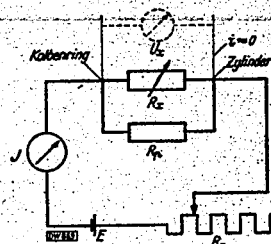


Bild 4. Schaltenschema zur Messung der Übergangsspannung U_s zwischen Kolbenring und Zylinder. Parallelwiderstand R_p zur Begrenzung des Meßbereiches.

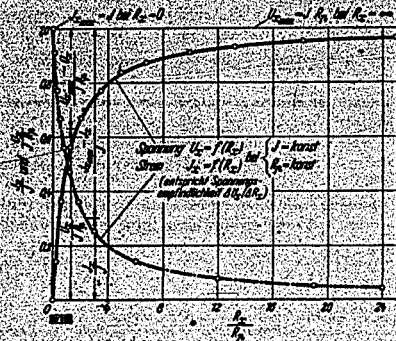


Bild 4

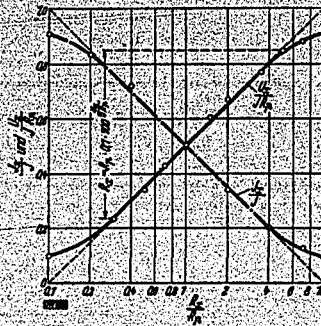


Bild 5

Bild 5. Übergangsspannung U_a und -strom I_a in Abhängigkeit vom Übergangswiderstand R_a .

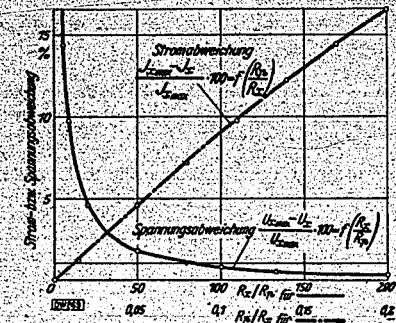


Bild 7

Bild 6. Darstellung der Kurven $U_a = f(R_a)$ und $I_a = f(R_a)$ nach Bild 5 als Exponentialfunktion.

Bild 7. Prozentuale Abweichung der Werte für U_a und I_a vom Höchstwert in Abhängigkeit vom Übergangswiderstand R_a (R_a/R_0 bzw. R_0/R_a).
 $I_a = I_{a \max}$; $U_a = U_{a \max}$ bei $R_a = \infty$.
 Gesamtstrom $I = \text{konst}$.
 Parallelwiderstand $R_p = \text{konst}$.

ermöglicht eine anschauliche Kurvendarstellung. Wenn berücksichtigt wird, daß I und R_p beim Versuch konstante Größen sind, so ergeben sich nach Bild 5 die beiden Kurven:

$$U_a = f(R_a) \quad (4)$$

und

$$U_a/R_a = I_a = f(R_a) \quad (5)$$

Dabei begrenzt die Asymptote I/R_p , die mit der U_a -Kurve bei $R_a = \infty$ einen Schnittpunkt ergibt, den Meßbereich nach oben. Von der Wahl des Stromes I und des Widerstandes R_p hängt es also ab, welchen Wert die Höchstspannung $U_{a \max}$ bzw. die Höchstablenkung α_{\max} des Kathodenstrahls erreichen. Da hier mit dem Verstärker nur im linearen Bereich gearbeitet wurde, ist der Ausschlag α der Übergangsspannung U_a unmittelbar verhältnismäßig.

Die U_a/R_a -Kurve, die auch durch Differentiation der U_a -Kurve gefunden werden kann, läßt eine Aussage über die Spannungsempfindlichkeit der Schaltung zu, wobei darunter das Verhältnis der wahrnehmbaren Ausderung eines Meßgerätes (U_a in Skalenteilen oder V, α in mm) zur verursachenden Größe (Übergangswiderstand R_a in Ω) verstanden wird; also hier:

$$\frac{\Delta U_a}{\Delta R_a} \left[\frac{V}{\Omega} \right] \quad \text{oder} \quad \frac{\Delta \alpha}{\Delta R_a} \left[\frac{\text{mm}}{\Omega} \right]$$

Wie Bild 6 zeigt, kann das Hyperbelgesetz in einem bestimmten R_a -Bereich mit großer Annäherung als Exponentialfunktion dargestellt werden.

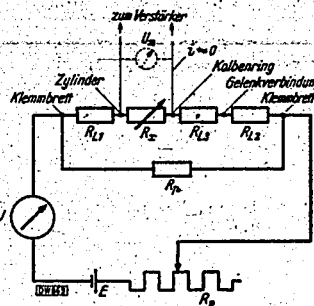


Bild 8. Schaltenschema zur Spannungsmessung mit eingezeichneten Zuleitungswiderständen R_{L1} , R_{L2} , R_{L3} (vgl. auch Abschn. 41).

84180

04742

Trägt man die prozentuale Abweichung der U_s - bzw. I_s -Werte vom Höchstwert in Abhängigkeit vom Verhältnis R_p/R_s bzw. R_s/R_p auf, so erhält man die beiden in Bild 7 dargestellten Kurven. An ihnen soll gezeigt werden, daß die theoretisch erst bei $R_p/R_s = \infty$ erreichten Maximalwerte praktisch schon bei etwa $R_p/R_s = 100$ bzw. $R_s/R_p = 0,01$ angenommen werden können, da die Abweichung hier schon weniger als 1% beträgt.

Wird also beispielsweise mit einem Parallelwiderstand $R_p = 0,01 \Omega$ gearbeitet, so ist der maximale Ausschlag schon bei einem R_s -Wert von $100 R_p = 1 \Omega$ bis zu 99% erreicht, so daß alle über 1Ω liegenden Übergangswiderstände praktisch denselben Ausschlag ergeben. Für den später festgelegten Höchstauschlag von 60 mm, der bei Änderung des Übergangswiderstandes von $R_s = 0$ auf $R_s = \infty$ erreicht wird, bedeutet das, daß sich schon bei Änderung von $R_s = 0$ auf $R_s = 1 \Omega$ ein Ausschlag von 64,35 mm ergibt. Man sieht also, daß es mit Hilfe eines parallel geschalteten Widerstandes gelingt, den Meßbereich nach oben zu begrenzen.

Die oben angeführten Beziehungen sind nur für den Fall gültig, daß der Parallelwiderstand unmittelbar an Kolbenring und Zylinder angeschlossen ist, was praktisch undurchführbar ist. Die Widerstandsanschlüsse lassen sich nur außerhalb der Maschine anbringen, so daß zwischen diesen und den Spannungsdrähten gemäß Bild 8 noch Leitungswiderstände liegen. Wenn diese auch das Gesetz für U_s nicht grundsätzlich ändern, so setzen sie doch je nach Größe die Empfindlichkeit vor allem im niedrigen R_s -Gebiet stark herab.

Die neue Gleichung für U_s ergibt sich wieder aus den Kirchhoffschen Gesetzen:

$$I_s = I - I_p \tag{6}$$

$$I_s = \frac{E}{R_s + \Sigma R_L}; \quad I = \frac{E}{R_{ges}}; \quad I_p = \frac{E}{R_p} \tag{7}$$

Aus Gl. 6 und 7 folgt:

$$R_{ges} = \frac{R_p (R_s + \Sigma R_L)}{R_p + (R_s + \Sigma R_L)} \tag{8}$$

$$I_p = I \frac{R_{ges}}{R_p} \quad \text{und} \quad I_s = I \left(1 - \frac{R_{ges}}{R_p} \right) \tag{9}$$

Aus Gl. 8 und 9 folgt:

$$I_s = I \frac{R_p}{R_p + R_s + \Sigma R_L} \tag{10}$$

$$U_s = I \frac{R_p R_s}{R_p + R_s + \Sigma R_L} \tag{11}$$

Diese Form der Gleichung erfährt noch eine kleine Abänderung, da das an den Kolbenring anzuschließende Spannungskabel wegen Platzmangels nur bis zum Gelenk geführt werden konnte. Dadurch liegt dauernd der konstante Widerstand des Stromkabels vom Gelenk zum Ring in Reihe mit dem sich ändernden Übergangswiderstand R_s . Dieser konstante Widerstand bewirkt eine Verschiebung des Nullpunktes auf der U_s -Achse und ergibt eine flachere Hyperbel, setzt also die Empfindlichkeit herab. Die Gleichung lautet dann:

$$U_s = I \frac{R_p (R_s + R_{L2})}{R_p + R_s + \Sigma R_L} \tag{12}$$

Die mit dieser Gleichung errechneten Spannungen müssen mit den Meßergebnissen übereinstimmen, was weiter unten gezeigt werden soll.

3 Versuchseinrichtung

Einen Überblick über die Versuchsanlage gewährt Bild 9. Da die Versuche nach Ausbruch des Krieges beschleunigt beendet werden mußten, verblieb für den wünschenswerten geschlossenen Aufbau der Anlage keine Zeit. Die Meßeinrichtungen sind daher zum Teil nur behelfsmäßig aufgestellt worden. Das gilt vor allem für den Verstärker, dessen Röhren völlig frei und ohne jede Abschirmung auf dem Meßtisch stehen. Da bekanntlich einfache Dreipolröhren vom Typ REN 904 und 914 gegen schlechte Abschirmung verhältnismäßig unempfindlich sind, wurden sie als besonders geeignet für diesen Zweck angesehen und kamen daher zur Anwendung.

Trotz dieser scheinbaren äußeren Mängel wurden aber dennoch mit dieser Einrichtung einwandfreie Meßergebnisse erzielt, was die späteren Ausführungen noch zeigen werden.

Das grundlegende Schema der Versuchsanordnung zeigt Bild 10. In dem Hauptstromkreis sind Kolbenring und Zylinder parallel zu einem Begrenzungswiderstand R_p geschaltet. Die vom Zylinder und der Gelenkverbindung (Kolbenring) abgegriffene Spannung wird über den dreistufigen Verstärker an das eine Plattenpaar des Braunschen Rohres gelegt.

Um zu jeder Zeit den Übergangswiderstand zwischen Kolbenring und Zylinder bei Stillstand der Maschine messen zu können, wurde in den Hauptstromkreis noch eine Pontavi-Thomson-Meßbrücke

51740

04743



Bild 9. Ansicht der gesamten Versuchsanlage.

- 1. Versuchszylinder
- 2. Verstärker
- 3. Braunschweiger Rohr
- 4. Flussschichtung
- 5. Zeiss-Ikon-Verstärker
- 6. Pontavi-Thomson-Schleifdraht-Meßbrücke

(Hartmann & Braun) geschaltet, die im Schema der besseren Übersicht wegen nicht mit eingezeichnet ist. Die Spannung muß dann an der Meßdiagonalen der Brücke abgegriffen werden, zu welchem Zweck das fest eingebaute Galvanometer überbrückt wurde und zwei Spannungsanschlüsse nach außen abgeführt wurden.

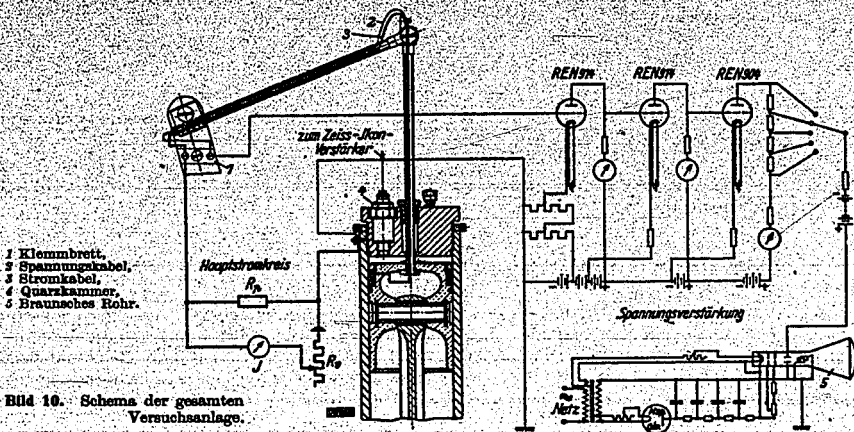


Bild 10. Schema der gesamten Versuchsanlage.

Wie die später angeführten Messungen ergaben (vgl. Bild 18), ändert die Zwischenschaltung dieser Brücke in den Stromkreis an den elektrischen Verhältnissen nur insoweit etwas, als der Stromverbrauch der Brücke die abgegriffene Spannung verringert.

31 Maschineller Teil

Der Aufbau des maschinellen Teiles der Versuchsanlage geht aus Bild 11 hervor, und stützt sich auf die aus den Vorversuchen*) gewonnenen Erfahrungen [1].

311 Zylinder und Kopf

Unter Beibehaltung des Triebwerkes wurden an einem alten Einzylinder-Verbrennungsmotor Kolben, Zylinder und Kopf umgestaltet, um einerseits zu einer heute üblichen Bauweise zu gelangen und andererseits einen Verdichterbetrieb mit veränderlichem Kompressionsraum zu ermöglichen. Da die Klärung grundsätzlicher Fragen des Schmiervorganges im Zylinder durch den Motorbetrieb stark erschwert wird, wurde zunächst bewußt auf diesen verzichtet und nur mit Fremdantrieb durch einen regelbaren Gleichstrommotor gearbeitet.

Der mit einem Kühlwassermantel umgebene Zylinder ist in seinem oberen Teil zum Aufschrauben des Kopfes mit Gewinde versehen, so daß das Verdichtungsverhältnis durch einfaches Drehen des Kopfes verändert werden kann. In dem Kopf sind eine Quarzkammer zur Messung des Druckverlaufes sowie zwei ungesteuerte Ventile angeordnet; die Verdichtung erfolgt dann im Zweitakt. Die durch

*) Diese Versuche führte Herr Ing. Richter vom hiesigen Institut durch.

derartige Ventile bedingte geringe Füllung kann hier in Kauf genommen werden, da lediglich hoher Verdichtungsdruck bezweckt wird, so daß jeweils nur die Undichtigkeitsverluste nachgesaugt werden müssen.

Der Zylinderkopf dient weiter zur Führung einer mit dem Kolben verschraubten Stange, in der die Strom- und Spannungsdrähte untergebracht sind, Bild 12. Die Abdichtung der Gleitstelle gegen den Verdichtungsraum erfolgt durch zusammengepreßte, mit Öl getränkte Asbestschnur, die sich besonders bei hohen Temperaturen als sehr wirksam und dauerhaft herausstellte.

312 Kühlung

Eine gleichmäßige Temperaturverteilung über den vom Kolben beschriebenen Teil der Zylinderwand wurde erreicht durch Umspülung des Zylinders mit einer von einer Sihi-Kühlmittelpumpe umgewälzten Wassermenge, die in einem Zwischenbehälter aufgeheizt werden konnte. Mehrere in der Wand angeordnete Thermoelemente ermöglichten eine dauernde Überprüfung der vorhandenen Temperaturen.

313 Schmierung

Um von der bei Kolbenmaschinen üblichen Schleuderschmierung freizukommen, bei der die an die Wand gelangende Ölmenge schwer zu bestimmen ist, wurde eine gesonderte Zylinderschmierung derart vorgesehen, daß das Schmieröl mittels Bosch-Einspritzpumpen vier am Zylinder verteilten Bohrungen zugeführt wurde. Dieses in Vorversuchen ermittelte Verfahren erwies sich als zweckmäßig, die Fördermenge von 0,015 g/U als ausreichend.

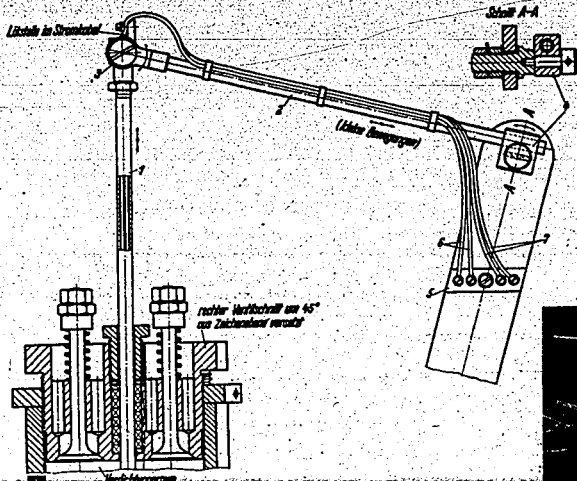


Bild 12. Führungsgestänge für Strom- und Spannungskabel.

- 1 vertikale Führungsstange,
- 2 horizontale Führungsstange,
- 3 Gelenkverbindung,
- 4 Gleitstück,
- 5 Klemmbrett,
- 6 Spannungskabel } für oberen und
- 7 Stromkabel } mittleren Ring.

Bild 11 (unten). Maschineller Teil der Versuchsanlage.

- 1 Versuchszylinder, 6 Ölpumpen,
- 2 Zylinderkopf, 7 Filmantrieb,
- 3 Quarzkammer, 8 Kurbelwinkel-
- 4 Führungsgestänge, 9 Übertrager (Span-
- 5 Kühlwasserpumpe, 10 Spannungsteiler).



314 Filmantrieb und Kolbenwegübertrager

Die Widerstandsänderungen wurden mit einer Filmtrommel (in Bild 9) aufgenommen, die von der Maschine unmittelbar angetrieben wurde. Die Zeit- und Totpunktmarkierung geschah durch Glühlampen.

Für die Beobachtung erwies es sich als nützlich, auf dem Schirm auch stehende Bilder zu erzeugen. Zu diesem Zweck wurden an das zweite Plattenpaar des Braunschweiger Rohres die von einem rotierenden Spannungsteiler abgegriffenen Spannungen gelegt. Der im hiesigen Institut entwickelte Spannungsteiler (8 in Bild 11) ist so gebaut,

daß seine Wicklung ein Zurückspringen der abgegriffenen Spannung vom Höchstwert auf den Wert Null möglich macht. Legt man den Umsprungpunkt in die Huhmitte hinein, so werden die Totpunkte vollständig abgebildet.

32 Elektrischer Teil

Die oszillierende Bewegung der Kolbenringe zwingt zur Anbringung besonderer Vorkehrungen für die Stromzuführung bzw. für den Spannungsabgriff. Von der Verwendung irgendwelcher Schleifkontakte soll deshalb abgesehen werden, weil diese selbst Widerstandsschwankungen unterworfen sind, die sich den Meßergebnissen überlagern würden. Starre Schraub- oder Lötverbindungen können aber nur unter Zwischenschaltung elastischer Glieder angebaut werden, wobei außerdem auf eine völlige Isolierung der Ringe vom Kolben und auf eine Abdichtung des Ringnutenraumes gegen den Kolbenhohlraum zu achten ist.

Diese Überlegungen führten zu der schon in Bild 12 gezeigten Kabelführung aus dem Zylinderkopf. Die Stromzuführung zu den Kolbenringen geht aus Bild 13 hervor, das auch erkennen läßt, in welcher Weise die beiden oberen Ringe gegen den Kolben isoliert sind. Der obere Teil des Kolbens wurde nach Abdrehen mit Gewinde versehen und ein entsprechender Drehkörper aus Isolierstoff aufgeschraubt. Unter Einhaltung der alten Spiele erfolgte dann das Einstecken der Nuten in den Isolierstoff. Diese sind damit 100%ig gegen den Kolben isoliert, so daß ausschließlich die Übergangsspannung an den Laufflächen, wie gefordert, erfaßt wird. Die Einzelteile des so umgebauten Kolbens sind aus Bild 14 zu ersehen.

Als Isolierstoff fand eine unter der Firmenbezeichnung „Jaroslaw Turbax“ bekannte Preßstoffmasse Verwendung, die allen hier auftretenden Beanspruchungen ohne merkliche Quellungen gewachsen war. Für Temperaturen über 140° C, wie sie im Motor zu erwarten sind, dürften derartige harzhaltige Preßmassen ungeeignet sein. Als dann vorteilhafterweise asbeethaltige Massen, die Temperaturen bis zu 300° C anstandslos ertragen, verwandt. So erwies sich z. B. der normalerweise als Bremsbelag verwandte Stoff „Bremsit“, trotzdem er wegen harter Stellen schwer bearbeitbar ist, als sehr zufriedenstellend. Die Isolation war allerdings nicht so gut wie bei den Kunstharzen, genigte indessen mit 0,3 bis 0,4 MΩ noch voll auf den Anforderungen.

Bevor diese Art der Isolation getroffen wurde, waren schon umfangreiche Versuche mit eloxierten Kolben gemacht worden, die aber nicht befriedigen konnten. Die Eloxierung⁴⁾ normaler Kolben aus der Al-Si-Legierung konnte den Isolationsanforderungen bei weitem nicht genügen, wies doch die Eloxalschicht nur einen Widerstand von etwa 5 bis 10 Ω auf. Bei Kolben aus der K-S-Seewasserlegierung, die von der Firma Mahle, Bad Cannstatt, eigens für diesen Zweck gefertigt wurden, wies die Schicht einen hohen Isolationswiderstand auf und zeigte bei kurzzeitigem Betrieb keine Beanstandungen. Leider war aber die dünne Schicht nur kurzzeitigem Betrieb gewachsen, da sie an den Nutenkanten schnell abgearbeitet war.

Diese Erfahrungen mit Eloxalschichten führten dann schließlich zu der oben beschriebenen Lösung. Allerdings wird durch die Kunststoffe der Wärmefuß vom Kolbenboden durch die Ringe an die Zylinderwand gestört, ein Nachteil, der besonders bei den später geplanten Motorversuchen stark ins Gewicht fallen wird. Er muß jedoch zur Wahrung einer ausreichenden elektrischen Isolation, die wohl kaum auf andere Weise erreicht werden kann, in Kauf genommen werden.

Wie schon kurz erwähnt, müssen Strom- und Spannungskabel gasdicht durch den Kolbenmantel an die Ringe geführt werden. Zu diesem Zweck wurde an letztere ein 0,1 mm starker Kupferblechstreifen gemäß Bild 13 angelötet, der den Ringen kleine radiale Bewegungen und in beschränktem Umfang auch eine gewisse Drehung innerhalb der Nut gestattet. Die an dem freien Ende des Blechstreifens angelötete Stiftschraube wird durch eine im Nutgrund befindliche Bohrung gesteckt und kann vom Innenraum des Kolbens durch eine Mutter dichtend angezogen werden. Die Stiftschraube, die natürlich mit der Kolbenwand keinen Schluß bekommen darf, besitzt eine genügende Länge, um noch die beiden Ösen des Strom- und Spannungskabels sowie eine Kontermutter aufzunehmen. Von diesen an den beiden obersten Ringen befindlichen Klemmstellen aus werden die Drähte durch ein mit dem Kolben verschraubtes Rohr nach außen geführt, wie in dem schon erwähnten Bild 12 angedeutet ist. Das Rohr ist über ein Gelenk mit einer horizontalen Führungsstange verbunden, an der die Drähte bis zum Klemmbrett entlang geführt werden.

Der Ausbildung der in Bild 15 dargestellten Gelenkverbindung und der Führung der Drähte an dieser Stelle wurde besondere Sorgfalt gewidmet. Die stromführenden Drähte sollen im Interesse eines geringen Eigenwiderstandes möglichst stark sein, da dieser Widerstand teilweise in die Meßergebnisse eingeht und die Empfindlichkeit herabsetzt, was noch näher begründet wird. Natürlich unterliegen starke und starre Drähte an der Knickstelle im Gelenk besonders großen Beanspruchungen,

⁴⁾ Die Eloxierung der Kolben führte das Versuchslaboratorium der Lautwerke durch, wofür an dieser Stelle gedankt sei.

TAT 20
ZAT 20

04746

1941

die leicht zum Zerreißen führen können. Aus diesem Grunde ist an der gefährdeten Stelle ein kleines Stück schmiegsamer Litze (nachteilig ist der hohe Eigenwiderstand) zwischengelötet, die allen auftretenden Bewegungen nachgeben kann. Nachteilig war nur, daß beim Abbauen der Maschine die Verbindungsstellen jeweils aufgelötet werden mußten.

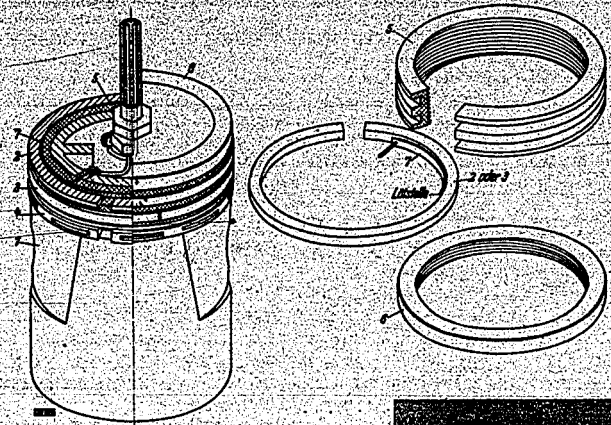
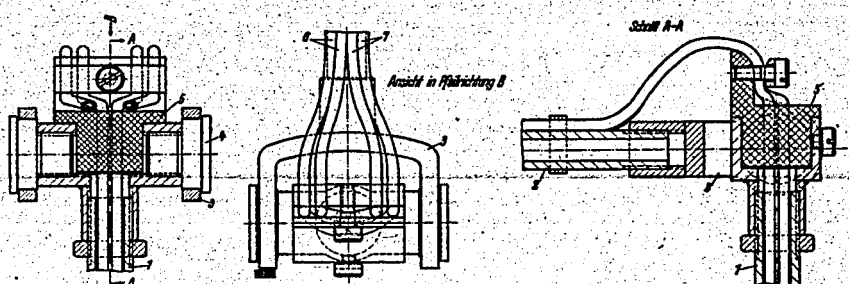


Bild 13 und 14 (links u. unten). Kabelanschlüsse für die Kolbenringe und Einzelteile des Kolbens.

- 1 Kolben,
 - 2 oberster Kolbenring,
 - 3 mittlerer Kolbenring,
 - 4 Ölabetreffring,
 - 5 Isolierkörper,
 - 6 Haltemutter,
 - 7 Kupferstreifen mit Stiftschraube.
- Zur Sichtbarmachung der Stromzuführung an den oberen und mittleren Kolbenring ist in Bild 13 die linke Hälfte des Kolbens in Mitte des oberen Ringes aufgeschnitten, während die rechte Hälfte in Ansicht gezeichnet ist.

Bild 15 (untere Bildreihe). Gelenkverbindung zwischen horizontaler und vertikaler Führungstange.

- 1 vertikale Führungstange,
- 2 horizontale Führungstange,
- 3 Gleitlager,
- 4 Gleitbohrer,
- 5 Isolierkörper,
- 6 Spannungskabel für oberen und mittleren Ring,
- 7 Stromkabel.



4 Versuchsergebnisse

4.1 Die Spannungs- und Widerstandselchung

Die festen im Schaltbild 8 bezeichneten Leitungswiderstände wurden mit der Pontavi-Thomson-Meßbrücke gemessen. Es ergaben sich folgende Mittelwerte:

- Widerstand des Stromkabels von R_1 -Klemme bis Zylinder $R_{L1} = 3,0 \cdot 10^{-3} \Omega$
- Widerstand des Stromkabels von R_1 -Klemme bis Gelenk $R_{L2} = 11,5 \cdot 10^{-3} \Omega$
- Widerstand des Stromkabels von Gelenk bis Kolbenring $R_{L3} = 5,5 \cdot 10^{-3} \Omega$

Summe der Leitungswiderstände $\Sigma R_L = 20,0 \cdot 10^{-3} \Omega$

31530

Die durch Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen sowie durch sonstige Einflüsse bedingten Abweichungen bewegten sich bei wiederholtem Messen um 2 bis 3%.

Die Größe des Stromes I ist abhängig von der Wahl des Parallelwiderstandes und von der geforderten Oszillogrammgröße α_{max} . Diese möchte bei dem hier benutzten Braunschen Rohr das Maß 65 mm nicht überschreiten, da sonst Ablenkungsfehler des Rohre oder Abbildungsfehler der Optik bereits eine Verzerrung bewirken, was Gelling [10] durch eine Rastereichung feststellte. Bei den weiter unten gezeigten Oszillogrammen ist dieser Höchstauschlag fast immer zugrunde gelegt.

Für einen gegebenen Parallelwiderstand, dessen Größe sich nach dem geforderten Maßbereich richtet, kann bei Kenntnis des Stromes I der Spannungsunterschied $U_{smax} - U_{smin}$ errechnet werden, der bei Änderung des Übergangswiderstandes von R_{smin} auf R_{smax} einen Kathodenstrahl-ausschlag von 65 mm hervorruft. Dabei ist R_{smin} der bei stillstehender Maschine gemessene Übergangswiderstand, während R_{smax} gemäß Bild 3 in der Gegend von 0,5 bis 1 M Ω liegt. Man begeht keinen großen Fehler, wenn man dafür den Wert ∞ setzt. Die diesen Widerständen zugeordneten Spannungen lassen sich durch folgende Gleichungen ausdrücken:

$$R_p = R_{smax} = \infty \quad U_{smax} = I R_p \quad (13)$$

$$R_p = R_{smin} \quad U_{smin} = I \frac{R_p (R_{smin} + R_L)}{R_p + R_{smin} + R_L} \quad (14)$$

Damit ergibt sich für den Spannungsunterschied der Ausdruck:

$$U_{smax} - U_{smin} = I R_p \frac{R_p + R_L - R_L}{R_p + R_{smin} + R_L} = \text{konst für 65 mm Gesamtausschlag} \quad (15)$$

Die Messung des Stromes I ermöglicht ein in den Stromkreis geschaltetes Amperemeter. Bei wechselweisem An- und Abklemmen eines der beiden Stromkabel wird der Ausschlag des Leuchtpunktes auf dem Rohr beobachtet und der Strom durch den Vorschaltwiderstand R, (vgl. Bild 8) so lange verändert, bis der gewünschte Ausschlag erreicht ist.

Daß das Meßverfahren in erster Linie eine hohe Spannungsempfindlichkeit aufweisen soll, kommt hauptsächlich die Parallelschaltung kleiner Widerstände und die Verwendung hoher Ströme in Frage. Die später besprochenen Oszillogramme sind deshalb auch mit einem Parallelwiderstand

$$R_p = 2,5 \cdot 10^{-3} \Omega$$

erhalten worden. Vergleicht man sie mit den wenigen Oszillogrammen, die mit einem einohmigen Widerstand aufgenommen wurden, so wird deutlich, wie durch entsprechende Bemessung des Parallelwiderstandes und des Stromes ein geforderter Meßbereich bzw. eine geforderte Empfindlichkeit verwirklicht werden kann.

Bei einem Parallelwiderstand von $2,5 \cdot 10^{-3} \Omega$ war laut Messung ein Strom

$$I = 1,8 \text{ A}$$

aufzuwenden, wenn der geforderte Wert

$$\alpha_{max} = 65 \text{ mm}$$

erreicht werden sollte.

Der Widerstand R_{smin} , der sich beim Stillstand der Maschine einstellt, kann je nach Ölart, Ringspannung, Temperatur usw. verschiedene Werte annehmen. In der frischgeöilten Maschine von Raumtemperatur (20° C) ergaben Messungen in verschiedenen Kolbenstellungen und zu verschiedenen Zeiten Schwankungen von etwa $\pm 5\%$. Für das hier benutzte Öl und für die beiden untersuchten Kolbenringtypen wurden folgende Mittelwerte gemessen:

1. Mittlere Ringspannung = 0,5 kg/cm²; $R_{smin} = 6,0 \cdot 10^{-3} \Omega$;
2. Mittlere Ringspannung = 2,5 kg/cm²; $R_{smin} = 4,2 \cdot 10^{-3} \Omega$.

Da in erster Linie der Ring mit schwacher Spannung untersucht wurde, soll die weitere Rechnung mit dem Wert $R_{smin} = 6,0 \cdot 10^{-3} \Omega$ durchgeführt werden.

Mit diesen Werten für R_p und R_{smin} errechnet sich für einen Ausschlag von 65 mm ein Spannungsunterschied von:

$$U_{smax} - U_{smin} = 1,8 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{17,0 \cdot 10^{-2}}{28,5 \cdot 10^{-3}} \text{ V,}$$

$$U_{smax} - U_{smin} = 2,7 \text{ mV} = \text{konst für 65 mm Gesamtausschlag.}$$

Nunmehr läßt sich der aufzuwendende Strom I für beliebige Parallelwiderstände errechnen nach:

$$I = \frac{2,7}{R_p} \frac{R_p + R_{smin} + 20}{R_p + 14,5} \text{ [A] für } \alpha_{max} = 65 \text{ mm} \quad (15)$$

Die Widerstände sind in $10^3 \Omega$ einzusetzen.

Die Kurve $I = f(R_p)$ ergibt bei logarithmischer Teilung der I- und R_p -Achse mit großer Annäherung eine Gerade. Man kann α_{max} bzw. $U_{smax} - U_{smin}$ sowie R_{smin} verändern und braucht jeweils nur zwei Punkte zu errechnen, um die Gerade ziehen zu können.

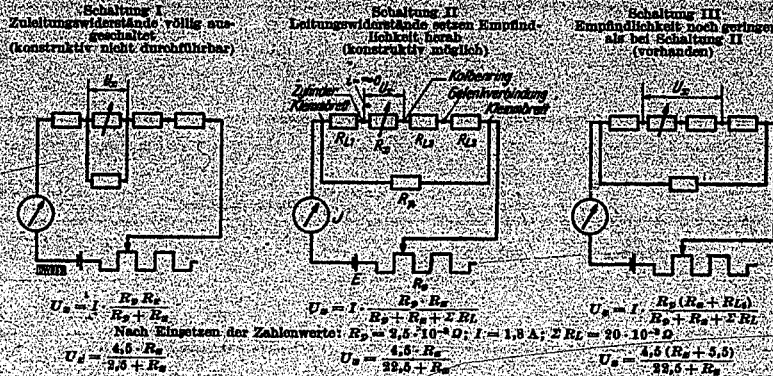


Bild 16 (obere Bildreihe): Zusammenstellung der drei durchgerechneten Schaltischemen.

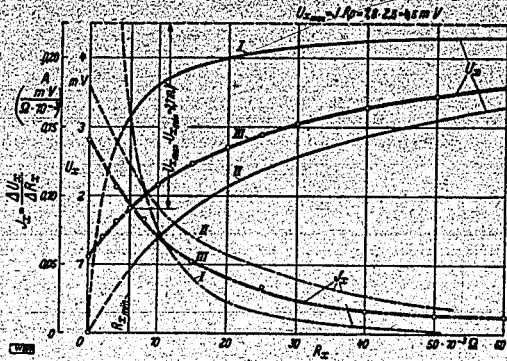


Bild 17: Übergangsspannung U_s (entspricht Kathodenstrahlenschlag α) und Übergangstrom I_s (= Spannungsempfindlichkeit) in Abhängigkeit vom Übergangswiderstand R_s bei den Schaltungen I, II, III nach Bild 16. $R_{s \text{ min}}$ = Widerstand bei Stillstand der Maschine.

Nachdem nunmehr die Leitungs- und Parallelwiderstände und die Ströme festliegen, kann die Spannung in Abhängigkeit vom Übergangswiderstand R_s errechnet und kurvenmäßig dargestellt werden. Zeichnet man die U_s - und I_s -Kurven der auf Seite 3 und 4 angegebenen drei Schaltischemen, die der Übersicht halber nebst den zugehörigen U_s -Gleichungen noch einmal in Bild 16 zusammengestellt wurden, über einer gemeinsamen R_s -Achse auf, so ergibt sich das Bild 17.

Eine vergleichende Betrachtung dieser Kurven, die alle einem Hyperbelgesetz folgen, gibt Aufschluß über den Einfluß der Leitungswiderstände auf die Spannung U_s und auf die Spannungsempfindlichkeit $\Delta U_s / \Delta R_s$. Dieser Einfluß ist bei der Schaltung I, die sich leider konstruktiv nicht verwirklichen läßt, völlig ausgeschaltet, da die Zuleitungen hier außerhalb der Verzweigung von R_s und R_2 liegen und lediglich die Wirkung von Vorschaltwiderständen ausüben. Bei den Schaltungen II und III liegen sie jedoch innerhalb der Stromverzweigung und bewirken wegen ihres eigenen Stromverbrauches eine Herabsetzung des Stromes I_s und der Spannung U_s . Wenn also bei allen drei Schaltungen gleicher Übergangswiderstand und gleicher Gesamtstrom angenommen wird, so ergibt sich für die Schaltung I die höchste Spannung.

Wegen der geringen Größe der Leitungswiderstände ($0,02 \Omega$) wirkt sich dieser Stromverbrauch aber nur bei kleinem Parallelwiderstand und hohem Gesamtstrom aus, und auch dann nur bei kleinen Werten von R_s . So ist in Bild 17 erst bei R_s -Werten unterhalb $0,01 \Omega$ ein Einfluß der Leitungswiderstände auf I_s zu beobachten. Wie man sieht, steigt die I_s -Kurve für die Schaltung I von diesem Punkt nach links sehr steil an; sie erreicht bei $R_s = 0$ den Wert $I_s = 1,8 \text{ A}$. In diesem Bereich haben die entsprechenden Kurven der Schaltung II und III einen verhältnismäßig sehr flachen Verlauf und erreichen bei $R_s = 0$ nur Höchstwerte von $I_s = 0,18$ bzw. $0,14 \text{ A}$, weisen hier also eine etwa 10mal so geringe Empfindlichkeit wie die Schaltung I auf.

84520

04749

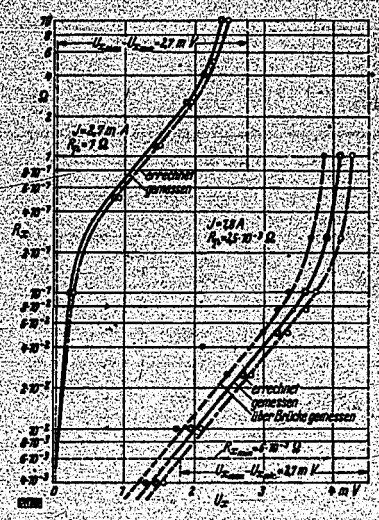


Bild 18. Vergleich der gerechneten mit der gemessenen Übergangsspannung U für die Schaltung III. U in Abhängigkeit vom Übergangswiderstand R_s .

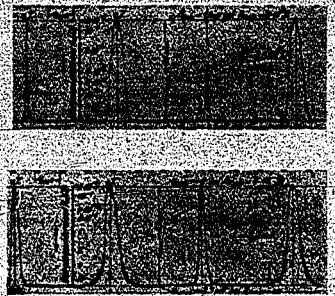


Bild 19. Beispiele für den Widerstandsmaßstab in den Oszillogrammen. Der Maßstab ist abhängig von J und R_s .

Allerdings kann in vorliegendem Fall die hohe Empfindlichkeit der Schaltung I gar nicht ausgenutzt werden, da im Versuchszylinder Widerstände unter $6,0 \cdot 10^{-3}$ bzw. $4,2 \cdot 10^{-3} \Omega$ (vgl. S. 10) nicht gemessen wurden. Bei $R_{s, \min} = 6,0 \cdot 10^{-3} \Omega$ liegen aber die Empfindlichkeiten der Schaltung I und II mit Werten von 0,155 bzw. 0,12 A schon ziemlich dicht zusammen, um schließlich bei $R_s = 8 \cdot 10^{-3} \Omega$ gleiche Größe anzunehmen. Hier hat demnach die Schaltung I gegenüber der Schaltung II keinerlei Vorteile mehr aufzuweisen; Schaltung II sollte jedoch unbedingt angestrebt werden, da sie in dem hier besonders interessierenden „Kurzschlußgebiet“ (6 bis $20 \cdot 10^{-3} \Omega$) eine um 20 bis 40% höhere Empfindlichkeit als die Schaltung III aufweist.

Einen Vergleich der errechneten mit gemessenen Spannungswerten ermöglicht das Bild 18, in dem der Übergangswiderstand in logarithmischem Maßstab aufgetragen ist. Dabei ist der gerechneten Kurve die Gleichung der Schaltung III, die ja tatsächlich vorhanden war, zugrunde zu legen:

$$1. R_s = 2,5 \cdot 10^{-3} \Omega \quad U_s = \frac{4,5 (R_s + 5,5)}{22,5 + R_s}$$

$$2. R_s = 1 \Omega \quad U_s = \frac{2,74 (R_s + 5,5)}{1020 + R_s}$$

Wie man sieht, ergibt sich eine gute Übereinstimmung des errechneten und gemessenen Kurvenverlaufes, wobei aber die gemessenen Werte wegen des Stromverbrauches von Meßgerät und Brücke unter den errechneten Werten liegen müssen, was auch tatsächlich der Fall ist.

Für die auf das erste Rohr des Verstärkers gelangenden Spannungen sind die errechneten Werte maßgebend, da zwischen Kathode und Gitter und damit auch in den Spannungsdrähten kein Strom fließt. Dieser Nachweis ist leicht zu erbringen, wenn die Ablenkung des Kathodenstrahls auf dem Braunschen Rohr mit den errechneten Werten in eine Beziehung gebracht wird. Dazu ist erforderlich, die Strahlablenkung α in mm auf dem Braunschen Rohr in Abhängigkeit von bekannten, geeichten Übergangswiderständen aufzunehmen, die an Stelle des Systems Kolbenring—Zylinder eingebaut werden. Dies ist in den Oszillogrammen nach Bild 19 angedeutet. Trägt man diese Abhängigkeit gemäß Bild 20 als Kurve auf, so ergibt sich ein Hyperbelgesetz, das mit dem der Spannungskurve des Bildes 21 übereinstimmen muß.

Diese Übereinstimmung von Rechnung und Messung wird besonders deutlich, wenn man die zu entsprechenden R_s -Werten gehörenden „Empfindlichkeiten“ übereinander aufträgt, also $\text{mm}/\Omega \cdot 10^{-3}$ über $\text{mV}/\Omega \cdot 10^{-3}$. Die sich auf diese Weise ergebende Kurve muß eine Gerade mit der Steigung 0,0416 mV/mm sein, so daß also der Gesamtausschlag $\alpha_{\max} = 65$ mm durch eine Spannung von $0,0416 \cdot 65 = 2,7$ mV erzielt wird, ein Wert, der weiter oben schon gefunden wurde. Wie man aus Bild 22 ersieht, läßt sich diese Gerade durch die eingetragenen Punkte sehr gut ziehen, so daß es gerechtfertigt ist, lediglich mit den gerechneten Größen zu arbeiten.

Mit dieser Geraden ist gleichzeitig der Nachweis einer geradlinigen Verstärkung erbracht.

04750

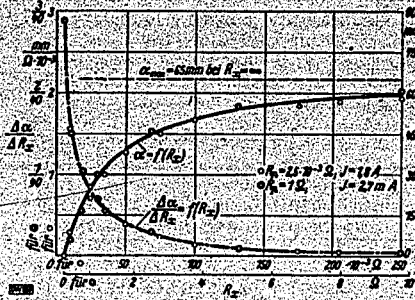


Bild 20.

Bild 20. Gemessene Ablenkung α des Kathodenstrahls und Empfindlichkeit $A \alpha / A R_e$ (Strahlablenkung je $1/1000 \Omega$) in Abhängigkeit vom Übergangswiderstand R_e .

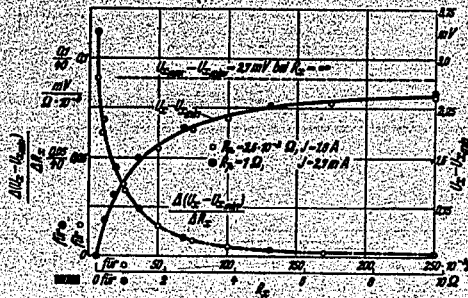


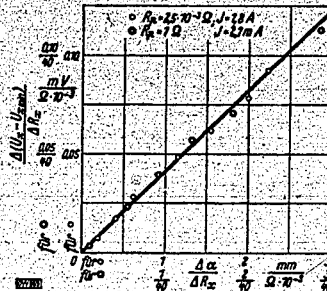
Bild 21.

Bild 21. Errechnete Übergangsspannung U_e und Empfindlichkeit $A U_e / A R_e$ (Übergangsspannung je $1/1000 \Omega$) in Abhängigkeit vom Übergangswiderstand R_e .

Bild 22. Errechnete Übergangsspannung U_e in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit $A \alpha / A R_e$ (Strahlablenkung je $1/1000 \Omega$).

$A(U_e - U_{e \text{ min}}) / A R_e = 1(d \alpha / d R_e)$
Steigung der Geraden:
 $2(U_e - U_{e \text{ min}}) / d \alpha = 0,0416 \text{ mV/mm}$
Spannung für 65 mm Ausschlag:
 $U_e \text{ max} - U_e \text{ min} = 0,0416 \cdot 65 = 2,7 \text{ mV}$.

Bild 22.



42 Aussagen über den Schmierzustand

Würde im bisherigen Teil der Arbeit das Verfahren der Widerstandsmessung grundsätzlich ausgeführt, so soll weiter seine Anwendung zur Beobachtung der Schmierfilmdurchbrechung zwischen Ring und Zylinder behandelt werden. Wenn dabei angenommen wird, daß eine gewisse Beziehung zwischen der Filmdurchbrechung einerseits und dem Verschleiß andererseits besteht, so entspricht das gleichermaßen den Ergebnissen von Vorversuchen wie der praktischen Erfahrung.

Um zu einer solchen Beziehung zu gelangen, wird man sich mit Vorteil auf die bisherigen Erkenntnisse der Forschung über Reibung, Schmierung und Verschleiß stützen. Wenn die Widerstandsmessung mit der Ermittlung der Reibungskraft, die das Ziel vieler Untersuchungen darstellt, auch nicht gleichbedeutend ist, so ist sie bezüglich der Erforschung des Verschleißes offenbar mindestens gleich geeignet. In jedem Fall wird auch sie Bezug nehmen müssen auf die bisher bekannt gewordenen Gesetze der flüssigen bzw. der gemischten Reibung, weshalb zunächst kurz auf diese eingegangen wird.

421 Die Frage nach hydrodynamischen Gesetzmäßigkeiten

Die volle Gültigkeit der hydrodynamischen Gesetze bei Reibungsvorgängen setzt bekanntlich ein bestimmtes Zusammenwirken von Konstruktion, Schmiermittel und Betriebsbedingungen voraus. Im folgenden soll an Hand der erhaltenen Oszillogramme untersucht werden, inwieweit beim Reibungsvorgang im Zylinder diese Voraussetzungen erfüllt sind.

4211 Einfluß der Konstruktion

Wie seit langem bekannt, ist die Bildung hydrodynamischer Drücke in einem Schmierfilm nur möglich, wenn dieser einen keilförmigen Querschnitt aufweist [9]. Um diese Forderung zu erfüllen, muß die bewegte Gleitfläche gegen die feste geneigt werden, wobei die Bewegung nach der angehobenen Kante hin erfolgen muß. Im allgemeinen kann dieses von der Konstruktion geforderte Hilfsmittel leicht verwirklicht werden, bei Gleitlagern bekanntlich einfach durch Anwendung von Lagerspiel. Handelt es sich um zwei parallel zueinander bewegte Gleitflächen, wie beim Kolbenring und Zylinder, so kann der keilförmige Querschnitt durch Brechen der Kolbenringkante hergestellt werden. Für den Fall einer abgerundeten Kante ist von Eweis [8] der Druck in der Schmier-schicht und deren Reibungswiderstand errechnet worden. Meistens weisen aber die gebrochenen Kanten keine bestimmte Profilform auf, da sie einfach durch Abfeilen erzeugt werden.

04751

04751

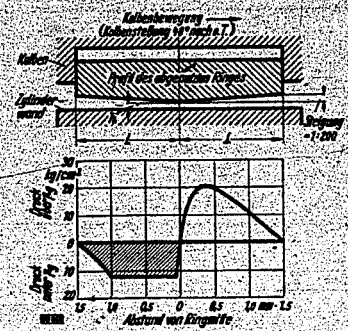


Bild 23. Errechneter dynamischer Öldruck längs einer abgenutzten Kolbenringlauffläche. Gasdruck in der obersten Ringnut: $p_g = 12 \text{ kg/cm}^2$; geringstes Spiel zwischen Ring und Zylinder: $s = 9,5 \mu$; halbe Ringhöhe: $L = 1,5 \text{ mm}$; Ölviskosität bei 85°C : $\eta = 0,1 \text{ P}$; Gleitgeschwindigkeit: $v = 12 \text{ m/s}$ (entspr. 2400 U/min); Kolbenstellung = 40°KW nach o. T. Nach R. Castleman [3].

Wie sich aus häufigen Messungen ergeben hat, schafft sich ein mit scharfer Kante eingebauter Kolbenring nach kurzer Betriebszeit aber auch selbst den gewünschten keilförmigen Querschnitt. Ein ursprünglich kreiszylindrischer Kolbenring wird nämlich durch den Verschleiß in die Form eines schlanken Doppelkegels überführt, wobei die auf den oberen und unteren Kegel entfallenden Höhenanteile nicht immer gleich sind [7]. Der Amerikaner Castleman [3] versucht, die durch solche beiderseitig abgeschrägten Laufflächen erreichbaren hydrodynamischen Drücke mit Hilfe der Gleichung von *Michell* rechnerisch zu erfassen. Die von ihm errechnete Druckverteilung ist in Bild 23 über der Kolbenringhöhe aufgetragen, wobei eine bestimmte Kolbenstellung mit entsprechender Gleitgeschwindigkeit, sowie Ölviskosität, Belastung usw. zugrunde gelegt ist.

Im vorliegenden Falle wurden alle Messungen lediglich mit gebrochenen Kolbenringkanten durchgeführt, um so jedenfalls von der konstruktiven Seite alle Voraussetzungen für die Bildung eines tragfähigen, hydrodynamischen Schmierfilms verwirklicht zu haben.

4212 Einfluß der Gleitgeschwindigkeit

Die für das Zapfengleitlager bei flüssiger Reibung häufig angewandten Gleichungen von der Form

$$R/N = \mu = 3,5 \text{ bis } 3,8 \cdot \sqrt{\eta \omega / P}$$

und nach anderen Versuchen [17, S. 6]

$$\mu = \text{konst} + \text{konst} \cdot \frac{\eta \omega}{P}$$

sind wegen anderer geometrischer Verhältnisse nicht ohne weiteres auf die Kolbenringreibung

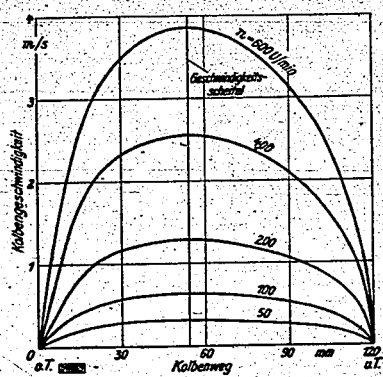
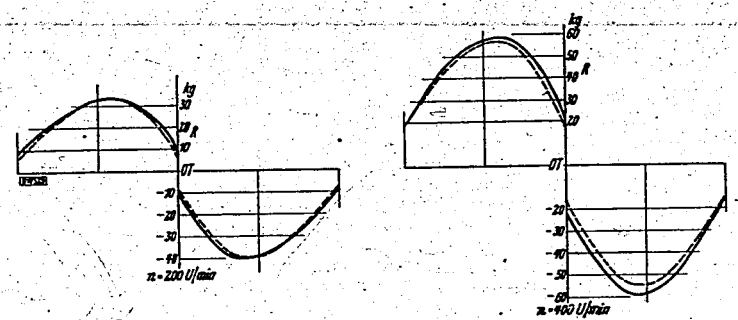


Bild 24 (links). Kolbengeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Kolbenweg. Schubbetagenverhältnis $\lambda = 0,214$.

Bild 25 (unten). Reibungskraft in Abhängigkeit vom Kolbenweg bei flüssiger Reibung. Ringkanten abgerundet.

Gasdruck in der obersten Ringnut: 20 at, mittlere spezifische Ringspannung: $0,3 \text{ kg/cm}^2$, Öltemperatur: 70°C , mittlere Gleitgeschwindigkeit: 2 m/s , Ölviskosität bei 60°C : $0,0051 \text{ kg/s/m}^2$. Nach M. Everts [8].



zu übertragen. Nach der von Eweis [8, S. 5] angegebenen Beziehung

$$R = F \sqrt[3]{\left(\frac{6\sqrt{2} \cdot \eta \cdot v}{3\pi \cdot c}\right)^2} \quad [\text{kg}]$$

(F [m²] = Reibfläche des Ringes, c [m] = Abrundungsradius der Ringkante, v [m/s] = Gleitgeschwindigkeit)

wäre die Reibung hier der 3. Wurzel aus der Gleitgeschwindigkeit proportional, während die Reibung beim Gleitlager \sqrt{v} — oder v — verhältig gefunden wurde. In beiden Fällen bewirkt also bei gleichbleibenden übrigen Begleitumständen eine Zunahme der Gleitgeschwindigkeit eine Erhöhung sowohl der Reibung innerhalb des Films, als auch der Sicherheit gegen das Einsetzen von gemischter Reibung.

Neben der Verschiedenheit der Wurzelgesetze besteht aber noch ein größerer Unterschied zwischen den Reibungsverhältnissen eines Kolbenrings im Zylinder und denen eines Zapfens im Lager, insofern nämlich, — als der gleichförmigen Gleitgeschwindigkeit des Lagerzapfens eine periodisch wechselnde Kolbengeschwindigkeit gegenübersteht. Mit den Triebwerksabmessungen der vom Verfasser benutzten Maschine ergeben sich Geschwindigkeitsverläufe nach Bild 24.

Wie man sieht, befindet sich der Geschwindigkeits Scheitel etwa 5% nach der inneren Totpunktlage verschoben. An dieser Stelle muß auch das Reibungsmaximum liegen, wenn entlang der gesamten Gleitfläche der flüssige Reibungszustand aufrecht erhalten werden kann. Weiter ist festzustellen, daß die Geschwindigkeit nach den Totpunkten zu auf den Wert Null abfällt, um dann ihre Richtung umzukehren. Ob die Reibung bei der Geschwindigkeit Null gleichfalls Null wird, oder ob noch ein endlicher Wert vorhanden ist, kann nach den bisherigen Forschungsergebnissen nicht eindeutig entschieden werden [5], auf jeden Fall wird sie aber nach den Totpunkten zu einen ähnlichen Abfall aufweisen wie die Gleitgeschwindigkeit.

Derartige sich dem Charakter der Kolbengeschwindigkeitskurven nähernde Reibungskurven wurden von Eweis [8] auch meßmäßig gefunden, wie das von ihm übernommene Bild 25 zeigt. An diesen Kurven will Eweis den typischen Verlauf der Flüssigkeitsreibung zeigen, ohne jedoch eine nähere Besprechung der Kurven vorzunehmen. Er sieht diese Versuche mit Flüssigkeitsreibung nur als eine erste Orientierung an.

Schon aus den vorliegenden Versuchen an Gleitlagern ist bekannt, daß es nicht in jedem Falle möglich ist, mittels Reibungsmessungen zu entscheiden, ob gemischte oder flüssige Reibung vorliegt. So ist auch der von Eweis beobachtete Abfall der Reibungskraft nach den Totpunkten zu kein schlüssiger Beweis dafür, daß auch hier noch flüssige Reibung geherrscht hat. Man kann sich hier schon im Bereich der gemischten Reibung befinden und dabei trotzdem einen Abfall der Reibungskraft erhalten, weil diese bekanntlich bei Erreichen des Mischreibungszustandes zunächst ohne weiteres kleiner sein kann als im flüssigen Gebiet.

Daß diese Deutung der Eweis'schen Kurven nach Bild 25 naheliegt, zeigen die Oszillogramme des Verfassers insofern, als sie durchweg im Bereich der Totpunkte den Nachweis der gemischten Reibung erbringen, während es bei der höheren Gleitgeschwindigkeit in Hubmitte mehr und mehr zur flüssigen Reibung kommt. Besonders deutlich ist diese Erscheinung in den Oszillogrammen des Bildes 26 zu verfolgen.

Bei der geringen Drehzahl von $n = 30$ U/min spielt sich die Reibung dauernd bei sehr geringen Übergangswiderständen R_z ab, ein Zeichen, daß ein großer Teil der Belastung unter „trockener (Grenz-) Reibung“ aufgenommen wird. In der Gegend des Geschwindigkeits Scheitels ist jedoch schon die Neigung zur Bildung eines tragenden Schmierfilms vorhanden, was aus der Erhöhung des Übergangswiderstandes an dieser Stelle zu schließen ist. Diese Erscheinung prägt sich bei höheren Drehzahlen noch stärker aus und dehnt sich dann auch bis in Totpunktnähe aus, wobei auch die Widerstandsschwankungen geringer werden. In den Totpunkten selbst geht der Widerstand auch bei der Höchstdrehzahl von $n = 600$ U/min auf den in Ruhestellung vorhandenen „Kurzschlußwiderstand $R_{z \text{ min}}$ “ zurück, obwohl der Ring ohne jeden zusätzlichen Gasdruck nur mit seiner Eigenspannung, die hier mit $1,0 \text{ kg/cm}^2$ im Mittel nicht hoch ist, an die Zylinderwand gepreßt wird. Demnach wird im Bereich der Totpunkte der flüssige Reibungszustand in keinem Falle erreicht, während sich im Gebiet der höchsten Kolbengeschwindigkeit bei $n = 600$ U/min doch allmählich ein Flüssigkeitsfilm auszubilden beginnt.

Der jeweils in den Totpunkten beobachtete Kurzschluß gibt zu der Frage Anlaß, ob es sich hier nun auch tatsächlich um „metallische“ Berührung oder mehr um das Durchschlagen einer noch vorhandenen verschleißverhindernden Schmierschicht durch die angelegte elektrische Spannung handelt. Da diese hier aber mit maximal 2,7 mV äußerst klein ist, würden von ihr vielleicht Öl-schichten in der Größenordnung von 10^{-3} bis 10^{-7} μ Stärke durchschlagen, so daß man in den Totpunkten praktisch „metallische“ Berührung, auf jeden Fall aber eine mit Verschleiß verbundene Berührung annehmen kann. Es ist jedenfalls nicht ohne weiteres möglich, daß derartig dünne Grenzschichten⁵⁾ zwischen den Gleitflächen ein Verschleifen verhindern können.

Außer den in Bild 25 wiedergegebenen Reibungskurven erhielt Eweis auch solche Reibungsverläufe, aus denen er ähnliche Aussagen über den Schmierzustand ableitet wie oben der Verfasser. Bei hoher Öltemperatur und gleichzeitig hohem Ringanpreßdruck stellte Eweis Reibungsverläufe nach Bild 27 fest. Man erkennt, wie mit zunehmender Geschwindigkeit nach der Hubmitte zu die Reibung stark abfällt, was Eweis mit der Bildung eines besseren Schmierfilms an dieser Stelle erklärt. Diese Erscheinung kennzeichnet nach seiner Meinung das Gebiet der halbflüssigen Schmierung, wobei sich die Reibung als annähernd umgekehrt verhältnismäßig der Geschwindigkeit erweisen soll.

Nicht ohne weiteres zu vereinbaren sind diese Überlegungen mit der von Vogelpoll [24] vertretenen Auffassung, daß der Gültigkeitsbereich der oben angegebenen Reibungsformel für das Gleitlager nicht allein auf die flüssige Reibung beschränkt ist, was der Vergleich einer von Büche [2] gemessenen „Mischreibungskurve“ mit der nach dieser Formel errechneten „Flüssigkeitsreibungskurve“ gemäß Bild 28 zeigt. Dabei wurde das Einsetzen der gemischten Reibung bei einer Gleitgeschwindigkeit von 1 m/s mittels Stromdurchgangsmessung nachgewiesen. Man erkennt, daß im Mischreibungsgebiet rechte des Reibungsminimums die Reibung mit Zunahme der Gleitgeschwindigkeit gemäß der hydrodynamischen Theorie wächst und daß nur links dieses Punktes die oben von Eweis angenommene Reibungsgeschwindigkeitsabhängigkeit besteht. Nach der Ansicht des Verfassers liegen aber über den Schmiervorgang im Zylinder noch zu wenig Versuchsergebnisse vor, um eine Beziehung zu den für das Gleitlager gültigen Überlegungen Vogelpolls herzustellen.

Im übrigen kann auch mittels dieser Reibungsmessungen von Büche eine Entscheidung über die Art des Reibungszustandes, d. h. ob gemischte oder flüssige Reibung vorliegt, nicht gefällt werden. Erst eine Stromdurchgangsmessung setzt Büche in den Stand, den Beginn der gemischten Reibung nachzuweisen. Man ist daher zu der Hoffnung berechtigt, daß auch die vom Verfasser benutzte Widerstandsmessung in Verbindung mit einer trägheitsfreien Reibungsmessung wesentliche Beiträge zur Klärung dieser Frage liefern kann.

4213 Einfluß der Gleitflächenbelastung

Der Reibungswiderstand ist sowohl bei der flüssigen als auch bei der gemischten Reibung von der Größe des senkrecht zu den gleitenden Flächen wirkenden Druckes, also vom Normaldruck, abhängig. Eine Steigerung dieses Druckes ist in jedem Falle dahin gerichtet, das Ausströmen des Öls zwischen den Gleitflächen zu erleichtern, sodaß die Stärke der Schmierschicht verringert wird. Dies wirkt sich innerhalb der Flüssigkeitsreibung in einer Herabsetzung des Reibwertes μ aus, wobei der Reibungswiderstand mit der Belastung zunächst steil ansteigt, um dann allmählich flacher zu verlaufen, vgl. z. B. Meßergebnisse von Ruegenberg [16]. Um geringe Reibung zu erhalten, ist danach erwünscht, die Schmierschicht so dünn wie möglich zu halten. Von der Rauigkeit der Gleitflächen hängt es ab, wie klein diese „geringste Schmierschichtstärke“ sein darf, um im flüssigen Reibungsgebiet zu bleiben.

Die Reibungsverhältnisse der in diesem Zusammenhang mehr interessierenden gemischten Reibung sind zwar auch häufig untersucht worden, doch haben die Messungen nicht zu einer einheitlichen Theorie geführt [24]. Wie schon erwähnt, ist Vogelpoll der Ansicht, daß auch in einem großen Bereich der gemischten Reibung die hydrodynamischen Gesetzmäßigkeiten erhalten bleiben. Befindet man sich aber im Gebiet stärkeren Verschleißes, also etwa links des Reibungsminimums, so läßt sich mit den bisherigen Rechenverfahren die Reibung nicht bestimmen. Es hat den Anschein, daß man hier nur vom Studium der Grenzreibung irgendwelche Aufschlüsse erwarten darf.

Wie im folgenden gezeigt wird, vermögen auch elektrische Widerstandsmessungen zur Klärung der Berührungsverhältnisse zweier Gleitflächen in Abhängigkeit von deren Belastung beizutragen. Dabei gelingt es sogar, den Einfluß der beiden Größen, von denen im Zylinder die Belastung abhängt, — nämlich die Eigenspannung der Kolbenringe und den hinter sie tretenden Gasdruck — gesondert zu erfassen.

⁵⁾ Solche dünnsten Schichten, die unter Umständen nur eine Moleküllage ausmachen, sind bekanntlich nur mit allergrößten Schwierigkeiten zu entfernen, so daß es in der Praxis zur unmittelbaren „metallischen“ Berührung überhaupt nicht kommen kann [26].

Die Frage nach der mittleren spezifischen Eigenspannung der Kurbelringe und nach der Verteilung dieser Spannung auf den Ringumfang hat in letzter Zeit wieder an Bedeutung gewonnen. Zum Erreichen einer guten Abdichtung und Wärmeleitung verwendet man heute mittlere Ringspannungen von 2 bis 3 kg/cm² [13], wogegen das Kolbenringnormblatt von 1933 nur 1 kg/cm² vorschreibt. Bei gegebenen Elastizitätseigenschaften des Werkstoffes kann eine gewünschte Eigenspannung durch entsprechende Bemessung des Ringes erzielt werden [6, 10]. Bei den vom Verfasser benutzten Ringen* beträgt die mittlere Spannung 0,5 und 2,5 kg/cm², wobei eine bestimmte Stoßfernung im un-

* Diese Ringe und der Zylinder wurden vom Goetzwerk in Burscheid angefertigt, wofür an dieser Stelle gedankt sei.

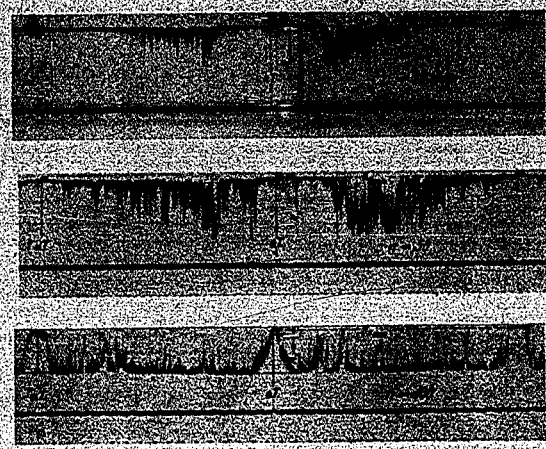


Bild 26. Einfluß der Kolbengeschwindigkeit auf die Schmierfilmdurchbrechung. Ringkanten abgerundet. Gasdruck in der obersten Ringnut 0 at. mittlere spezifische Ringspannung 1 kg/cm². Ölviskosität bei 20° C 0,0024 kg s/m². Ölmenge 0,015 g/U. mittlere Gleitgeschwindigkeit 0,12 bis 2,4 m/s.

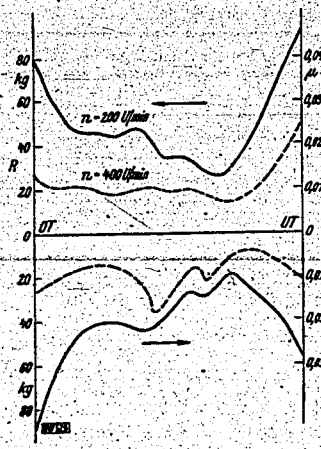
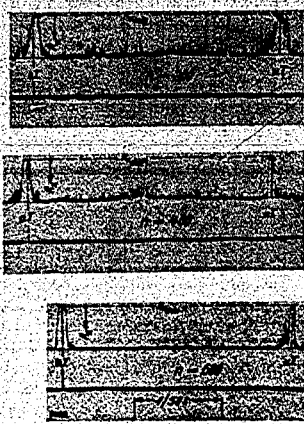
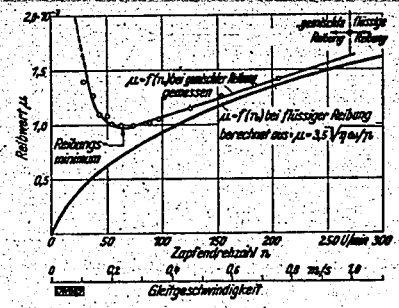


Bild 27. Reibungskraft in Abhängigkeit vom Kolbenweg bei gemischter Reibung. Ringkanten abgerundet. Gasdruck in der obersten Ringnut . . . 30 at. mittlere spezifische Ringspannung . . . 0,3 kg/cm². Ölviskosität bei 20° C 0,0024 kg s/m². mittlere Gleitgeschwindigkeit 1 und 3 m/s. Nach M. Ercis [8].

Bild 28 (unten). Gültigkeit hydrodynamischer Gesetzmäßigkeiten bei gemischter Reibung. Gemischte Reibung bei $v = 1,0$ m/s von Büche [9] festgestellt durch Stromdurchgangsmessung. Nach G. Vogelponi [24].



12520

04755



Bild 29. Die untersuchten Kolbenringe.
1. Kolbenringe (a) 0,5 kg/cm² mittlere Spannung,
(b) 2,5 kg/cm²
2. Kupferschleifstein.
3. Stiftschraube mit Mutter.



Bild 30. Einfluß der mittleren Ringspannung auf die Schmierfilmdurchbrechung.
Gasdruck (Verdichtungsdruck) 0 at.
Olmengo 0,016 g/U.
mittlere Gleitgeschwindigkeit 1,6 m/s.
Zylinderwandtemperatur 20° C.

gespannten Zustand sowie eine bestimmte radiale Stärke vorhanden ist, vgl. Bild 29. Mit diesen beiden Ringen wurden die in Bild 30 dargestellten Oszillogramme ohne Gasdruck bei einer Drehzahl von 400 U/min und einer Zylinderwandtemperatur von 20° C aufgenommen. Dabei betragen die Ströme 1,8 A für den schwachen und 1,7 A für den starken Ring, wodurch in beiden Fällen ein Höchstauschlag von 65 mm erzielt wurde. Während die Widerstandsmessungen bei stehendem Kolben nur geringe Unterschiede bei beiden Ringen ergaben, nämlich $6 \cdot 10^{-3} \Omega$ für den 0,5-kg/cm²-Ring und $4,2 \cdot 10^{-3} \Omega$ für den 2,5-kg/cm²-Ring, sind die Unterschiede während des Betriebes schon wesentlich größer. Es zeigt sich, daß die Spannung des 2,5-kg/cm²-Ringes stark genug ist, um die Ölschicht in den Totpunkten wenigstens kurzzeitig völlig zu durchbrechen und den „Kurzschlußwiderstand“ der Ruhe zu erreichen. Beim schwachen Ring ist ebenfalls eine kurzzeitige stärkere Durchbrechung der Schmierschicht zu beobachten, jedoch wird der Widerstand der Ruhe längst nicht erreicht.

Wie an der Totpunktmarkierung zu erkennen ist, erfolgt die Durchbrechung der Schmierschicht bei beiden Ringen genau in den oberen und unteren Umkehrpunkten, wo die Gleitgeschwindigkeit durch den Wert Null geht. Nach Überwindung der Totpunkte braucht der Kolben aber nur einen sehr kurzen Weg zurückzulegen, bis wieder günstigere Schmierbedingungen hergestellt sind. Der bei durchbrochenem Film größere „trockene“ Reibungsanteil ist in diesem Falle also bei beiden Ringen nur sehr kurze Zeit wirksam, so daß ein starker Verschleiß kaum auftreten wird. Letzterer wird offenbar weniger von der absoluten Größe des „Kurzschlußwiderstandes“, als vielmehr von der Zeitdauer dieses Kurzschlusses abhängen. Da diese Kurzschlüsse aber bei beiden Ringen trotz des Spannungsverhältnisses von 1:5 etwa gleich groß sind, so werden auch beide trotz verschiedenen Berührungswiderstandes in den Totpunkten etwa gleichem Verschleiß unterworfen sein. Ein Nachweis durch Verschleißmessungen konnte wegen der erforderlichen beträchtlichen Laufzeiten, die aus schon erwähnten Gründen nicht mehr zur Verfügung standen, leider nicht erbracht werden.

Auch im Motor soll nach der Meinung *Mundorffs* [13] eine erhöhte mittlere Ringspannung nicht unbedingt eine Steigerung der Zylinder- und Ringsabnutzung herbeiführen. Bei Betrieb mit Ringen verschiedener Eigenspannung wurden von ihm weder für die Ringe noch für die Zylinder irgendwelche Verschleißunterschiede festgestellt.

Neben der elastischen Federkraft der Ringe ist die Größe des über dem Kolben lastenden Gasdrucks für die Gleitflächenbelastung maßgebend, da letzterer nämlich in den Nutenraum hinter die Ringe gelangen kann. Als Ursache dafür ist das zwischen Kolben und Zylinderwand sowie das zwischen Kolbenring und Nutenflanke aus Gründen der Wärmedehnung vorgesehene Spiel anzusehen. Je größer diese Spiele sind, um so eher wird der Druckverlauf im Nutenraum mit dem im Verdichtungsraum übereinstimmen. Da ein zu hoher Gasdruck hinter den Ringen naturgemäß unerwünscht ist, macht man diese Spiele so klein wie möglich. Heute übliche Werte sind 0,4 bis 0,6 mm für den oberen Kolbenteil (bei 90 mm Bohrung) und 0,02 bis 0,04 mm für die Nut. In dieser Größenordnung lagen auch die Spiele bei vorliegendem Versuchskolben; das Kolbenspiel betrug 0,5 bis 0,65 mm und das Nutenspiel 0,035 bis 0,055 mm.

Die Messung des Gasdrucks im Verdichtungsraum wurde bei der vorliegenden Versuchsanlage mit einem zweiten Braunschen Rohr der Zeiss-Ikon-Druckmeßvorrichtung vorgenommen, doch konnte auch unter Beibehaltung des Ikon-Verstärkers der zweite Strahl des Doppelstrahlrohres zur Druckregistrierung Verwendung finden. Um aber die gesamte Breite des Schirmes allein für die Spannungs-(Widerstands-)Aufzeichnung auszunutzen, wurde davon nur in zwei Fällen Gebrauch gemacht (vgl. Bilder 31 und 32) und bei den übrigen Aufnahmen die Druckkontrolle mit dem zweiten Rohr durchgeführt.

Die Messung des Gasdrucks im Nutenraum hinter dem Ring ist bei bewegtem Kolben mit großen Schwierigkeiten verbunden. Neben einer Quarzkammer mit verhältnismäßig kleinen Abmessungen würde vor allem die erschütterungsfreie Ableitung des Kabels erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Bei festgehaltenem Kolben dagegen würde diese Messung, die von *Ewert* [8] schon mit dem Fernboro-Indikator ausgeführt wurde, leicht auch piezoelektrisch erfolgen können. Ob dabei aber dieselben Verhältnisse herrschen wie bei bewegtem Kolben in der praktischen Maschine, ist zweifelhaft. Es können daher nach der Ansicht des Verfassers exakte Zahlenangaben über die Größe des Gasdrucks hinter den Ringen nicht eher gemacht werden, als bis es gelungen ist, den Nutenraum bei bewegtem Kolben trägheitslos zu indizieren. Die Wirkung dieses Gasdrucks auf die Berührungsverhältnisse zwischen Ring und Zylinder kann aber auch ohne seine genaue Kenntnis an den folgenden Diagrammen gezeigt werden.

Besonders aufschlußreich sind in dieser Hinsicht zwei Anfahrtdiagramme, von denen eins ohne jeden Gegendruck und das andere bei einem Verdichtungsdruck von etwa 50 at mit einem stark pressenden Ring ($2,5 \text{ kg/cm}^2$) aufgenommen wurde¹⁾. Da die Anfahrstreifen in ihrer gesamten Länge, die etwa 1,5 m beträgt, schwer wiederzugeben sind, ist der mittlere Teil herausgeschnitten worden, so daß nur Beginn, Bild 31, und Ende, Bild 32, der Anfahrzeit vorhanden sind.

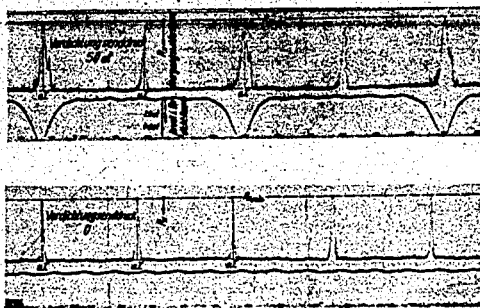
Beim Anfahren mit hohem Verdichtungsdruck hat man im Bereich des oberen Totpunktes den ungünstigen Fall, daß hoher Flächendruck und geringe Gleitgeschwindigkeit zusammenfallen. Die Folge ist eine starke, langanhaltende Durchbrechung des Ölfilms, wie im oberen Oszillogramm des

¹⁾ Da zwischen oberem und mittlerem Ring ein unterschiedliches Verhalten nicht festgestellt wurde, wurden alle Oszillogramme nur mit dem oberen Ring aufgenommen.



Bild 31. Einfluß von Drehzahl und Gasdruck auf die Schmierfilmdurchbrechung. Beginn eines Anfahrtdiagramms mit und ohne Gasdruck. Gasdruck (Verdichtungsdruck) 0 und 40 at, mittlere spezifische Ringspannung . . . $2,5 \text{ kg/cm}^2$, Ölmenge . . . $0,015 \text{ g/U}$, Zylinderwandtemperatur . . . 20° C .

Bild 32. Einfluß von Drehzahl und Gasdruck auf die Schmierfilmdurchbrechung. Ende eines Anfahrtdiagramms (dasselbe wie in Bild 31) mit und ohne Gasdruck. Gasdruck (Verdichtungsdruck) 0 und 50 at, mittlere spezifische Ringspannung $2,5 \text{ kg/cm}^2$, Ölmenge . . . $0,015 \text{ g/U}$, Zylinderwandtemperatur . . . 20° C .



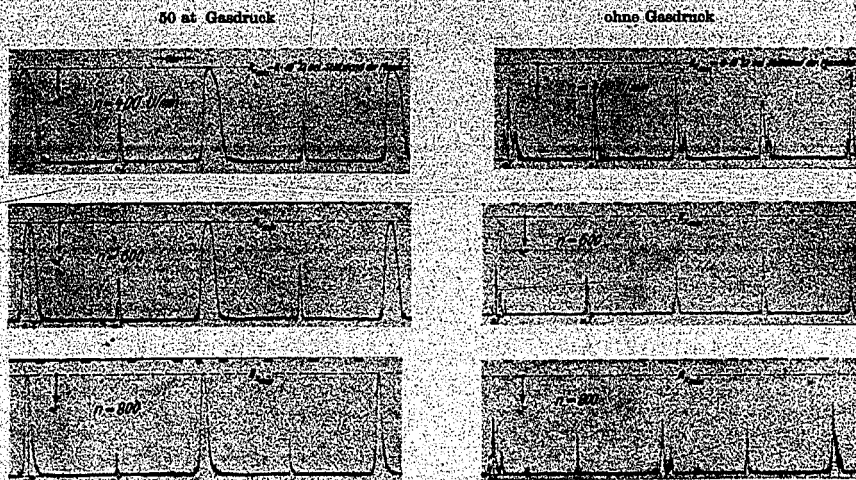


Bild 33. Einfluß des Gasdrucks auf die Schmierfilmdurchbrechung bei verschiedenen Drehzahlen.

Kolbenring etwa 50 Stunden eingelaufen.
 Gasdruck (Verdichtungsdruck) 0 und 50 at. Ölmenge 0,015 g/U.
 mittlere spezifische Ringspannung 0,5 kg/cm². Zylinderwandtemperatur 20° C.

Bildes 31 zu erkennen ist. Bereits vor dem oberen Totpunkt wird der „Kurzschlußwiderstand $R_{z, \text{min}}$ “ schon fast erreicht, und zwar etwa an der Stelle des höchsten Druckanstiegs dp/dz , was durch Herunterloten auf die Drucklinie^{*)} festzustellen ist. Trotz des dann noch weiter steigenden Druckes geht die Durchbrechung aber wieder zurück, bis der Kolbenumkehrpunkt ein abermaliges Abfallen bis auf $R_{z, \text{min}}$ bewirkt. Nach Überwinden dieses Punktes ist die Neigung nach einer sofortigen Verbesserung der Schmierschicht zu beobachten, und zwar mit steigender Drehzahl immer ausgeprägter. Mit abfallendem Druck wird dann aber nochmals „Kurzschluß“ erreicht, so daß sich im ganzen drei ausgeprägte Kurzschlüsse im oberen Totpunkt ergeben.

Die Wirkung des Gasdrucks tritt mit steigender Drehzahl immer mehr zurück, sei es, daß er nicht mehr in seiner vollen Größe in den Nutenraum gelangt, oder sei es, daß die durch die höhere Gleitgeschwindigkeit tragfähiger gewordene Ölschicht höhere Drucke aufnehmen kann, ohne durchbrochen zu werden. Bei einer Drehzahl von $n = 600$ U/min schließlich, die gegen Ende der Anfahrzeit gemäß Bild 32 erreicht wurde, tritt ein völliger Kurzschluß nur noch im Umkehrpunkt auf. Ein Vergleich mit dem unteren Oszillogramm in Bild 32 zeigt aber, daß bei Betrieb ohne Druck die Unterbrechung im oberen Totpunkt von viel kürzerer Dauer ist.

Die Berührungsverhältnisse im unteren Totpunkt erfahren durch den Verdichtungsdruck kaum eine Veränderung, jedoch ist auch hier ein Einfluß der Drehzahl zu erkennen, insofern als die Dauer der Filmdurchbrechung mit wachsender Drehzahl immer geringer wird.

Noch deutlicher wird der Gasdruckeinfluß bei Ringen mit niederem spezifischen Anpreßdruck. In Bild 33 sind Oszillogramme gegenübergestellt, die mit einem 0,5-kg/cm²-Ring bei verschiedenen Drehzahlen aufgenommen wurden, und zwar einmal mit einem Verdichtungsdruck von etwa 50 at und das andere Mal wieder ohne jeden Gegendruck. Bei diesem schwachen Ring bewirkt der Gasdruck nicht nur eine Vergrößerung der Kurzschlußdauer im oberen Totpunkt, sondern auch ein Absinken des Kurzschlußwiderstandes bis auf den Geringstwert, wie er sich bei Stillstand der Maschine ergibt. Auch diese Versuchsreihe zeigt deutlich, daß vor allem das Zusammenfallen von niedriger Gleitgeschwindigkeit und hohem Druck den Schmierfilm sehr gefährdet. Mit steigender Drehzahl wird auch bei diesem Ring trotz gleichbleibendem Druck im Verdichtungsraum der unter „Kurzschluß“ mit starkem „trockenem“ Reibungsanteil zurückgelegte Kolbenweg geringer. Der Grund dafür kann auch hier ein zweifacher sein, nämlich erstens, daß mit steigender Gleitgeschwindigkeit die Belastbarkeit der Ölschicht wächst und zweitens, daß die Drosselung des in die Nut strömenden Gases erhöht wird, so daß in dieser ein geringerer Druck als im Verdichtungsraum herrscht, während bei geringer Geschwindigkeit ein Druckausgleich leichter erfolgen kann.

*) Leider konnte der dem Druck überlagerte Wechselstrom aus Zeitmangel nicht mehr beseitigt werden.

04758

1941

Um die gute Reproduzierbarkeit der Oszillogramme zu zeigen, sei noch eine Versuchsreihe aufgeführt, die mit einem noch nicht eingelaufenen Ring von $0,5 \text{ kg/cm}^2$ mittlerer Spannung erhalten wurde, vgl. Bild 34.

4214 Einfluß des Schmiermittels

Die Regelung der an die Zylinderwand geförderten Ölmenge kann bei der Bosch-Einspritzpumpe in bekannter Weise durch Verdrehen des Pumpenkolbens vorgenommen werden. Die Eichung der benutzten Vierzylinderpumpe ergab für ein Pumpenelement den in Bild 35 dargestellten Regelbereich.

Eine Änderung der Schmierölmenge innerhalb dieses Bereiches blieb bei allen Versuchen ohne Einfluß auf die Form der Oszillogramme. Es ist auch anzunehmen, daß ein Auftreten von gemischter Reibung infolge Ölmangets hier nicht eintreten kann, da selbst die geringste Ölzufuhr von $0,015 \text{ g/U}$ doch wohl zur Aufrechterhaltung reiner flüssiger Reibung noch ausreicht [24]. Aber selbst bei Abwesenheit jeglichen Öls braucht nicht unbedingt starke metallische Berührung, erkenntlich am geringen Übergangswiderstand, aufzutreten. Wie noch näher ausgeführt wird, kann sich bei einer derartigen vermeintlichen „trockenen Reibung“ ein verhältnismäßig hoher Übergangswiderstand ergeben, der auf die Bildung irgendwelcher Grenzschichten infolge Adsorption von Gasen, in diesem Falle hauptsächlich von Luft, schließen läßt, vgl. die späteren Ausführungen.

Diese Erfahrungen führten dazu, alle Versuche — bis auf eine Ausnahme, bei der die Ölzufuhr völlig abgestellt wurde — mit der geringsten Fördermenge von $0,015 \text{ g/U}$ durchzuführen.

Auch von einem Wechsel der Ölart wurde zunächst abgesehen, da die Brauchbarkeit des Meßverfahrens erst einmal erwiesen werden sollte. Daher fand bei allen Versuchen nur eine Ölart Verwendung, und zwar das Valvoline Winteröl Magnet A.

Bild 34. Einfluß der Drehzahl auf die Schmierfilmdurchbrechung.
 Kolbenring nicht eingelaufen.
 Gasdruck (Verdichtungsdruck) 50 at,
 mittlere spezifische Ringspannung $0,5 \text{ kg/cm}^2$,
 Ölmenge $0,015 \text{ g/U}$,
 Zylinderwandtemperatur 20°C .

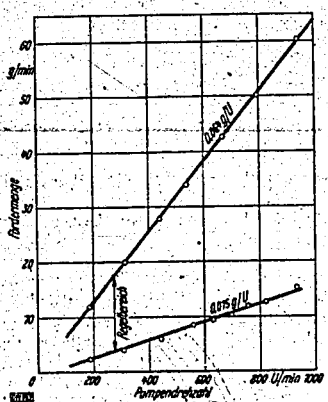
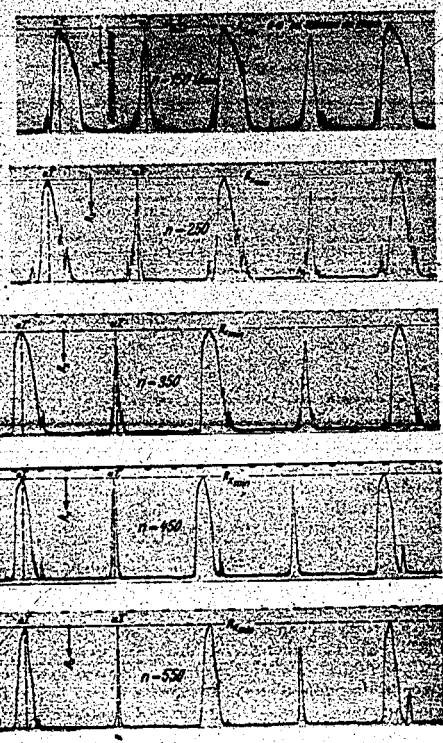


Bild 35. Fördermenge der Schmierölpumpe in Abhängigkeit von der Drehzahl.

04759

04759

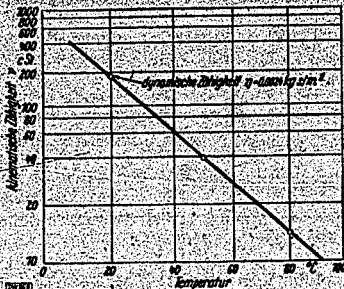


Bild 36. Zähigkeit des verwendeten Öls, Valvoline Magnet A, in Abhängigkeit von der Temperatur.

Während die hydrodynamische Theorie als maßgebende Öleigenschaft für alle Reibungsvorgänge ausschließlich die Zähigkeit gelten läßt, mißt die Grenzreibungstheorie bekanntlich allein der sog. „Schmierfähigkeit“ des Öls Bedeutung bei, also einer Eigenschaft, die mit den Molekularkräften innerhalb des Schmiermittels zusammenhängt. Ohne sich für eine dieser entgegengesetzt gerichteten Auffassungen zu entscheiden, neigt der Verfasser zu der Annahme, daß im Mischreibungsgebiet ein Einfluß der Zähigkeit ohne Zweifel vorhanden sein kann, daß sich in diesem Gebiet aber auch Reibungszustände ausbilden können, die nur mit den Gesetzmäßigkeiten der Grenzreibung zu erklären sind. Als Beweis dafür können Oszillogramme angeführt werden, die bei verschiedenen Temperaturen unter sonst gleichen Bedingungen erhalten wurden: Dabei war die Ausgangstemperatur von 20° C wegen der starken Kompressionswärme nur durch kräftige Kühlung aufrecht zu erhalten, während die

höheren Zylinderwandtemperaturen von 40, 60, 80 und 100° C durch Aufheizen des umlaufenden Kühlmittels gut konstant gehalten werden konnten. Während der Erwärmung lief die Maschine dauernd mit der konstanten Drehzahl von 400 U/min. Die Änderung der Zähigkeit des benutzten Öls in diesem durchlaufenen Temperaturbereich ist dem Zähigkeits-Temperatur-Blatt, Bild 36, zu entnehmen. Über die Zähigkeit im Schmierfilm selbst kann nur dann Genaueres ausgesagt werden, wenn eine Temperaturmessung unmittelbar im Film erfolgt. Wegen der damit verbundenen großen Schwierigkeiten, auf die z. B. Vogelwohl [23] in einer besonderen Arbeit hinweist, wurde von einer derartigen Messung abgesehen.

Bei den erhaltenen Oszillogrammen, die in Bild 37 zusammengestellt sind, ist ein Einfluß der Temperatur auf den Übergangswiderstand deutlich zu erkennen. Abgesehen von dem letzten bei 100° C erhaltenen Streifen, der weiter unten noch eingehend besprochen wird, ist mit steigender Temperatur die Neigung nach stärkeren und breiteren Durchbrüchen in Richtung R_{min} vorhanden. Allerdings braucht die Ursache für diese Erscheinung nicht unbedingt ein stärkerer metallischer Kontakt zu sein, hervorgerufen etwa durch ein Nachlassen der Tragfähigkeit der Schmierschicht infolge Zähigkeitsverminderung. So könnte z. B. ebensogut die mit der Temperatur steigende Leitfähigkeit des Öls zu der beobachteten Widerstandsherabsetzung beigetragen haben, ohne daß dabei eine Verschlechterung der Schmierung eingetreten sein muß. Wie stark die spezifische Leitfähigkeit von Mineralölen mit der Temperatur wächst, geht z. B. aus den folgenden, von Schering und Vieweg [18] angegebenen Werten hervor:

Temperatur ° C	spezifische Leitfähigkeit $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$
20	$1,5 \cdot 10^{-14}$
50	$9,4 \cdot 10^{-14}$
80	$53,0 \cdot 10^{-14}$

Dieselben Forscher stellten aber auch fest, daß diese Leitfähigkeit im Mischreibungsgebiet den durch zwei Gleitflächen hindurchgehenden Strom nicht zu beeinflussen scheint. Ihre an Kugellagern durchgeführten Messungen ergaben keine Änderung des Übergangswiderstandes, wenn sie die Leitfähigkeit des Schmiermittels auf das 1000fache künstlich erhöhten.

Somit kann mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, daß die starken Durchbrüche in den Oszillogrammen identisch sind mit starkem „trockenem“ Reibungsanteil. Es ist damit allerdings noch immer nicht entschieden, ob die Ursache dafür allein in einer Zähigkeitsverminderung zu suchen ist, im vorliegenden Fall auch vor allem deshalb nicht, weil die Versuche bei abgestellter Schmierung durchgeführt wurden. Dies geschah deshalb, um den sich bei hoher Wandtemperatur bildenden Schmierfilm nicht durch neu hinzukommendes Frischöl von Raumtemperatur zu verfälschen. Wenn also die Maschine auch vor Beginn der Versuche sorgfältig durchgeschmiert worden war und wenn auch die Aufnahmen schnell hintereinander gemacht wurden, so ist doch anzunehmen, daß die zur Bildung

eines Schmierfilms verfügbaren Ölmenge mit zunehmender Laufzeit vor allem bei hoher Temperatur immer geringer werden. Es wurde daher von vornherein mit einer kontinuierlichen Verschlechterung der Schmierung gerechnet, und zwar nicht nur infolge Zähigkeitsverminderung, sondern auch infolge Ölmangets. Während diese Vermutung auch von den ersten vier Oszillogrammen (20 bis 80° C) bestätigt wird, zeigt der 100°-Streifen ein völlig entgegengesetztes Verhalten. Die hier auftretenden geringfügigen Durchbrüche erwecken den Anschein, daß eine hohe Temperatur verbunden mit einem gewissen Ölmanget die metallische Berührung nicht etwa verstärkt, sondern vielmehr die Gleiteigenschaften begünstigt hat.

Bevor dieser zunächst unerklärliche Vorgang einer näheren Betrachtung unterzogen wird, sei noch auf ein charakteristisches Merkmal in den übrigen Oszillogrammen hingewiesen, das dafür spricht, daß mit steigender Temperatur die Tragfähigkeit der Ölschicht gesunken ist. Während bei niedriger Temperatur wie üblich nur im oberen Umkehrpunkt der Kurzschlußwiderstand erreicht wird, treten bei höherer Temperatur im oberen Totpunkt drei ausgeprägte Kurzschlüsse auf. In ähnlicher Gestalt wurden diese bereits im Anfahrtdiagramm nach Bild 31 bei geringer Gleitgeschwindigkeit beobachtet. Es scheint demnach durch das Zusammenfallen von geringer Ölviskosität und hohem Gasdruck das Tragvermögen der Schmier-schicht herabgesetzt zu werden, wie dies in ähnlicher Weise bei gleichzeitigem Auftreten von geringer Gleitgeschwindigkeit und hohem Gasdruck schon beobachtet wurde.

422 Die Frage nach Grenzreivungsvorgängen

Das gegen Ende der oben angeführten Temperaturreihe erhaltene Oszillogramm (Bild 37 unten) gab den Anstoß zu weiteren Untersuchungen zwecks Klärung des Temperatureinflusses bei Ölmanget.

Zunächst wurde gleich nach dieser Meßreihe eine Aufnahme bei abgekühlter, sonst aber unveränderter Maschine gemacht, vgl. Bild 38. Das obere Oszillogramm weist gegenüber dem bei 100° erhaltenen keine wesentlichen Änderungen auf. Es ist daher die bei der hohen Temperatur beobachtete tiefgreifende Veränderung in Form einer Widerstandserhöhung eine bleibende, die scheinbar nur noch wenig temperaturabhängig ist. Damit wird auch die Befürchtung zerstreut, daß diese Widerstandserhöhung etwa durch die bei hoher Temperatur schlechter leitenden Metallteile hervorgerufen wurde. Auch zahlreiche Widerstandsmessungen mit der Thomson-Brücke ergaben, daß die Änderungen dieses Metallwiderstandes in dem hier durchlaufenen Temperaturbereich von 20 bis 100° C eine untergeordnete Rolle spielen und auf die Meßergebnisse keinen Einfluß haben. So kann die neue Form der Oszillogramme nur so gedeutet werden, daß der metallische Kontakt trotz Fehlens eines sichtbaren Schmierfilms zwischen Kolbenring und Zylinder verringert worden ist. Dies ist aber

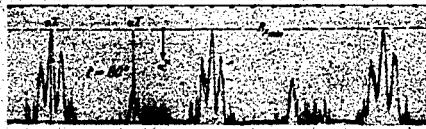
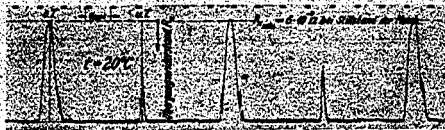


Bild 37. Einfluß der Temperatur auf die Schmierfilmdurchbrechung.
 Gasdruck (Verdichtungsdruck) 50 at.
 mittlere spezifische Ringspannung 0,5 kg/cm².
 Ölmenge Ölzufuhr abgestellt.
 mittlere Gleitgeschwindigkeit 1,6 m/s.

eines Schmierfilms verfügbaren Ölmenge mit zunehmender Laufzeit vor allem bei hoher Temperatur immer geringer werden. Es wurde daher von vornherein mit einer kontinuierlichen Verschlechterung der Schmierung gerechnet, und zwar nicht nur infolge Zähigkeitsverminderung, sondern auch infolge Ölmangets. Während diese Vermutung auch von den ersten vier Oszillogrammen (20 bis 80°C) bestätigt wird, zeigt der 100°-Streifen ein völlig entgegengesetztes Verhalten. Die hier auftretenden geringfügigen Durchbrüche erwecken den Anschein, daß eine hohe Temperatur verbunden mit einem gewissen Ölmanget die metallische Berührung nicht etwa verstärkt, sondern vielmehr die Gleiteigenschaften begünstigt hat.

Bevor dieser zunächst unerklärliche Vorgang einer näheren Betrachtung unterzogen wird, sei noch auf ein charakteristisches Merkmal in den übrigen Oszillogrammen hingewiesen, das dafür spricht, daß mit steigender Temperatur die Tragfähigkeit der Ölschicht gesunken ist. Während bei niedriger Temperatur wie üblich nur im oberen Umkehrpunkt der Kurzschlußwiderstand erreicht wird, treten bei höherer Temperatur im oberen Totpunkt drei ausgeprägte Kurzschlüsse auf. In ähnlicher Gestalt wurden diese bereits im Anfahrtdiagramm nach Bild 31 bei geringer Gleitgeschwindigkeit beobachtet. Es scheint demnach durch das Zusammenfallen von geringer Ölzähigkeit und hohem Gasdruck das Tragvermögen der Schmierschicht herabgesetzt zu werden, wie dies in ähnlicher Weise bei gleichzeitigem Auftreten von geringer Gleitgeschwindigkeit und hohem Gasdruck schon beobachtet wurde.

422 Die Frage nach Grenzreißungsvorgängen

Das gegen Ende der oben angeführten Temperaturreihe erhaltene Oszillogramm (Bild 37 unten) gab den Anstoß zu weiteren Untersuchungen zwecks Klärung des Temperatureinflusses bei Ölmanget.

Zunächst wurde gleich nach dieser Meßreihe eine Aufnahme bei abgekühlter, sonst aber unveränderter Maschine gemacht, vgl. Bild 38. Das obere Oszillogramm weist gegenüber dem bei 100° erhaltenen keine wesentlichen Änderungen auf. Es ist daher die bei der hohen Temperatur beobachtete tiefgreifende Veränderung in Form einer Widerstandserhöhung eine bleibende, die scheinbar nur noch wenig temperaturabhängig ist. Damit wird auch die Befürchtung zerstreut, daß diese Widerstandserhöhung etwa durch die bei hoher Temperatur schlechter leitenden Metallteile hervorgerufen wurde. Auch zahlreiche Widerstandsmessungen mit der Thomson-Brücke ergaben, daß die Änderungen dieses Metallwiderstandes in dem hier durchlaufenen Temperaturbereich von 20 bis 100°C eine untergeordnete Rolle spielen und auf die Meßergebnisse keinen Einfluß haben. So kann die neue Form der Oszillogramme nur so gedeutet werden, daß der metallische Kontakt trotz Fehlens eines sichtbaren Schmierfilms zwischen Kolbenring und Zylinder verringert worden ist. Dies ist aber

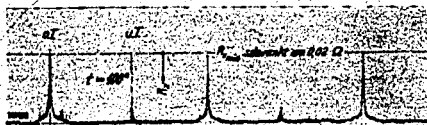


Bild 37. Einfluß der Temperatur auf die Schmierfilmdurchbrechung.

Gasdruck (Verdichtungsdruck) 50 at,
mittlere spezifische Ringspannung 0,5 kg/cm²,
Ölmenge Ölzufuhr abgestellt,
mittlere Gleitgeschwindigkeit 1,6 m/s.

06140

04761

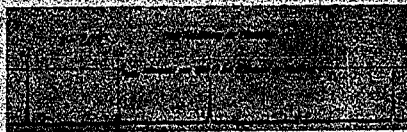


Bild 38. Oscillogramme bei fast-schmierölfreien Lauf- flächen und bei kalter Maschine.
Im Anschluß an Diagramm 37 aufgenommen.
Gasdruck (Verdichtungsdruck) 50 at.
mittlere spezifische Ringspannung 0,5 kg/cm².
Ölmenge Ölzufuhr abgestellt.
mittlere Gleitgeschwindigkeit 1,6 m/s.
Zylinderwandtemperatur 20° C.

Bild 39. Oscillogramm bei großer Ölmenge (oben) und bei äußerlich schmierölfreien Lauf- flächen (unten).
Gasdruck (Verdichtungsdruck) 50 at.
mittlere spezifische Ringspannung 0,5 kg/cm².
Ölmenge oberes und mittleres Oz. 0,015 g/U.
unteres Oz. Zufuhr abgestellt.
mittlere Gleitgeschwindigkeit 1,7 m/s.



Bild 39. Oscillogramm bei großer Ölmenge (oben) und bei äußerlich schmierölfreien Lauf- flächen (unten).
Gasdruck (Verdichtungsdruck) 50 at.
mittlere spezifische Ringspannung 0,5 kg/cm².
Ölmenge oberes und mittleres Oz. 0,015 g/U.
unteres Oz. Zufuhr abgestellt.
mittlere Gleitgeschwindigkeit 1,7 m/s.



Bild 40. Oscillogramme bei 700fach verkleinertem Durchgangsstrom.
 $R = 1 \Omega$; $I = 2,7$ mA.
Gasdruck (Verdichtungsdruck) 50 at.
mittlere spezifische Ringspannung 0,5 kg/cm².
Ölmenge oberes Oscillogramm 0,015 g/U.
unteres Oscillogramm Zufuhr abgestellt.
mittlere Gleitgeschwindigkeit 1,6 m/s.

nur möglich, wenn sich an den Laufflächen Schichten gebildet haben, die gegenüber den Ausgangsschichten eine höhere Tragfähigkeit aufweisen.

Die gute Wiederholbarkeit der Ergebnisse konnte bei vielen Temperaturreihen gezeigt werden. Aus der Summe der erhaltenen Oscillogramme seien zunächst einige herausgegriffen und besprochen, die einige Tage nach dem Oscillogramm in Bild 38 unten aufgenommen wurden. Vorher war die Maschine 15 min lang mit der bei den früheren Versuchen zugrunde gelegten Ölzufuhr von 0,015 g/U betrieben worden, wonach anschließend wieder ohne Frischölzufuhr die Temperaturreihe bis zum Schluß durchgeführt wurde. Da in diesem Zusammenhang den Zwischentemperaturen weniger Bedeutung zukommt, ist nur der bei der Endtemperatur von 100° C aufgenommene Streifen beigelegt, vgl. Bild 39 Mitte. Das untere Oscillogramm in diesem Bild wurde nach der Abkühlung auf 20° C erhalten. Die vergleichende Betrachtung aller drei Bilder führt zu denselben qualitativen Aussagen, wie sie oben gemacht wurden.

Noch von einer dritten Temperaturreihe sollen einige Oscillogramme gezeigt werden. Während dabei die maschinellen Betriebsgrößen wie Drehzahl, Gasdruck, Temperaturen usw. beibehalten wurden, wurde der zur Begrenzung des Meßbereiches vorgesehene Parallelwiderstand von $2,5 \cdot 10^{-3} \Omega$ durch einen solchen von 1Ω ersetzt. Da naturgemäß erwünscht war, den Höchstauschlag des Kathodenstrahls von 65 mm beizubehalten, mußte mit dem Gesamtstrom von 1,8 A auf 2,7 mA heruntergegangen werden. Da durch diese Maßnahme die Empfindlichkeit um etwa das 40fache heruntergeht (vgl. S. 13), werden geringe Widerstandsunterschiede im oberen und unteren Totpunkt nicht wiedergegeben, so daß sie beide gleich hoch erscheinen, wie in Bild 40 zu erkennen ist. In diesem zeigt aber das obere Oscillogramm ebenso wie die früheren das charakteristische Ansprechen auf den Gasdruck,

erkennlich an der breiten Durchbrechung im oberen Totpunkt. Das untere Oszillogramm zeigt, daß diese Durchbrechung nach längerer Versuchsdauer bei 100° C wieder zurückgeht und es zur Bildung schmaler Spitzen kommt.

Beim Ausbau der längere Zeit ohne Ölzufuhr betriebenen Maschine ergab sich eine völlig trockene, spiegelnde Zylinderlauffläche. Lediglich an den Ringflanken waren mit bloßem Auge geringe Spuren von Öl zu entdecken. Demnach war es unwahrscheinlich, daß irgendwelche Veränderungen innerhalb des Ölfilms den metallischen Kontakt vermindert haben konnten. Offenbar ist diese Wirkung durch eine völlig neue Schicht erzielt, die sich nach Entfernung des Öls an den Gleitflächen gebildet hat. Eine hohe Temperatur leistet dieser Ölentfernung naturgemäß Vorschub, da diese die Zähigkeit des Öls herabsetzt, so daß es sich leichter verteilen und abfließen kann. Der Temperatur kommt also bei diesem Vorgang nur insofern Bedeutung zu, als bei niedriger Temperatur die Säuberung der Gleitflächen vom Öl¹⁹⁾ länger dauert als bei hoher.

Über die Natur und Wirkung der an die Stelle des Ölfilms getretenen Grenzschicht können schon auf Grund vielfältiger Forschungsergebnisse gewisse Aussagen gemacht werden. Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild:

Keine Metalloberflächen kommen in der Natur nicht vor und lassen sich auch nur unter großen Schwierigkeiten herstellen, da es den Oberflächen infolge freier Restkräfte möglich ist, Moleküle eines fremden gasförmigen oder flüssigen Mediums zu adsorbieren und mit großer Kraft festzuhalten. Daher befinden sich immer irgendwelche Gas- oder Fettschichten auf den Flächen, die meist außerordentlich dünn aber häufig trotzdem in der Lage sind, bestimmte Drücke aufzunehmen, ohne durchbrochen zu werden [26].

Werden zwei mit einer derartigen Grenzschicht behaftete Metalloberflächen miteinander in Berührung gebracht, so brauchen sie nicht unbedingt einen metallisch leitenden Kontakt zu geben [12]. Nach der Meinung *Holms* werden nur einige Stellen der gemeinsamen Berührungsfläche den metallischen Kontakt bewirken, während andere Stellen durch schlecht leitende, Druck tragende Fremdschichten bedeckt sind und gewisse Stellen ganz ohne wirkliche Berührung sein können.

Besonders aufschlußreich sind in diesem Zusammenhang die schon kurz erwähnten Versuche von *Watson* und *Menon* [25], weil diese eine ähnliche Wirkung der Grenzschichten feststellten wie der Verfasser. Zum besseren Verständnis der Art ihrer Messungen ist in Bild 41 die Meßanordnung schematisch wiedergegeben. Bei den Stromdurchgangsmessungen mit sehr geringer Spannung stellte sich heraus, daß eine völlig isolierende Ölschicht zwischen „Slider“ und Stahlplatte nicht herzustellen war, da offenbar der Flächendruck des Sliders mit 144 g/cm² bereits genügte, um die Schicht zu durchbrechen und metallischen Kontakt herbeizuführen. Auch wenn der spezifische Flächendruck auf 12 g/cm² erniedrigt wurde, wurde an diesen Verhältnissen nichts geändert. Erst bei der geringen Flächenpressung von etwa 3,5 g/cm² war eine Isolationswirkung des Ölfilms nachzuweisen.

Wurde die Ölschicht von der Stahlplatte abgewischt („wiped off“), so konnte die Belastung des Sliders von 144 g/cm² aufgenommen werden, ohne daß ein Stromfluß bis zu einer bestimmten Spannung beobachtet wurde. Die Verfasser sind gemeinsam mit *Hardy*, dem bekannten Forscher auf dem Gebiete der Grenzreibung, der Ansicht, daß die den Strom nicht leitende und den Slider tragende Schicht vorwiegend aus Luft besteht, die von den Metalloberflächen adsorbiert ist. An photographischen Aufnahmen wird schließlich gezeigt, daß zwischen diesen Grenzschichten aus Luft oder Wasserdampf²⁰⁾ sich noch kleine nicht benetzende Ölkügelchen befinden.

Einem unmittelbaren Vergleich dieser Ergebnisse mit denen des Verfassers stellt sich in erster Linie die in beiden Fällen verschiedene Struktur der Kontaktflächen entgegen. Die Rauigkeiten der von *Watson* und *Menon* aufs sorgfältigste polierten Oberflächen werden mindestens 100 mal so klein sein, als noch so gut eingelaufene Zylinder- und Kolbenringlaufflächen. Infolge dieser großen Rauigkeiten und der hohen Anpreßdrücke wird die hier gebildete Schicht natürlich an einigen Stellen durchbrochen, weshalb auch nicht völlige Isolation gemessen wurde. Die Widerstands- und Tragfähigkeitserhöhung gegenüber der Ölschicht ist aber auch hier eindeutig vorhanden, wie ja an den Oszillogrammen schon gezeigt wurde. Durch zahlreiche Messungen bei stillstehender Maschine mit der Thomson-Brücke konnte die Widerstandserhöhung ebenfalls nachgewiesen werden. So stieg z. B. der nur wenig schwankende „Kurzschlußwiderstand“ des 2,5-kg/cm²-Ringes von $4,2 \cdot 10^{-3} \Omega$ auf $77,5 \cdot 10^{-3} \Omega$, wenn die besagte Grenzschicht an die Stelle des Ölfilms getreten war. Allerdings

¹⁹⁾ Soweit hier überhaupt von einer Säuberung gesprochen werden kann, da eine Anzahl Ölmoleküllagen immer zurückbleiben wird.

²⁰⁾ Auch *Rohmann* [15] stellte an Metalloberflächen derartige in der Hauptsache aus Wasser bestehende Schichten fest, deren Stärke von der Feuchtigkeit der Atmosphäre abhängig war.

SPT 10

04763

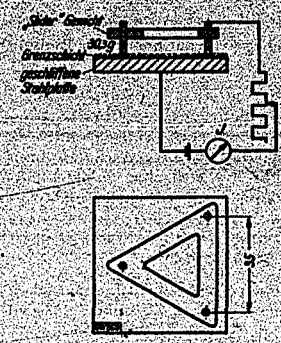


Bild 41. Schema einer Meßeinrichtung zur Untersuchung dünner Grenzschichten.
Nach H. Watson und A. Menon (25).

war der Widerstand dieser adsorbierten Gasschicht erheblichen Schwankungen unterworfen, was auch schon *Holm* an Kontakten festgestellt hatte. So ging der Wert von $77,5 \cdot 10^{-9} \Omega$ auf $69,0 \cdot 10^{-9} \Omega$ innerhalb eines Tages zurück, ohne daß die Maschine bewegt oder eine sonstige Änderung vorgenommen worden wäre.

Mehr als über die genaue Zusammensetzung, Stärke, Haftfestigkeit usw. dieser adsorbierten Schichten ist über ihre Wirkung in bezug auf die Reibung und den Verschleiß bekannt. In diesem Zusammenhang sind vor allem die Arbeiten von *Donandt* [5] und *Dies* [4] zu nennen, die einen großen Einfluß der die Gleitflächen umgebenden Gasatmosphäre sowohl auf den Reibwert μ als auch auf den Verschleiß feststellten. Irgendwelche Gesetzmäßigkeiten können aus den bisherigen Ergebnissen aber noch nicht abgeleitet werden.

Wenn auch dieser beobachteten Grenzschicht in Hinsicht auf den im Motor vorhandenen Schmierfilm kaum größere Bedeutung zukommen scheint, so sollte sie doch als Ergebnis der angewandten Methode der Widerstandsmessung mitgeteilt werden. Auch kann die Kenntnis von ihrem Vorhandensein den nun in gleicher Richtung anzustellenden Verschleißversuchen dienlich sein.

5 Zusammenfassung

Auf Grund umfangreicher Verschleißversuche wurde ein Meßverfahren zur Erfassung der Schmierfilmdurchbrechung zwischen Kolbenring und Zylinder entwickelt, das zunächst an einer fremd angetriebenen Maschine zur Anwendung kam. Das Verfahren bedient sich der elektrischen Widerstandsmessung und ist dadurch gekennzeichnet, daß bei Verwendung kleinster Spannungen hohe Empfindlichkeit und weitestgehende Trägheitsfreiheit erreicht wird. Das einwandfreie Arbeiten der angewendeten Schaltung wird außer durch Versuch auch durch Rechnung nachgewiesen.

Mit dieser Versuchseinrichtung wurde von den den Verschleiß bestimmenden Faktoren zunächst der Einfluß der Kolbengeschwindigkeit auf die Schmierfilmbildung bzw. -zerstörung untersucht. Das Ergebnis läßt sich dahin zusammenfassen, daß in Totpunktnähe als dem Bereich kleiner Geschwindigkeiten der Schmierfilm stark durchbrochen wird, während die höhere Geschwindigkeit im Bereich der Hubmitte der Bildung eines tragenden Schmierfilms förderlich ist. Drehzahlsteigerung begünstigt grundsätzlich die Schmierfilmbildung, sofern die anderen Einflußgrößen wie Temperatur, Druck usw. konstant bleiben.

Zunehmender Gasdruck führt zu verstärkter Durchbrechung der Schmierschicht im Bereich des oberen Totpunktes. Besonders gefährlich wird dieser Einfluß bei niedrigen Drehzahlen dadurch, daß einerseits infolge der hier geringen Geschwindigkeit die Filmbildung ungenügend ist und andererseits die langdauernde Einwirkung des hohen Gasdrucks hinter den Ringen zu intensiver Berührung von Ring und Zylinder führt. Diese Beobachtung steht in voller Übereinstimmung mit dem grundsätzlich starken Verschleiß im oberen Zylinderteil. Weiter hellt sie auch die oft wenig erklärliche Erscheinung auf, daß bei niedriger Drehzahl aber hoher Belastung der Verschleiß unverhältnismäßig hoch sein kann.

Eine Temperaturerhöhung wirkt sich dahin aus, daß infolge der abnehmenden Zähigkeit die Tragfähigkeit der Schmierschicht besonders im niedrigen Geschwindigkeitsbereich absinkt.

Als über den Rahmen der besprochenen Versuche hinaus Messungen an scheinbar schmierölfreien Laufflächen vorgenommen wurden, ergaben sich stets unerklärliche Widerstandserhöhungen. Entsprechend mußte trotz Fehlen des Schmierfilms die Berührungsnähe zwischen Ring und Zylinder geringer geworden sein. Der Grund ist offenbar in einer aus adsorbierten Gas- bzw. Wassermolekülen bestehenden Grenzschicht zu suchen. Wenn dieser Erscheinung auch in Hinsicht auf das Schmier- und Verschleißproblem des Motors wohl kaum Bedeutung beizumessen ist, so mag sie doch als Ergebnis des entwickelten Meßverfahrens erwähnt sein.

Die soweit erwiesene Brauchbarkeit der Meßmethode berechtigt zu der Annahme, daß sie bei den bereits vorbereiteten Untersuchungen an der praktischen Maschine zur weiteren Klärung der wichtigen Schmier- und Verschleißfrage wesentlich beitragen kann.

6 Schriftumsverzeichnis

- [1] Beck, G.: Zylinder- und Kolbenringverschleiß — Dtsch. Kraftf. Forsch. H. 29, Berlin: VDI-Verlag 1939.
- [2] Bach, W.: Untersuchungen über molekularphysikalische Eigenschaften der Schmiermittel und ihre Bedeutung bei halbfestiger Reibung — Diss. T. H. Karlsruhe 1930.
- [3] Castellan, R.: A Hydrodynamical Theory of Piston Ring Lubrication — Physics Bd. 7 (1936) S. 364.
- [4] Diss, K.: Über die Vorgänge beim Verschleiß bei rein gleitender und trockener Reibung — In: Reibung und Verschleiß, Berlin: VDI-Verlag 1939, S. 69/77.
- [5] Donand, H.: Versuche über gleitende Reibung zwischen ungeschmierten Flächen aus Stahl bei kleiner Gleitgeschwindigkeit und großem Flächenndruck — In: Reibung und Verschleiß, Berlin: VDI-Verlag 1939, S. 45/62.
- [6] Englisch, O.: Der Elastizitätsmodul von Kolbenringwerkstoffen. Bestimmung und Bedeutung — Autom. techn. Z., Bd. 40 (1937) S. 431/34.
- [7] Englisch, O.: Bemerkenswerte Verschleißvorgänge und Untersuchungen an Kolbenringen und Zylindern — In: Reibung und Verschleiß, Berlin: VDI-Verlag 1939, S. 116/27.
- [8] Eweis, M.: Reibungs- und Undichtigkeitsverluste an Kolbenringen — VDI-Forsch.-Heft 371, Berlin: VDI-Verlag 1935.
- [9] Fals, E.: Grundsätze der Schmiertechnik. Berechnung und Gestaltung vollkommen geschmierter gleitender Maschinenteile. Lehr- und Handbuch für Konstrukteure, Betriebsleiter, Fabrikanten und höhere technische Lehranstalten — Berlin: J. Springer 1931.
- [10] Gelling, H.: Beitrag zur Klärung der Gummidämpfung — Diss. T. H. Dresden 1935.
- [11] Hold, D.: Kohlenwasserstoffe und Fette, sowie die ihnen chemisch und technisch nahestehenden Stoffe. 7. Aufl. — Berlin: J. Springer 1933, S. 93.
- [12] Holm, B.: Über metallische Kontaktwiderstände. Wiss. Veröff. Siemens-Werk Bd. 7 (1928/29) Nr. 2 S. 217/71.
- [13] Mundorf, H.: Kolbenringe für Autobahnbeanspruchungen — Autom. techn. Z., Bd. 42 (1939) S. 62/64.
- [14] Nacker, W.: Über den Schmiervorgang im Gleitlager — VDI-Forsch.-Heft 352, Berlin: VDI-Verlag 1932.
- [15] Rohmann, H.: Elektrische Kontakte — Phys. Z., Bd. 21 (1920) S. 417.
- [16] Ruegenberg, G.: Der Einfluß hoher Temperaturen auf die Schmiereigenschaft von Schmierölen, Diss. T. H. Braunschweig 1932.
- [17] Rumpf, A.: Reibung und Temperaturverlauf im Gleitlager — VDI-Forsch.-Heft 393, Berlin: VDI-Verlag 1935.
- [18] Schering, H. und R. Vieweg: Über die Beurteilung der Lagerschmierung nach elektrischen Messungen — Z. angew. Chem., Bd. 39 (1926) S. 1119/23.
- [19] Stern, N.: Piston Rings. The Theory Underlying the High Point Design — Autom. Engr. Bd. 28 (1938) S. 27.
- [20] Tischbein, H.: Reibung an Kolbenringen — Diss. T. H. Karlsruhe 1939.
- [21] Ullmann, K.: Die mechanischen Verluste des schnelllaufenden Dieselmotors und ihre Ermittlung durch den Schleppversuch — Dtsch. Kraftf. Forsch. H. 34, Berlin: VDI-Verlag 1939.
- [22] Ullmann, K.: Die Reibungs- und Pumpverluste des schnelllaufenden Otto- und Dieselmotors — Autom. techn. Z., Bd. 42 (1939) S. 397/406.
- [23] Vogelpohl, G.: Viskosität und Schmiervorgang — Öl u. Kohle Bd. 14 (1938) S. 991/97.
- [24] Vogelpohl, G.: Zur Klärung des Gleitreibungsvorganges — Öl u. Kohle Bd. 35 (1939) S. 790/28.
- [25] Watson, H. und A. Menon: The Electrical Conductivity of Thin Oil Films. Part I: General Nature of the Phenomenon — Proc. roy. Soc., Lond. (A) Bd. 123 (1929) S. 185/202.
- [26] Werncke, S.: Einfluß der Oberflächenschichten auf die Größe der Reibung — Diss. T. H. Dresden 1934, S. 20.

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Ludwigshafen a. Rh.

04765

Technischer Prüfstand Oppau

Kraftstoffprüfung Nr. 283

Geheim

24

Betrifft: Klopfverhalten des Triptans im I.G.-Prüfmotor und bei Aufladung.

Vom Annonelabor (Frl. Dr. Wolfhardt) ging dem Technischen Prüfstand eine Probe Triptan (2,2,3-Trimethylbutan) zur Feststellung der Oktanzahlen im I.G.-Prüfmotor und zur Prüfung des Klopfverhaltens bei Überladung zu.

Vom Triptan ist bekannt, das es ein sehr gutes Klopfverhalten besitzt, ¹⁾ vor allem die Amerikaner haben in der Fachliteratur mehrfach darauf hingewiesen.

Da für die Feststellung der Überladbarkeit nach dem DVL-Überladeverfahren ²⁾ mindestens 15 bis 20 ltr. Kraftstoff benötigt werden, die zur Verfügung gestellte Menge Triptan aber nur wenige Liter betrug, wurde diese Prüfung an dem vom Techn. Prüfstand entwickelten I.G.-Versuchsmotor k, einem Klein-Überlademotor, durchgeführt. ³⁾

- 1) Öl u. Kohle, Heft 40, 22. Okt. 1941, Witschakowski, Oktanzahlmessung hochklopfester Kraftstoffe.
- 2) Bauvorschriften für Flugmotoren, Prüfvorschriften für Flugmotoren-Kraftstoffe, Ausgabe Oktober 1940.
- 3) Technische Berichte der ZvB 1941, Heft 3, Witschakowski, Ein Beitrag zur Prüfung des Klopfverhaltens von Flugkraftstoffen im Kleinmotor.

Abgeschlossen am: 28. Januar 1943. L.	Die vorliegende Ausfertigung 1 enthält
Bearbeiter: Dipl. Ing. Witschakowski	4 Textblätter
	3 Bildblätter

Verteiler					
Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
		fr. v. P. Pier			

3737

Dieser Bericht ist unser Eigentum, alle Rechte aus dem Urheberrechtsgesetz vom 19. 6. 1901 stehen uns zu. Der Inhalt darf weder im Ganzen noch in Einzelheiten vervielfältigt oder dritten Personen ohne unsere ausdrückliche Genehmigung mitgeteilt werden.

POOR COPY 24

Kraftstoffprüfung Nr. 283 des Techn. Prüfstandes Oppau, Seite 2.

Die Triptanprobe wurde mit 0,12 Vol% BTA verbleit und mit anderen ebenfalls als Klopffest bekannten Kohlenwasserstoffen dem Diisopropyläther, dem Isooktan und dem Flugbenzol verglichen. Der Vollständigkeit halber wurden auch noch die Klopfgrenzkurven von zwei gebräuchlichen Fluorkraftstoffen B 4 (NOZ - 87) und C 3 (NOZ - 95-97) angegeben.

In einer Tabelle sind zunächst außer den wichtigsten Analysendaten die an I.G.-Pflmotor gemessenen Motor-Oktanzahlen für das Triptan, das Isooktan, den Diisopropyläther und das Flugbenzol angegeben. Die Analysenwerte wurden teilweise aus der Literatur entnommen und gelten nur für die reinen Stoffe.⁴⁾ Aufgeführt sind der Siedepunkt, der Brechungsindex, die Viskosität, die Verdampfungswärme, der Heizwert, der Dampfdruck nach Reid und der Kältepunkt.

	Diiso- propyl- äther	Iso- oktan	Benzol	Triptan
Siedepunkt °C b. 760 mm Hg	68	100	80	81
Spez. Gew. 20°	0,725	0,691	0,878	0,688
Brechungsindex	1,3680	1,3921	1,5014	1,3898
Viskosität 20°C in Cps.	0,322	0,543	0,647	0,645
Verdampfungswärme kcal/kg	68,4	72,3	94,5	71,4
Verbrennungswärme kcal/kg	9390	11420	9810	11421
Heizwert kcal/kg	8660	10680	9450	10558
Dampfdruck nach Reid	0,37	0,15	0,22	- x)
Kältepunkt	-86	-108	+6	-25
Motor-Oktanzahl ohne Blei	98,6	100	106	102,5
Motor-Oktanzahl m. 0,1 Vol% BTA	114	115	102,3	117
Bleiempfindlichkeit	15,5	15,0	negativ	15,5

x) Bemerkung: 0° 37,4 mm Hg
40° 201 mm Hg.

4) Sonderdruck: H.E.Bue und E.E.Aldrin, Standard Oil Development Company, Isopropyläther, ein neuer hochklopffester Kraftstoff für Flugmotoren.

Kraftstoffprüfung Nr. 283 des Techn. Prüfstandes Oppau, Seite 3.

Die am Versuchsmotor k bei einem Verdichtungsverhältnis von 1,8 bei einem Zündzeitpunkt von 20° v. o. T. und bei den beiden Ladelufttemperaturen 110° und 130° aufgenommenen Klopfgrenzkurven sind in den TPRS-Blättern 2784 und 2785 wiedergegeben. Dazu ist zunächst zu sagen, daß am Versuchsmotor k für die normalen Prüfungen von Flugkraftstoffen die Ladelufttemperatur nur 80° beträgt. Bei dieser geringen Ladelufttemperatur konnten jedoch die genannten hochklopfesten Kohlenwasserstoffe nicht sämtlich zum Klopfen gebracht werden. Es wurde daher die Ladelufttemperatur zunächst auf 130° erhöht (siehe TPRS-Blatt 2785). Danach zeigt Triptan noch eine höhere Überladbarkeit als Diisopropyläther. Weniger klopfest sind das Isooktan, das Flugbenzol und schließlich die beiden Flugkraftstoffe C 3 und B 4.

Erniedrigt man die Ladelufttemperatur auf 110° , so wird die hohe Überladbarkeit des Triptans gegenüber dem Isopropyläther noch eindeutiger. Der angegebene Klopfwert liegt bei dieser Temperatur schon an der Leistungsgrenze des Überlademotors. Auffallend ist, daß das Flugbenzol bei dieser Ladelufttemperatur ein besseres Klopfverhalten zeigt als das Isooktan. Die Begründung liegt in der großen Temperaturempfindlichkeit der Aromaten gegenüber den Iso-Paraffinen. Die beiden Flugkraftstoffe C 3 und B 4 folgen in weitem Abstand.

In dem dritten Schaublatt TPRS 2783 sind noch die beiden Flugkraftstoffe C 3 und B 4 bei 80° Ladelufttemperatur eingetragen. Dies läßt erkennen, wieviel klopfester die vier genannten Kohlenwasserstoffe gegenüber den heute gebräuchlichen Flugkraftstoffen sind. Danach könnte auch das Triptan, der Diisopropyläther, das Isooktan und das Flugbenzol bei Flugkraftstoffen zur Verbesserung des Klopfverhaltens Verwendung finden.

04768

Kraftstoffprobe Nr. 263 des Techn. Prüfstandes Oppau, Seite 4

Vergleicht man dazu die am I.C.-Prüfmotor ermittelten Motor-Oktanzahlen, so ergibt sich für die Motor-Oktanzahl der mit 0,1 Vol% BTA verbleiten Kohlenwasserstoffe eine etwas andere Reihenfolge der Bewertung. Das Triptan zeigt verbleit die höchste Oktanzahl, es folgt das Isooktan, der Diisopropyläther und schließlich das Benzol. Die Bleiempfindlichkeit des Triptans ist annähernd gleich der des Diisopropyläthers.

25

04769

A k t A IV

ANTIRINGSTICKING - DOPES

Inhaltsverzeichnis:

	<u>Seite</u>
Zusammenfassung	1-10
I. Teil	
Entwicklungsarbeiten der Shell auf dem Gebiet der Ringsticking verhindernden Schmierölzusätze Arbeiten 1935 - 1938	1- 8
Spezieller Teil:	
Chromoleat	8
Calciumphenylstearat (Tenol)	9
Calciumdichlorostearat	9
Zinknaphthenate	9-10
Magnesiumnaphthenat	10-11
Zinksalz des Tallöls	11-12
Paratertiärbutylzinkbenzoat	12-13
Zinkthymotinat	13-14
Zink-(bzw. Calcium)diisopropylsalizylat	14-17
II. Teil	18-19
Berichte der Prüfstation Delft	
III. Teil	20-23
Votol, seine Herstellung und motorisches Verhalten	
Anhang	
enthält u.a. graphische Darstellungen der Prüfungsbefunde von Delft über die wirksamsten Antiringsticking-Dopes	

04770

A k t A IV

Arbeiten der Shell über Ringsticking verhindernde
Schmierölzusätze

Zusammenfassung:

Shell hat im Jahre 1935 ein Arbeitsprogramm für die Erforschung der Ursachen des Kolbenringstickings und für die Entwicklung geeigneter Ringsticking verhindernder Schmierölzusätze aufgestellt, dessen nächstes Ziel es war, Öle auf den Markt zu bringen, die für die Schmierung der in steigendem Masse Anwendung findenden schnelllaufenden Dieselmotoren (für Traktoren und Lastkraftwagen) geeignet sind. Diese Arbeiten sind dann weiter auf Ringsticking verhindernde Schmieröle und Schmierölzusätze für Benzinmotoren ausgedehnt worden.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus dem im anschliessenden Referat ausführlicher behandelten Versuchsmaterial der Shell sind im folgenden zusammengefasst. Über das zur Zeit akute Problem der Vermeidung von Ölschlammabscheidungen in Flugmotoren findet sich in den Unterlagen der Shell praktisch kein spezifisches Material. Es wird jedoch versucht, am Schluss dieser Zusammenfassung einige allgemeinere Hinweise zu geben, die für die Bearbeitung dieses besonderen Problems nützlich sein können.

Ringsticking in Benzin- und Dieselmotoren tritt nach den Untersuchungen der Shell auf als die Folgeerscheinung von zwei Prozessen, die sich unabhängig voneinander oder auch nebeneinander im Motor abspielen und ihren Ausgangspunkt im verwendeten Schmieröl haben:

1.) Primäre Abscheidung von lackähnlichen Substanzen aus dem Schmieröl auf den heissen Teilen des Motors, insbesondere auf Kolben und Kolbenringen, und nachfolgende Verhärtung (Zementierung) der Lackabscheidung durch sekundäre Einwirkung der heissen Verbrennungsgase, wodurch die Kolbenringe festgelegt werden.

2.) Abscheidung von harten Verkokungsprodukten des Schmieröles an und hinter den Kolbenringen, was schliesslich zum Feststecken der Kolbenringe führt.

Die Neigung der aus verschiedenen Rohölen bzw. nach verschiedenen Raffinationsverfahren hieraus gewonnenen Öle, durch Abscheidung solcher unerwünschter Produkte Ringsticking zu veranlassen, ist verschieden gross.

Wie weit das Auftreten von Ringsticking durch die motorischen Bedingungen selbst begünstigt wird (Konstruktion, Belastung, Abnutzungsgrad des Motors, etc.), soll in diesem Zusammenhang unberücksichtigt bleiben; desgleichen auch, wie weit u.U. die Zusammensetzung des Treibstoffes auf die Bildung von Abscheidungen Einfluss haben kann. Es sei lediglich erwähnt, dass man in einigen Fällen bei der Verwendung von

./.

04771

- 2 -

aromatenreichen Treibstoffen erhöhte Lackabscheidung bei Ölen, die an sich hierzu nicht neigen, beobachtet hat.

Um von der Schmierölseite her das Auftreten von Ringsticking zu bekämpfen, sind grundsätzlich zwei Wege gangbar:

1.) Man verringert a priori die Neigung der Öle, Lacke oder Kohlenstoffe unter den im Motor herrschenden Bedingungen abzuscheiden.

2.) Man verleiht dem Öl die Eigenschaft, die schädliche Wirkung dieser Ausscheidungen zu inhibieren, indem man den Ölen die Fähigkeit gibt, die Ausscheidungen von den gefährdeten Stellen dauernd wegzuführen, sodass sie sich dort nicht in störender Menge anreichern können.

Diese beiden Ziele können mit Erfolg durch die Anwendung geeigneter Zusatzmittel zum Schmieröl, sogen. Schmieröldopes, erreicht werden, die sich entsprechend der von ihnen erwarteten spezifischen Wirkung zunächst grundsätzlich unterscheiden in solche, die vorzugsweise auf den chemischen Prozess der Ölzerersetzung im Motor einwirken (Oxydationsinhibitoren) und solche, deren Einwirkung auf die einmal gebildeten Abscheidungen - ohne diese dabei mengenmässig zu verringern - mehr physikalischer Natur ist, die also gegenüber den Ölabscheidungen eine emulgierende bzw. dispergierende Wirkung besitzen (Detergents).

Oxydationsinhibitoren

Nachdem erkannt worden war, dass die Zersetzung von Schmierölen im Motor vorwiegend auf ihre ungenügende Oxydationsbeständigkeit zurückzuführen ist, wobei neben der Ausscheidung von Lacken und festen Verkokungsprodukten auch Säuren gebildet werden, die ihrerseits wieder wegen ihrer korrodierenden Wirkung den Motor gefährden, konnte durch den Zusatz von typisch oxydationsverhindernden Substanzen zu Schmierölen eine Verbesserung der Oxydationsbeständigkeit erzielt und damit auch die Neigung dieser Öle zum Ringsticking vermindert werden. Es handelt sich dabei in erster Linie um organische Verbindungen des Schwefels, des Chlors, des Stickstoffs (Amine) und einige andere, von denen ein Teil noch heute Verwendung findet.

Nach den Untersuchungen der Shell gibt es unter den Oxydationsinhibitoren solche, die als wahre Oxydationsverhinderer die Oxydierbarkeit des Öles entweder ganz unterbinden

./.

oder dessen Oxydationsgeschwindigkeit verlangsamen, und solche, die den katalytisch beschleunigenden Einfluss der Metallwände bzw. der löslichen Metallsalze auf die Oxydation passivieren und daher als Antikatalysatoren aufzufassen sind. Auf die Parallele zwischen diesen Antikatalysatoren, zu denen in erster Linie die organischen Schwefelverbindungen zählen, und den in der katalytischen Chemie bekannten Kontaktgiften, ist auch in der Literatur mehrfach hingewiesen worden.

Nur wenige der als oxydationsverhindernd bekannten Substanzen kommen für die Verwendung als Antiringsticking-Dopes in Schmierölen in Frage, da viele im Motor unangenehme Nebenwirkungen zeigen, insbesondere die Korrosivität des Öles erhöhen.

Besonders empfindlich gegenüber korrosiven Einflüssen sind die in zunehmendem Mass in Gebrauch gekommenen neueren Lagermetall-Legierungen aus Weissmetall, Cadmium-Nickel, Blei-Kupfer, u.a., die die Verwendung eines weiteren Teiles der bis dahin für brauchbar befundenen Dopes wieder ausschlossen. Dies dürfte vielleicht mit ein wesentlicher Grund gewesen sein, weshalb Shell im Verlauf ihrer Arbeiten über Antiringsticking-Dopes fast ausschliesslich zur Entwicklung und Erprobung von Metallseifen der verschiedensten Zusammensetzung übergegangen ist, unter denen bei geringerer Korrosivität einige sehr wirksame Antiringsticking-Dopes gefunden wurden. Hiermit wurde aber der Schwerpunkt der Arbeiten in das Gebiet der Detergents verlegt.

Detergents

Das wesentliche Merkmal dieser Dopes besteht - wie eingangs erwähnt - darin, dass sie die Oxydation und damit die Bildung von Abscheidungen aus dem Öl zwar nicht vermindern, doch diese Abscheidungen durch gute Dispergierung im Öl in unschädlicher Form auftreten lassen.

Selbstverständlich können diese Substanzen ausserdem auch noch eine oxydationshemmende Wirkung auf das Öl ausüben und damit die Antiringsticking-Wirkung durch Verminderung der Ausscheidungen unterstützen, wie umgekehrt auch typische Oxydationsinhibitoren daneben noch eine dispergierende Wirkung auf ausgeschiedene Ölbestandteile haben können, sodass in praxi eine so strenge Scheidung zwischen den Wirkungsweisen der verschiedenen Antiringsticking-Dopes nur in den wenigsten Fällen existiert.

./.

04773

- 4 -

Es muss ausserdem erwähnt werden, dass die verschiedenen Arten von Schmierölzusätzen neben ihrer spezifischen Wirkung auch noch einen mehr oder minder erwünschten Einfluss auf andere Eigenschaften der mit ihnen versetzten Schmieröle haben können, was für die praktische Verwendbarkeit zu berücksichtigen ist.

Diisopropylsalizylsaures Zink

Shell hat im Laufe ihrer seit 1935 auf breiter Basis durchgeführten Untersuchungen über Ringsticking-Dopes zuletzt im Zinkdiisopropylsalizylat (Zinkdips) ein Produkt gefunden, das von allen bisher untersuchten Substanzen den Anforderungen, die an ein technisch brauchbares Antiringsticking-Dope gestellt werden, am besten genügt. Die Motorversuche auf dem technischen Prüfstand ergaben sowohl im Benzin- wie im Dieselmotor einwandfrei die hervorragende Wirkung des Zinkdips, nicht nur in Bezug auf seine Antiringsticking-Eigenschaften, sondern auch in Bezug auf die Verminderung der Kohlenstoffabscheidung im Motor, insbesondere am Kolben und den Kolbenringen. Ausserdem wurde bei Korrosionsprüfungen gegenüber Lagermetallen aus Cadmium-Nickel, Kupfer-Blei und Weissmetall festgestellt, dass die mit Zinkdips oder die mit dem entsprechenden in mancher Beziehung noch überlegenen Cadmiumdips versetzten Öle nach Gebrauch nur gegenüber der Cadmium-Nickel-Legierung korrosiv waren und auch hier nur in einem verhältnismässig beschränkten Ausmass. Ferner konnte nachgewiesen werden, dass die mit Zinkdips versetzten Öle einen geringeren Verschleiss des Kolbens verursachten als die entsprechenden ungedopten Öle. Schliesslich ist noch hervorzuheben, dass der Zusatz von Zinkdips zum Schmieröl einen bemerkenswerten Einfluss auf die allgemeine Sauberhaltung des Motors ausüben soll.

Soweit aus unseren Unterlagen ersichtlich, scheint das Calciumsalz der Diisopropylsalizylsäure dem Zinkdips in seiner Wirksamkeit als Antiringsticking-Dope noch wesentlich überlegen zu sein. Allerdings waren bei dessen Herstellung offenbar noch grössere Schwierigkeiten vorhanden, weshalb sich über die Eigenschaften dieses Dopes nicht mehr viele Einzelheiten aus den bis etwa Ende 1939 reichenden Unterlagen entnehmen lassen. Es ist auch aus dem vorliegenden Material nicht mehr ersichtlich, ob inzwischen eine handelsmässige Herstellung des Zinkdips erfolgt ist. Jedenfalls hatte Shell die Absicht, das Produkt nicht selbst zu erzeugen, sondern es von einer chemischen Fabrik zu beziehen. Sie hat deshalb mit der Gesellschaft für Chemische Industrie in Basel in Verhandlung gestanden, die auch einige Versuchschargen nach Vorschrift der Shell hergestellt hat.

./.

04774

- 5 -

V o l t o l

Im Zusammenhang mit den Arbeiten über Antiringsticking-Dopes müssen auch die Untersuchungen der Shell über voltolisierte Öle betrachtet werden.

Die Ansichten über den Wert von Voltol-Zusätzen zu Schmierölen gehen - wie man aus den Unterlagen hierüber entnehmen kann - bei Shell ziemlich weit auseinander. Dies dürfte sich auf zwei Ursachen zurückführen lassen:

Einmal hat sich im Verlauf der Arbeiten über Voltol-Zusätze die Problemstellung in Bezug auf die Verbesserung der Schmieröle grundsätzlich geändert. Ursprünglich war das Ziel, durch Voltol-Zusatz den V.I. der Öle zu verbessern und dabei gleichzeitig wegen der guten Oiliness-Eigenschaften des Voltols von der höheren Beanspruchbarkeit der voltolisierten Öle im Motor Gebrauch zu machen. Das Interesse an V.I. Verbesserern ging im Laufe der Zeit aus anderen Gründen aber zurück, und es wurde ausserdem festgestellt, dass für viele Flugmotoren die höhere Beanspruchbarkeit der Voltolöle und ihre abriebverhindernde Eigenschaft gar nicht benötigt wurde.

Inzwischen hatte man aber beim Voltol Eigenschaften entdeckt, an die man zur Zeit seiner Einführung noch nicht gedacht hatte, nämlich seine Fähigkeit, schlamm- und lackähnliche Ausscheidungen des Schmieröles zu dispergieren und dadurch eine grössere Sauberkeit des Motors zu bewirken. Diese Eigenschaft war wertvoll, weil die im Laufe der Zeit immer höher raffinierten Mineralöle mit hohem V.I. und hoher Oxydationsfestigkeit nur noch wenig Dispergierungsvermögen für den Ölschlamm besaßen. Es ist dies nach Shell damit zu erklären, dass die im ursprünglichen Rohöl enthaltenen Kohlenwasserstoffe, die ein gutes Dispergiervermögen besitzen, die gleichen sind, die die Oxydationsbeständigkeit des Öles herabsetzen und die daher zwecks Verbesserung der Oxydationsbeständigkeit dem Öl bei der Raffination möglichst weitgehend entzogen werden. Hohe Schlammzahlen werden bei reinmineralischen Ölen hervorgerufen durch mangelnde Oxydationsbeständigkeit bei verhältnismässig gutem Dispergierungsvermögen für den Schlamm. Da bei Mineralölen im allgemeinen der Mangel an Oxydationsfestigkeit das Schlammdispergierungsvermögen übertrifft, gehen hohe Schlammzahlen des Öles parallel mit schlechtem motorischem Verhalten. In modernen Motoren können nur oxydationsfeste Schmieröle von hohem V.I. verwendet werden, also hochraffinierte Öle, wohingegen Öle von geringerer Oxydationsfestigkeit trotz ihres

POOR
COPY

25

höheren Schlammdispersionsvermögens unzureichend sind.

Nach Shell bestand bis dahin der einzige Weg, einem Mineralschmieröl gute Schlammdispersions-Eigenschaften zu verleihen - ohne dabei gleichzeitig die anderen guten Eigenschaften des hoch raffinierten Öles zu beeinträchtigen - in dem Zusatz von Voltolölen auf Basis vegetabilischer Öle.

Nachdem infolge der unablässigen Bemühungen der Motorenindustrie um Verringerung des Motorengewichts pro PS und um Erhöhung der Leistung pro Einheit des Zylindervolumens auch die Frage nach der höheren Beanspruchbarkeit der Motorenöle wieder akut wurde, traten Voltol-Zusätze erneut in den Vordergrund des Interesses.

In diesem Zusammenhang ist auch speziell der Wert des Voltol-Zusatzes zu Flugmotorenölen bei Shell häufig diskutiert worden, ohne dass man - soweit unsere Unterlagen hierüber reichen (bis Anfang 1940) - zu einem endgültigen Urteil in dieser Beziehung gekommen ist.

Die Tatsache, dass die Shell bei ihren Versuchen mit Voltol-Zusätzen Voltole verschiedenen Ursprungs verwendet hat, hat wohl auch ihrerseits erheblich dazu beigetragen, dass man noch zu keinem klaren Bild bezüglich des tatsächlichen Wertes von Voltol-Zusätzen gekommen ist.

Das von Shell zuerst verwendete Voltol war in bekannter Weise durch Behandlung vegetabilischer Öle, insbesondere Rapsöl, mittels elektrischer Glimmentladungen hergestellt worden (Voltolanlage in Freital). Da die Patente für dieses Verfahren abgelaufen waren und Shell inzwischen ein Verfahren entwickelt hatte, wonach man durch Einwirkung von gasförmigem Bortrifluorid auf vegetabilische Öle gleichfalls zu voltol-ähnlichen Produkten kommt, wobei dieses Verfahren den Vorteil hatte, billiger, und für Shell den besonderen Vorteil, ihr durch eigene Patente geschützt zu sein, wurden die Untersuchungen mit diesem Produkt stark forciert.

Während es zunächst so aussah, als ob das BF 3-Voltol dem Elektro-Voltol in jeder Weise gleichwertig ist, haben sich im Laufe weiterer Untersuchungen Nachteile des BF 3-Voltol gegenüber dem Elektro-Voltol herausgestellt. Das BF 3-Voltol ergab schlechtere Ringstickingteste, neigte zum Nachpolymerisieren und ergab in Ollösungen mit der Zeit Ausflockung. Ausserdem war seine Qualität offenbar noch stärker von den Eigenschaften der vegetabilischen Ausgangsöle abhängig als dies beim Elektro-Voltol der Fall war, sodass es schwierig war, nach dem Borfluorid-Prozess ein gleichbleibendes Produkt zu liefern.

04776

- 7 -

Diese Schwierigkeiten haben wohl wesentlich dazu beigetragen, dass man bei Shell generell dem Voltol gegenüber eine verhältnismässig ablehnende Stellung einnahm. Doch ist hierüber das letzte Wort noch keineswegs gesprochen, und es liegen einige wenige Hinweise dafür vor, dass sich in der neuesten Zeit dieser Standpunkt zugunsten der Voltol-Verwendung geändert hat. Es ist ausserdem aus der Literatur bekannt, dass z.B. in Amerika voltolisierte Öle als Schmieröl-Zusatz verwendet werden, wobei es offenbleiben mag, welchen spezifischen Zweck der Voltol-Zusatz in diesen Ölen besitzen soll.

Einen Einblick in die steigende Bedeutung von Schmieröl-Dopes in Amerika ergibt ein Bericht der Shell vom Anfang des Jahres 1940, nach dem der Verbrauch an gedopten Ölen im Jahre 1939 bei Dieselölen auf 25 - 30 und bei Autoölen auf 10-15 % geschätzt wird. Nach der gleichen Quelle sind etwa 80 % der Öle, die den Spezifikationen von Wright entsprechen, gedopt, wobei zu erwähnen ist, dass im Gegensatz hierzu Pratt & Whitney die Verwendung von Dopes nicht befürworten und die USA-Marine den Gebrauch von Dopes bis dahin strikte abgelehnt hat. In demselben Bericht wird auch erwähnt, dass zur Zeit (Anfang 1940) auch an dem Zusatz von voltolisierten Produkten zu Schmierölen wieder zunehmendes Interesse besteht, und dass Shell sich gerade entschlossen habe, eine neue Voltolanlage zu errichten.

Schlussfolgerungen:

Bei den in Deutschland verwendeten Flugmotorenölen, insbesondere soweit sie synthetische Öle enthalten, ist im Augenblick die Vermeidung von Schlammausscheidungen ein ernsteres Problem. Es hat sich nämlich gezeigt, dass der Ölschlamm infolge der hohen Umdrehungszahl der Motoren durch Zentrifugalwirkung aus dem Öl ausgeschleudert wird, wobei er sich an empfindlichen Stellen im Motor zusammenballt und zur Verstopfung von Ölkanälen, usw. Anlass geben kann. Abgesehen hiervon, macht die durch den ausgeschleuderten Ölschlamm verursachte allgemeine Verschmutzung der Motoren eine häufigere Überholung notwendig, und es besteht daher die Aufgabe, die Schlammausscheidung zu unterbinden.

Bei der Prüfung, wie weit den Untersuchungen der Shell nützliche Hinweise für die Bearbeitung dieses speziellen Problems entnommen werden können, muss zunächst festgestellt werden, dass über dieses Problem bisher keine sehr eingehenden Untersuchungen bei Shell stattgefunden haben.

./.

POOR
COPY

25

PO
CO

04777

- 8 -

Die Frage der Sauberkeit des Motors war bis dahin offenbar nicht von so entscheidender Bedeutung, dass sich deswegen die Durchführung besonderer Versuche gelohnt hätte, sodass diese Frage sozusagen nur am Rande der Arbeiten über Oxydationsinhibitoren und detergents, mit denen sie ja ursächlich eng verknüpft ist, hier und da miterwähnt worden ist.

Es ist dabei interessant, dass auch Shell bei der Ausprüfung von synthetischen Ölen im Motor beobachtet hat, dass diese, ungeachtet ihrer hohen Antiringsticking-Wirkung und an sich geringen Neigung zur Schlammbildung - weswegen sie auch von Shell als die bestgeeigneten Flugmotorenöle betrachtet werden - , die Tendenz zeigen, gebildeten Ölschlamm sehr leicht auszuscheiden und dadurch die Motoren gelegentlich stark verschmutzen. Dies ist nach dem weiter vorn Gesagten auf die Abwesenheit von dispergierend wirkenden Substanzen zurückzuführen, deren Vorkommen naturgemäss in synthetischen Ölen noch weniger zu erwarten ist als in Ölen natürlicher Herkunft. Als Abhilfe hiergegen ist damals für synthetische Öle der Zusatz von Magnesiumstearat oder Zinknaphthenat empfohlen worden, deren günstigen Einfluss auf die schlamm-dispergierende Wirkung man im Rahmen der Untersuchungen über Antiringsticking-Dopes gerade erkannt hatte.

Auf der anderen Seite hatte man auch Versuche mit Voltol-Zusätzen gemacht, mit denen man bei nicht synthetischen Ölen gerade in Bezug auf die Sauberhaltung des Motors sehr gute Erfolge gehabt hatte. Beim synthetischen Öl hat jedoch ein solcher Versuch nicht nur keinen Einfluss auf die Schlamm-ausscheidung gehabt, sondern es wurde sogar nach Voltol-Zusatz mit diesem Öl eine stärkere Neigung zum Ringsticking beobachtet. Unglücklicherweise war aber gerade dieser Versuch mit dem auf chemischem Wege erhaltenen BF 3-Voltol durchgeführt worden, sodass man daraus noch keinen endgültigen Schluss auf die Wirkung des Voltols beim Zusatz zu synthetischen Ölen ziehen kann.

Im Zusammenhang mit den Versuchen zur Verhinderung des Ausschleuderns von Ölschlamm aus Flugmotorenölen erscheint es daher gegeben, dass die Wirkung von Voltol-Zusätzen hierbei noch genauer studiert wird. Da offenbar die Wirkung des Voltols in entscheidendem Mass von seiner Herstellungsweise, sowohl was Verfahren als auch Ausgangsprodukte anlangt, beeinflusst wird, erscheint es nicht ausgeschlossen, dass günstige Effekte bestehen, die der bisherigen Beobachtung noch entgehen sind. Wichtig dürfte es dabei sein, auch den Einfluss einer gleichzeitigen Mitverwendung anderer Dopes zu untersuchen, wobei in erster Linie an Antiringsticking-Dopes, also entweder ausgesprochene Oxydationsinhibitoren oder z.B. an das von Shell als sehr wirksam gefundene Zink- bzw. Calciumsalz der Diisopropylsalizylsäure gedacht ist. Es findet sich übrigens in einer

./.

POOR
COPY

25

PC
CC

04773

- 9 -

Besprechungsnotiz der Shell auch eine Bemerkung darüber, dass die Verwendung von Voltol in Flugmotorenölen dann u.U. von Interesse sein kann, wenn man Dopes findet, die die unangenehmen Nebenwirkungen des Voltols - offenbar sind damit Ringsticking und Korrosivität gemeint - unschädlich machen.

Über Versuche der Shell in dieser Richtung ist aus den Unterlagen nichts bekannt.

Abschliessend soll noch auf einige Punkte hingewiesen werden, die im Zusammenhang mit den obigen Arbeiten von Interesse sein können:

Bezüglich des Ringstick-Effekts glaubt Shell, dass es zwei Arten von Ringsticking gibt, von denen jede innerhalb von bestimmten Temperaturgebieten, die sich zum Teil überlappen können, auftreten kann. Dementsprechend soll auch die Natur der an dem Kolbenring abgeschiedenen zum Ringsticking führenden Substanzen je nach der Zugehörigkeit zum einen oder anderen Temperaturgebiet verschieden sein, und es wird weiter angenommen, dass auch die Wirksamkeit ein- und desselben Antiringsticking-Dopes in den beiden Temperaturgebieten verschieden ist, sodass es nicht ausgeschlossen erscheint, dass einige Dopes im hohen Temperaturgebiet versagen und im niedrigen Gebiet wirksam sein können und umgekehrt. Die Rolle, die das Voltol in diesem Zusammenhang spielt, ist noch ungeklärt, doch scheint auch seine Wirksamkeit-jedenfalls wie Shell annimmt - von einem gewissen Punkt an aufzuhören.

Hinsichtlich der Beurteilung eines Schmieröles nach seinem Schlammgehalt wird auf folgendes hingewiesen:

Es ist gezeigt worden, dass Ölschlamm für den Betrieb des Motors völlig harmlos sein kann, wenn er infolge guten Dispergierungsvermögens des betreffenden Öles in Suspension gehalten wird. Naturgemäss können diese Öle beim Ablassen aus der Kurbelwanne schmutziger erscheinen als Öle, deren absolute Schlammmenge vielleicht geringer ist, die jedoch dazu neigen, ihren Schlamm bereits im Motor abzulagern. Die üblicherweise durchgeführte Ölschlammanalyse erfasst nur die absoluten Schlammengen und kann daher u.U. zu einer falschen Beurteilung der Brauchbarkeit eines Öles verleiten, besonders dann, wenn die Ölschlammuntersuchung in der Weise durchgeführt wird, dass durch Verdünnen des Öles, beispielsweise mit Petroläther, aus diesem auch noch Substanzen ausgefällt werden, die im Öl löslich und damit für den Betrieb des Motors unschädlich gewesen wären. Es ist danach durchaus denkbar, dass aufgrund der Schlammanalyse ein Öl, das wenig

POOR
COPY

25

PO
CO

04779

- 10 -

Schlamm bildet, diesen Schlamm jedoch leicht an den gefährdeten Stellen des Motors ausscheidet, im Gegensatz zum tatsächlichen motorischen Verhalten besser beurteilt wird als ein Öl, bei dem zwar relativ mehr Schlamm gefunden wird, das jedoch infolge seiner höheren Dispergierfähigkeit den Schlamm in einer für den Betrieb des Motors ungefährlichen Suspension hält. Hieran ist bei der Beurteilung von Ölen und Ölkompositionen aufgrund ihres Schlammbildungsvermögens stets zu denken.

POOR
COPY

25

04780

A k t A IV

T e i l I

Antiringsticking-Dopes.- Entwicklungsarbeiten der
Shell auf dem Gebiet der Ringsticking verhindernden
Schmierölzusätze

Im Rahmen der Untersuchungen, die die Shell auf dem Gebiet der Schmierölzusatzmittel zur Verbesserung spezifischer Eigenschaften von Schmierölen wie z.B. Oxydationsbeständigkeit, Korrosivität, Oiliness, Neigung zur Kohlenstoffabscheidung, Neigung zum Ringsticking, etc. durchgeführt hat, nehmen die Arbeiten über die Verhinderung des Ringstickings durch geeignete Zusatzmittel zum Schmieröl einen breiten Raum ein.

Die Erscheinung des Ringsticking wurde bei Shell zunächst in Motorversuchen mit reinen Ölen und Ölmischungen untersucht, wobei gewisse Zusammenhänge zwischen der chemischen Natur der Öle einerseits und ihrer Neigung zum Ringsticking festgestellt wurden; andererseits wurde auch der Einfluss der motorischen Bedingungen auf die Erscheinung des Ringstickings studiert.

Nachdem hierbei erkannt worden war, dass die Neigung von Schmierölen zum Ringsticking durch Zusatz gewisser Substanzen von mehr oder minder einheitlicher chemischer Struktur herabgesetzt werden kann, hat Shell zahlreiche solche Substanzen, sogen. "Antiringsticking-Dopes", im Nachfolgenden als A.R.-Dopes abgekürzt, auf ihre Wirksamkeit bei verschiedenen Ölen und in verschiedenen Motoren unter wechselnden Betriebsbedingungen untersucht. Diese Arbeiten wurden besonders forciert etwa vom Jahre 1935 an durch das Bestreben, ein Dieselschmieröl auf den Markt zu bringen, das sich vor allem für die Schmierung der in zunehmendem Mass Verwendung findenden schnelllaufenden Dieselmotoren für Traktoren (Caterpillars) eignet. Da in diesen Motoren besonders hohe Anforderungen an die Antiringsticking-Eigenschaften der Schmieröle gestellt werden, waren ungedopte Öle für die Verwendung in diesen Motoren zum grössten Teil ungeeignet.

Aber auch für die Schmierung von Benzinmotoren wurde die Verbesserung der Antiringsticking-Eigenschaften der Motorenöle ein immer dringlicheres Problem, da die Entwicklung der Benzinmotoren nach immer höheren Leistungen ging, wobei die Beanspruchung der Öle, insbesondere in Flugmotoren, durch die steigenden Betriebstemperaturen immer grösser wurde.

Dementsprechend erfolgte die Ausprüfung neuer Dopes im allgemeinen sowohl im Diesel- als auch im Benzinmotor, wobei es übrigens nicht uninteressant ist, festzustellen, dass die in beiden Motortypen erzielten Ergebnisse nicht notwendigerweise in der gleichen Richtung zu liegen brauchen, was u.a. auch in der im Anhang befindlichen auszugsweisen Übersetzung eines Briefes vom 21. November 1938 bestätigt wird.

Da die in Bezug auf ihre Antiringsticking-Wirkung für brauchbar befundenen Dopes neben ihren gewünschten Eigenschaften oft auch unerwünschte Nebenwirkungen zeigten, wurde bei den Untersuchungen selbstverständlich auch hierauf geachtet. Insbesondere konnte festgestellt werden, dass die Korrosivität der mit solchen Dopes versetzten Öle vor allen Dingen gegenüber bestimmten im Motorenbau verwendeten Lagerlegierungen oft beträchtlich erhöht wurde, weshalb diese Frage für die Beurteilung der Eignung eines A.R.-Dopes für den praktischen Gebrauch gleichfalls genau untersucht wurde.

Die Substanzen, die als A.R.-Dopes in Frage kommen, sind fast ausnahmslos Metallseifen von aliphatischen, aromatischen-, naphthenischen- oder auch von substituierten organischen Säuren, und zwar handelt es sich vorwiegend um die Verbindungen des Zn, Mg, Al, Ca, wobei vor allen Dingen die Salze des Zinks gute Resultate ergaben, wie aus einer weiter unten gebrachten Übersicht über die von Delft in Motorversuchen als besonders günstig beurteilten A.R.-Dopes hervorgeht.

Die Entwicklung der A.R.-Dopes ist bei Shell - wie man aus den bis zum Anfang des Jahres 1940 reichenden Unterlagen ersehen kann - noch nicht abgeschlossen. Shell hatte ursprünglich für ihre auf den Markt gebrachten Caterpillar-Schmieröle ein Produkt der Sinclair Refining Co. "Tenol" verwendet und mit der Sinclair im Jahre 1936 ein Verkaufsabkommen über dieses Produkt abgeschlossen. Trotzdem war Shell seitdem dauernd bemüht, ein eigenes nach Möglichkeit noch besseres Substitut für das Tenol zu finden. Die Entwicklung führte dabei schliesslich zum diisopropylsalkzylsauren Zink, dem sogen. Zinkdips und zum Zinksalz der Thymotinsäure, auf die man bei Shell nach den letzten vorliegenden Unterlagen aus dem Jahr 1939 die grössten Hoffnungen setzte.

Bevor jedoch auf Einzelheiten aus dieser Entwicklung eingegangen wird, soll im Folgenden eine Übersicht über die Arbeiten auf dem Gebiet der A.R.-Dopes nach dem Stand vom September 1938 gebracht werden, in der die technischen und chemischen Probleme, die sich bei der Bearbeitung des ganzen

./.

Fragenkomplexes ergeben haben, zusammengefasst werden, und in der auch kurz die von anderen Gesellschaften auf den Markt gebrachten A.R.-Dopes erwähnt werden.

Das Problem des Ringsticking in Dieselmotoren wurde akut durch die Einführung von hochoberigen Motoren mit enger Zylinderbohrung. Von diesen Motoren stellen die Caterpillar-Dieselmotoren die gebräuchlichste Art des Traktorenantriebs dar und machen gleichzeitig in Bezug auf Ringsticking unter den anderen verwendeten hochoberigen Dieselmotoren die grössten Schwierigkeiten. Es wurde daher im Jahre 1935 bei der Shell ein kooperatives Versuchsprogramm zur Herstellung von Treibstoffen und Schmiermitteln aufgestellt, die in den Laboratorien der Caterpillar Tractor Co. ausgeprüft werden sollten. Zuvor erfolgte die Ausprüfung dieser Öle in den Prüfstationen der Shell.

Zunächst hatte die Standard Oil Co. of California ein Spezialöl für Caterpillar-Dieselmotoren auf den Markt gebracht, das Aluminiumnaphthenat enthielt. Später wurde von der Shell das Tenol, ein Schmieröl, das Calciumphenylstearat enthielt, übernommen, wobei die Phenylstearinsäure von der Sinclair Oil Co. gekauft wurde.

Eine Untersuchung über das Verhalten der beiden führenden gedopten Schmieröle, des "R.P.M." der Standard und des "Tenol" der Shell, im praktischen Betrieb und ein Vergleich dieser Öle mit ungedopten Pennsylvania- und California-Ölen ergab, dass die gedopten Öle auch im praktischen Betrieb eine beträchtliche Verringerung des Kolben-Ringsticking bewirken, wie aus nachfolgender Gegenüberstellung hervorgeht, die aufgrund von Inspektionen an Motoren nach 1500 stündiger Laufzeit aufgestellt wurde:

	<u>% Ringsticking</u>
Gedoptes Öl (Shell Tenol, R.P.M.)	3,2
California-Öl	17,1
Pennsylvania-Öl	35,8

Andere später entwickelte handelsübliche Schmiermittel für die Caterpillar-Schmierung enthalten Calciumdichlorostearat ("Dieso-Life" der Union Oil Co.) sowie Calciumoleat + andere Zusätze ("Cadel" der Associated Oil Co.).

Während der Untersuchungen im Laboratorium und im praktischen Betrieb wurden 2 Arten von Ringsticking beobachtet:

./.

Die erste, die vor allem bei der Verwendung von Schmierölen naphthenischen Ursprungs in Erscheinung tritt, wird durch das Absetzen von Lack an den oberen und unteren Flächen der Kolbenringe verursacht. Hieraus darf übrigens nicht gefolgert werden, dass die Bildung von Lack bei naphthenischen Ölen schneller vorsichgeht, als bei paraffinischen Ölen. Es ist vielmehr so, dass bei naphthenischen Ölen das Eintreten einer Störung durch Kohlenstoffabscheidung soweit verzögert wird, bis die Störungen, die durch den langsameren Prozess der Ringverklebung infolge Lackabscheidung eintreten können, beobachtbar werden. Die zweite Art des Ringsticking wird verursacht durch Kohlenstoffabscheidung hinter den Kolbenringen unter Ausfüllung der Ringnuten, wobei die normale Beweglichkeit des Kolbenrings eingeschränkt wird. Sie tritt mehr bei paraffinbasierten Ölen in Erscheinung, wenn sie auch gelegentlich bei naphthenbasierten Schmierölen beobachtet werden konnte. Das Letztere war vor allem dann der Fall, wenn man naphthenbasierten Ölen A.R.-Dopes zusetzte, die zwar die Abscheidung von Lack verhinderten, aber nicht auf die Kohlenstoffabscheidung in den Ringnuten einwirkten.

Der Mechanismus, nach dem durch Lackabscheidung Ringsticking in Caterpillar-Dieselmotoren verursacht wird, scheint folgendermassen zu sein:

Lackfilme können sich absetzen, ohne die normale Ringbeweglichkeit zu stören, solange die Zylindertemperaturen über einem kritischen Bereich liegen. Wenn der Motor abgestellt wird, erhärten diese Lacke und sind dann genügend fest, den Kolbenring in der Ringnute des Kolbens unbeweglich fest zu halten. Bei weiterer Abkühlung des Aluminiumkolbens bewirkt dessen radiale Kontraktion, dass die an ihm festklebenden Ringe von der Zylinderwand abgelöst werden. Wenn der Motor wieder angelassen wird, wird der Lack durch vorbeiblasendes Verbrennungsgas gebacken, was zu einer Zementierung des Kolbenrings führt.

Im allgemeinen sind naphthenbasierte Öle in Bezug auf die Zeit, die bis zum Eintreten des Ringstickings gebraucht wird, den paraffinbasierten überlegen. Diese Erscheinung ist verschiedentlich dem grösseren Lacklösungsvermögen von naphthenbasierten Ölen zugeschrieben worden, ausserdem aber der grösseren Tendenz der paraffinbasierten Öle, Kohlenstoff in den Ringnuten abzusetzen. Die Aufgaben für die Compoundierung von Ölen für ihre Verwendung als Caterpillar-Schmiermittel sind daher:

- 1.) Vermeidung der Lackabscheidung und
- 2.) Weichhaltung des Kohlenstoffs bzw. den Kohlenstoff in einer leicht entfernbaren Form zu halten.

./.

Es wurde ausserdem beobachtet, dass verschiedene Öle, die einen 1000-stündigen Motortest bei normaler Leistung bestanden, bei Hochleistungstesten die Zylinderwand nicht mehr vor Abrieb schützten. Daher besteht als 3. wichtiger Punkt die Forderung nach hoher Filmfestigkeit bei Temperaturen und Ringdrücken, die bei 150 % Normalbelastung auftreten können. Andere Anforderungen an Caterpillar-Dieselöle sind: Genügend schnelles "brake in" der Kolbenringe, geringer Zylinderwandverschleiss und niedriger durchschnittlicher Ölverbrauch.

Zusätze, die die Lackabscheidung auf dem Kolben verhindern, sind zwar bekannt, der inhibierende Prozess selbst jedoch nicht. Es sind verschiedene Erklärungsmöglichkeiten geäussert worden. So können z.B. Metallseifen, die die Lackabscheidung verhindern können, eine grössere Affinität zur Kolbenoberfläche haben, als die Lacke, und dadurch die Abscheidung der letzteren verhindern. Es kann aber auch sein, dass die Seifen und die Oxydationsprodukte eine grössere Affinität zu einander besitzen, als eines von beiden zur Kolbenoberfläche, sodass die Seifen die Lackbildung verursachenden Substanzen in das Öl befördern. Es können aber auch die Zersetzungsprodukte der Seifen, wie z.B. Metallkarbonate oder -Oxyde eine scheuernde bzw. reinigende Wirkung ausüben. Verschiedene Dopes können als Antioxydationsmittel wirken. Wahrscheinlich ist es, dass das Zusammentreffen einiger dieser Prozesse den Gesamteffekt hervorruft. Die Mischung von Seifen in Ölen begegnete zahlreichen Schwierigkeiten. Verschiedene Calcium-, Zink- und Barium-Seifen, insbesondere solche von gesättigten aliphatischen Säuren, scheiden sich leicht aus dem Öl wieder ab. Diese sind daher nicht zu gebrauchen. Andere wieder bleiben zwar in Lösung, neigen aber zur Bildung gelatinöser Strukturen. Bei weiteren Untersuchungen wurden verschiedene Verbindungen gefunden, so u.a. Trikresylphosphat, Triphenylphosphit, Benzylalkohol und Benzyläther, die als Antigele wirken. Verschiedene Verbindungen wurden verworfen, weil sie dem Öl einen schlechten Geruch gaben. Andere waren zu flüchtig. Noch andere wieder waren wegen ihres hohen Preises nicht zu gebrauchen. Eine Reihe von geeigneten Zusatzmitteln musste aus patentrechtlichen Gründen ausscheiden. Schliesslich waren auch in einigen Fällen Herstellungsschwierigkeiten der Grund für die Nichtanwendung.

Wegen der Überlegenheit naphthenbasischer Öle über paraffinbasische wurden die ersteren für die laboratoriumsässigen Untersuchungen über gedopte Schmiermittel verwendet. Verschiedene gedopte Öle haben zwar die Eigenschaft, Lackabscheidung zu verhindern; man bekam jedoch mit ihnen trotzdem in weniger als 1000 Stunden Ringsticking infolge von

./.

Kohlenstoffabscheidung, bzw. es drohte aus diesem Grunde die Gefahr des Ringstickings nach 1000 Stunden. So verursachte z.B. ungedoptes Talpa 41-Öl Steckenbleiben eines Ringes nach 600 Betriebsstunden infolge Lackabscheidung, während das gleiche Öl mit 1,2 % Magnesiumstearat + 0,5 % Benzyläther die beiden obersten Ringe nach knapp 750 Betriebsstunden infolge Kohlenstoffabscheidung festsetzte. Andere Öle, die entweder mit Magnesium- oder Aluminiumstearat + Benzylalkohol versetzt waren, zeigten nach 1000 stündigem Betrieb zwar kein Ringsticking, man fand jedoch derartige Mengen Kohlenstoff hinter dem ersten Ring, dass man mit der Möglichkeit eines Festsitzens des Kolbenrings nach zusätzlicher Betriebsdauer rechnen muss.

Im ganzen gesehen, haben verschiedene Metallseifen des Calciums, Magnesiums, Aluminiums oder Bariums mit aromatischen, aliphatischen oder naphthenischen Säuren Ringsticking in beachtenswertem Mass verhindert, wobei Calciumsalze die Fähigkeit besitzen, Kohlenstoffabscheidung hinter den Kolbenringen in stärkerem Mass wieder aufzulösen als Aluminium- oder Magnesiumsalze, sodass, obwohl Magnesiumseifen zwar nicht mehr Kohlenstoff produzieren als Calciumseifen, der Kohlenstoff bei der Verwendung von Magnesiumseifen eine grössere Neigung zeigt, zusammenzubacken und so den Kolbenring schneller festzulegen. Tenol verursachte im 1000 Stunden-Betrieb nur geringe Abscheidung in den Ringnuten. Desgleichen verursachte auch ein Öl, das 1,2 % Magnesiumalphabenzalstearat enthielt, nur geringe Abscheidung im 1000 Stunden-Betrieb. Öle, die entweder

- a) 1,2 % Magnesiumstearat + 0,25 % Trikresylphosphit
+ 1 % Benzylalkohol oder
- b) 1,5 % Aluminiumstearat + 1 % Benzylalkohol

enthielten, verursachten stärkere Abscheidung während 1000 Stunden als die beiden vorgenannten Öle, wobei die oberste Ringnute praktisch vollständig angefüllt war. Öle, die

- a) 1,2 % Magnesiumstearat + 0,75 % Benzylalkohol oder
- b) 1,2 % Magnesiumalphabenzalstearat + 1 % Trikresylphosphat oder
- c) 1,2 % Magnesiumstearat + 1 % Trikresylphosphat

enthielten, verursachten starke Abscheidung im 500 Stundentest. Desgleichen wurde starke Abscheidung erhalten bei Verwendung von Ölen mit 1,2 % Calciumterpinylstearat nach 125 Stunden oder bei Ölen mit 1,0 % Calciumoleat + 1,0 % Trikresylphosphat,

./.

04786

- 7 -

gleichfalls nach 125 Stunden oder bei Ölen mit 0,5 % Calciumoleat + 1 % Trikresylphosphat nach 250 Stunden.

Es wurden auch die möglichen Vorteile in Betracht gezogen, die sich bei der Verwendung gemischter Seifen ergeben können, wie z.B. bei Verwendung von Magnesiumnaphthenat (zur Sauberhaltung des Kolbens) und Calciumoleat (zur leichteren Entfernung des Kohlenstoffs und evtl. auch zur Erzeugung eines weichen Poliermittels für die Zylinderwand). Eine Mischung, die 0,6 % von beiden Seifen + 1 % Trikresylphosphat (zur Erhöhung der Filmfestigkeit und Verminderung des Abriebs) enthielt, wurde mit Erfolg in einem Hochleistungstest geprüft. Bei einem zweiten Gegenteilstest wurde allerdings ein leichter Abrieb an der Zylinderwand festgestellt.

Floyd's Base No. 40, die ein wirksameres Zusatzmittel für hohen Lagerdruck darstellt als Trikresylphosphat, wurde einem Öl zugemischt, das 0,6 % Magnesiumnaphthenat + 0,6 % Calciumoleat enthielt. Dieses Öl gab bei beiden Hochleistungstesten sehr zufriedenstellende Resultate. Da man bei der praktischen Anwendung dieses Öles wegen seines gleichzeitigen Gehaltes von Calciumsalz und Naphthenat auf patentrechtliche Schwierigkeiten stoßen kann, wurde - um nicht in Kollision mit den Patentinhabern auf dem Gebiet der Calciumnaphthenat-Dopes zu kommen - ein Öl geprüft, das nur Magnesium, aber keine Calciumseife enthielt. Eine Mischung, die aus 1,2 % Magnesiumnaphthenat + 1 % Floyd's Base No. 40 + 0,035 % Floyd's Base No. 41 (letzteres soll auf Empfehlung der Floyd's Co. als Lösungsvermittler für Floyd's Base No. 40 dienen) bestand, wurde einem Gemisch von unfiltriertem, Furfurol- und SO₂-behandeltem Öl vom Viskositätsindex 35 zugesetzt und ergab sowohl beim Hochleistungstest als auch beim 1000 Stunden-Test unter normaler Belastung zufriedenstellende Resultate.

Es wurde auch Bariumnaphthenat Hochleistungstesten unterworfen, wobei kleine Schwächen auftraten, wenn rohe Naphthensäure aus Mt. Poso-Gasöl zur Herstellung des Naphthenats verwendet worden war. Wenn man Naphthensäure von höherem Molekulargewicht verwendet, scheint die Tendenz zum Abrieb der Zylinderwand geringer zu werden. Bariumnaphthenat hielt den oberen Teil des Kolbens in den 2 bis dato durchgeführten Hochleistungstesten frei von Kohlenstoff. Dieses scheint auch die Beobachtung mit einem anderen Bariumsalz, mit Bariumalphabenzylstearat, zu bestätigen, mit dem der obere Teil des Kolbens sehr sauber gehalten wurde, wobei es allerdings Ringsticking an einem unteren Kolbenring gab.

./.

Es wurde auch Magnesiumpalmitat in Verbindung mit einem Zusatzmittel für hohen Lagerdruck für die Herstellung eines Antiringsticking-Öles verwendet. Eine Mischung von 1,2 % Magnesiumpalmitat + 0,5 % Dibenzyldisulfid ergab beim Hochleistungstest und beim 250 stündigen Dauertest ein gutes Ergebnis; es konnte allerdings noch nichts über die Härte der Kohlenstoffabscheidung in der obersten Ringnute während des Dauertestes ausgesagt werden.

Bezüglich einer Verwendung von Schmieröl-Dopes als Zusatzmittel für Flugmotorschmieröle ist ein Brief vom 28. November 1938 sehr aufschlussreich, aus dem hervorgeht, dass die Shell zu dieser Zeit noch nicht in der Lage war, aus der grossen Zahl der bisher untersuchten Substanzen ein geeignetes A.R.-Dope für Flugmotorenöle zu empfehlen. Eine auszugsweise Übersetzung des Briefes siehe im Anhang I.

Von einer grossen Reihe der auf ihre Antiringsticking-Wirkung untersuchten Zusatzmittel liegen die Prüfungsergebnisse des Motorprüfstandes in Delft aus den Jahren 1936 bis Ende 1939 vor. Es soll hier nicht auf alle diese Untersuchungen eingegangen werden, sondern lediglich auf die im Anhang II gebrachte Zusammenstellung verwiesen werden, die diejenigen A.R.-Dopes enthält, die nach dem Untersuchungsbericht von Delft im Deutz-Benzinmotor als besonders wirksam angesehen wurden. Die Tabelle enthält zugleich Hinweise auf die Originaluntersuchungsberichte von Delft. (Vergl. auch Anhang III-XII).

Im Folgenden soll noch auf einige Dopes, die nach den hierüber vorliegenden Unterlagen für eine Herstellung in grossem Masstab in Erwägung gezogen worden waren, etwas näher eingegangen werden:

Chromoleat

Obwohl dessen praktischer Wert als A.R.-Dope zweifelhaft erscheint, soll es hier erwähnt werden, da es von der Inhaberin der Patente, der Wakefield Co., auch als wirksam gegen Harz- und Schlammabblagerung im Schmieröl empfohlen wurde. Es soll neben guter Antiringsticking-Wirkung auch die Eisenabnutzung im Motor verringern (Brief 13.12.38).

Delft hat festgestellt (3.7.34), dass Chromoleat in 0,4 %igem Zusatz zum Double Shell das Ringsticking im Benzinmotor verhindert, wobei dieser Effekt etwa in der gleichen Grössenordnung ist, wie wenn die Temperatur der Kühlflüssigkeit von 195 auf 185°C erniedrigt wird. Bezüglich der Ölverschlammung hat Delft jedoch einen ungünstigen Einfluss des Chromoleats beobachtet.

Calciumphenylstearat (Tenol)

Es ist dies ein Produkt der Sinclair Refining Co., für das die Shell von der Sinclair die Rechte zur Verwendung in eigenen Ölen aufgrund eines Vertrages vom Dezember 1936 erworben hat. Shell "Tenol"-Öle, die speziell für die Schmierung von Caterpillar-Dieselmotoren hergestellt wurden, enthalten 1 % dieser Substanz. Das Calciumphenylstearat hat den Nachteil, dass es die mit ihm versetzten Öle gegenüber Blei-Bronze-Lagerlegierungen korrosiv macht (Brief 18.7.38). Shell hat stets versucht, ein besseres Substitut für dieses Produkt zu finden. Ein sehr geeignetes Ersatzprodukt war offenbar die Mischung von Calciumoleat und Magnesiumnaphthenat zusammen mit Floyd' Base (letztere ist zur Oilinessverbesserung), doch ist man von der Einführung dieses Produktes wieder abgegangen, da man patentrechtliche Schwierigkeiten bei der Verwendung von Calciumsalzen in Gegenwart von Naphthenaten befürchtete (Brief 17.8.38). Im Benzinmotor zeigte Tenol übrigens keine Verbesserung des Ringsticking (Delft 1937/26).

Calciumdichlorostearat

Es handelt sich hierbei um ein Produkt, das der Union Oil Co. patentiert ist, und durch die Lubrizol Sales Co. als 40 %iges Konzentrat in Öl gelöst auf den Markt gebracht wird. Für den Gebrauch als Caterpillar-Dieselschmieröl sind 3,33 % des Konzentrates einem naphthenbasischen Öl zuzusetzen (Brief 26.8.38). In England erfolgte der Vertrieb über die Anglamol Ltd. Shell hat sich für dieses Produkt als Konkurrenzprodukt zum Tenol sehr interessiert und es in ihren Ardol-Ölen für die Caterpillar-Schmierung verwendet. Das Produkt ist ähnlich wie das Calciumphenylstearat gegen Blei-Bronze-Lagermetalle korrosiv.

Zinknaphthenate

haben sich neben Magnesiumstearat, insbesondere als Zusatzmittel zu synthetischem Schmieröl (S 387), sowohl bezüglich der Antiringsticking-Eigenschaften als auch der Sauberhaltung des Motors besonders gut bewährt (Auszug aus Brief 5.5.37).

Wie aus einem Brief von Delft (28.3.40) hervorgeht, ist die Wirkung der Zinknaphthenate im Deutz-Benzinmotor sehr stark von der Herkunft der Naphthensäuren abhängig.

Memo Delft 1937/65

Ein Öl, bestehend aus Aeroshell Medium mit 1 % Zinknaphthenat-Zusatz, hatte sehr gute Antiringsticking-Eigenschaften und ergab wenig Kohlenstoffabscheidung im Zylinder des

durch Äthylenglykolverdampfung gekühlten Deutz-Benzinmotors.

Memo Delft 1937/174

Bei der Untersuchung eines anderen Zinknaphthenats wurde die gute Antiringsticking-Wirkung bestätigt. Die Kohlenstoffabscheidung im Zylinder war jedoch gegenüber dem ungedopten Öl wenig vermindert. In Bezug auf Kohlenstoffabscheidung wesentlich besser verhielt sich ein Öl, dem 1 % Zinkresinat zugesetzt war.

Memo Delft 1940/IR 23

berichtet über Versuche mit einem Rectiflow-Öl, dem 1 % dibutyl-naphthensaures Zink zugesetzt war. Es wurde eine beträchtliche Verbesserung des Ringstickings sowie eine Verminderung der Kohlenstoffabscheidung in den Ringnuten sowie im Kolbeninnern beobachtet. Grössere Kohlenstoffmengen befanden sich aber auf der dem Verbrennungsraum zugekehrten Stirnseite des Kolbens.

Magnesiumnaphthenat

wurde von Shell gleichfalls als Ersatzprodukt für Tenol untersucht. Es wurde für ein Dieselschmieröl (SAE 30) folgendes Gemisch vorgeschlagen (Bericht Februar 1939):

Magnesiumnaphthenat	0,90	Gew.-%
Floyd's Base No.40	1,50	" "
" " 41	0,05	" "
Shell Talpa-Öl (SAE 30) ^{x)}	7,55	" "
filtriertes SO ₂ -behandeltes Öl	90,00	" "
	<u>100,00</u>	Gew.-%

In dem Bericht vom Februar 1939 wird auch die Herstellungsmethode des Magnesiumnaphthenats beschrieben. (Für Laboratoriumsteste mit dem Öl der vorgenannten Zusammensetzung vergleiche den Originalbericht vom Mai 1939).

Es folgen jetzt die 4 Verbindungen, mit denen in Bezug auf ihre Antiringsticking-Wirkung ganz besonders gute Resultate

^{x)} filtriertes und Furfurol-extrahiertes Öl

erzielt worden waren; es sind dies:

Zinksalz von Liquid Rosin (Tallöl),
 Paratertiärbutylzinkbenzoat,
 Zinkthymotinat,
 diisopropylsalicylsaures Zink (Dips).

Zinksalz von Liquid Rosin (Tallöl)

Liquid Rosin ist ein Nebenprodukt der nach dem Sulfat-Verfahren arbeitenden Zellstoffindustrie. Die hieraus hergestellten Zinksalze erwiesen sich als sehr gute A.R.-Dopes, die sich insbesondere als Zusatz zum synthetischen Öl (S 387) gut bewährt haben (20.8.38).

Für diese Öle wird ein Zusatz von 1-1,5 % empfohlen (20.12.38). Günstig ist die gute Öllöslichkeit des Dopes. Das Produkt löst sich sogar in extrahierten Ölen gut, was bei der Verwendung anderer Dopes für diese Öltypen Schwierigkeiten machte.

Die Prüfungen im JAP-Motor ergaben, dass die Ringsticking-Temperatur beim Zusatz des Dopes zu Aeroshell 100 um wenigstens 10 °C erhöht wurde (Brief 20.1.39). Gleichzeitig wurde bei Verwendung des Dopes in diesem Öl ein bemerkenswert günstiger Einfluss auf die Sauberkeit des Kolbens festgestellt. Letzteres konnte bei der Verwendung von synthetischem Öl (S 387) jedoch nicht bestätigt werden.

Gegenüber Lagern aus Weissmetall ist das Zinksalz des Tallöls nicht korrosiv, jedoch - wie Delft festgestellt hat - korrosiv gegenüber Cadmium-Nickel-Lagern (Delft 1939/17).

Übrigens hängt die Korrosivität dieses Dopes gegenüber Lagern aus verschiedenen Metallegierungen auch von dem jeweiligen Herstellungsprozess und insbesondere von der Vorbehandlung des Tallöls ab (Memo Delft 1939/83).

Eine in diesem Zusammenhang besonders wichtige Beobachtung ist, dass die Korrosivität gegenüber den verschiedenen modernen Lagerlegierungen stark verringert werden kann, wenn bei der Herstellung des Dopes 20 % Zinkoxyd im Überschuss im Dope gelöst werden (Bericht 6.6.39).

Aus Vergleichsversuchen von Delft (Memo Delft 1939/140) zwischen ungedoptem und gedoptem CY₂-Öl geht die weit überragende Verbesserung des Öles durch Zusatz des genannten Dopes, sowohl in Bezug auf Ringsticking als auch Sauberkeit des Kolbens und Ölverbrauch, klar hervor.

./.

04791

- 12 -

Bei der Prüfung auf Korrosivität zeigte sich bei Weissmetall und Blei-Bronze, dass nur die gebrauchten gedopten Öle etwas korrosiv waren. Gegenüber Ford's Cadmium-Nickel-Legierung zeigten dagegen die gebrauchten mit Dope versetzten Öle sehr schwere Korrosion.

Von anderen Salzen des Tallöls (Cd, Ba, Sr, Al, Ni, Co) ergab nur das Cobaltsalz einen guten Antiringsticking-Effekt. Eine Zunahme der Kohlenstoffabscheidung gegenüber dem ungedopten Öl (Rectiflow-Öl) konnte nicht beobachtet werden (Memo Delft 1940/IR 6).

Paratertiärbutylzinkbenzoat
Memo Delft 1938/135

Das Produkt ist gegenüber Ford's Cadmium-Nickel-Legierung korrosiv.

Delft 1938/182

0,7 % des Dopes in Rectiflow-Öl geben im Deutz-Benzinmotor gute Resultate, sowohl was Ringsticking als auch Kohlenstoff-Ansatz anlangt. Lediglich auf der Innenseite des Kolbenbodens war der Kohlenstoff-Ansatz gegenüber dem Motorversuch mit dem ungedopten Öl unvermindert.

Delft 1938/199

Auch beim Motorversuch im Deutz-Dieselmotor zeigte das mit dem Produkt versetzte Rectiflow-Öl sehr gutes Ringsticking-Verhalten und verminderte Kohlenstoffabscheidung.

Brief 7.2.1939

Die Prüfung des Paratertiärbutylzinkbenzoats in 1 %igem Zusatz zu Aeroshell Heavy X und Aeroshell 100 im JAP-Motor ergab beim Heavy X eine Erhöhung der Ringsticking-Temperatur für das gedopte Öl um mindestens 15°C. Sehr bemerkenswert war der Effekt auch auf die Sauberhaltung des Kolbens. Die Kohlenstoffabscheidung in der obersten Kolbenringführung ging bei Verwendung des gedopten Öles von 0,11 g auf im Durchschnitt 0,02 g zurück; desgleichen trat auch eine Verbesserung des Kolbenring-Abriebs ein, und zwar von 0,014 g auf im Mittel 0,004 g.

Da die Auflösung des Dopes im Öl gewisse Schwierigkeiten macht (Briefe 13. und 30.3.39) soll es für die handelsmässige Herstellung nicht in Frage kommen (Brief 20.4.39).

./.

Obwohl mit dem Dope in Aeroshell 100 die Ringsticking-Temperatur von 295 auf 315-320°C erhöht und damit der bisher beste Effekt erzielt werden konnte, soll die Herstellung des Dopes nicht mehr weiter verfolgt werden, da sie schwierig und - wie oben bereits gesagt - die Auflösung des Dopes im Öl unangenehm ist (Brief 31.5.39). Shell wird jedoch Versuche mit verwandten Verbindungen, die leichter zugänglich und leichter löslich sind, durchführen.

Zinkthymotinat

Das Produkt zeigte in 1 %igem Zusatz zu Rectiflow-Öl sehr günstigen Einfluss auf die Verminderung von Kohlenstoffabscheidung und Ringsticking (Bericht Delft 1939/91).

In einem weiteren Bericht von Delft (1939/98) wurde das Zinkthymotinat in Mischung mit Aeroshell 100 auf Ringsticking und auf Korrosionswirkung gegenüber verschiedenen Lagerlegierungen untersucht. Sowohl in Bristol- als auch in Deutz-Motoren wurde ein bemerkenswerter Antiringsticking-Effekt festgestellt. Die Kohlenstoffabscheidung in den Ringnuten und an den Kolbenflächen war insbesondere im Deutz-Motor erheblich vermindert. Die Kohlenstoffabscheidung im Kolbeninnern hat in beiden Motortypen durch Verwendung des gedopten Öles gegenüber dem ungedopten beträchtlich abgenommen. Der Aschegehalt der untersuchten Kohlenstoffabscheidungen war beim gedopten Öl wesentlich grösser.

Im Korrosionsprüfungsapparat wurde festgestellt, dass die Korrosivität der gedopten gebrauchten Öle gegenüber Cadmium-Nickel und Blei-Bronze gering war.

Gegenüber Blei-Silberlegierungen (Pratt und Whitney) zeigte sich die merkwürdige Erscheinung, dass das gedopte ungebrauchte Öl stark korrosiv war und diese Korrosivität nach Benutzung des Öles (für die Ringsticking-Teste) verloren hat.

In einem Brief vom 21. August 39 findet sich ein Hinweis darauf, dass leichter als Zinkthymotinat das Zinkisobutylsalizylat herzustellen ist, weshalb dieses Produkt eingehender untersucht werden soll.

Motorversuche mit mit Zinkthymotinat gedoptem Aeroshell 100-Öl im JAP-Motor in Shoreham ergaben, dass beim ungedopten Aeroshell 100 Ringsticking nach 5 Stunden bei einer Zylindertemperatur von 295°C auftrat, während nach 1 %igem Dope-Zusatz Ringsticking auch bei Zylindertemperaturen

04793

- 14 -

von 305-340°C nicht festgestellt werden konnten (Brief 21. September 1939). In dem gleichen Brief wird darauf hingewiesen, dass Versuche mit Zinkdiisopropylsalizylat (Zinkdips) zwar noch nicht abgeschlossen sind, jedoch die hervorragende Wirksamkeit dieses Produktes bereits erkennen lassen. Im Brief vom 4. Oktober 1939 werden die charakteristischen Eigenschaften von Zinkthymolat und Zinkdips dahin beschrieben, dass beide Dopes in 1 %iger Lösung in Rectiflow-Öl bei Prüfung im 4 Kugel-Apparat bei 20°C eine gewisse Antiverschleisswirkung besitzen. Beide Dopes besitzen jedoch keinen Einfluss auf die Eignung eines Schmieröles für die Verwendung bei hohem Lagerdruck. Bei 0,25 %igem Zusatz zu 3 % seewasserhaltigem CY₂-Öl besitzen beide Dopes bei 70°C korrosionsverhindernde Eigenschaften gegenüber Maschinenstahl.

Zinkdiisopropylsalizylat (Zinkdips)

Über die Herstellung der Diisopropylsalizylsäure sowie ihres Zinksalzes und über die zweckmässige Arbeitsweise beim Auflösen des Zinkdips in Öl liegen ausführliche Briefe und Berichte vor. Danach erfolgt die Herstellung der Diisopropylsalizylsäure im wesentlichen durch Propylierung von Salizylsäure mit Isopropylalkohol oder Isopropyläther unter dem Einfluss von Schwefelsäure, wobei es einerseits wichtig ist, dass die Schwefelsäure während des Prozesses durch das gebildete Reaktionswasser nicht zu weit verdünnt wird, da sonst der Prozess zum Stillstand kommt. Andererseits soll beim Arbeiten mit konzentrierterer Säure die Temperatur 100°C nicht übersteigen, da der Reaktionsverlauf sonst unkontrollierbar wird und Nebenreaktion (Polymerisation) eintritt. Shell hat festgestellt, dass die Reaktion beim Arbeiten bei 90-100°C sorgfältige Überwachung erfordert; die Produkte sind dunkel gefärbt, die Ausbeute ist mit 65-70 % jedoch gut.

Bei 45-60 °C unter Verwendung konzentrierterer Säure ist die Reaktion leichter zu überwachen; das Produkt wird qualitativ gut, die Ausbeute beträgt jedoch nur 55-60 %. Für nähere Einzelheiten vergleiche die Originale.

Shell hat sich wegen der Herstellung der Diisopropylsalizylsäure und später auch wegen des Zinksalzes mit der "Gesellschaft für Chemische Industrie" in Basel in Verbindung gesetzt, die auch bereits verschiedene Versuchsmuster hergestellt hat.

Bei der Auflösung des Zinkdips im Öl, die im allgemeinen so erfolgt, dass die gesamte für eine Ölcharge berechnete Menge zunächst in einem Teil des Oles unter Erwärmen auf etwa

./.

200° und Durchleiten von Stickstoff gelöst und dann mit dem kalten Rest des zu dopenden Öles versetzt wird, muss besonders darauf geachtet werden, dass das Öl nicht zu lange erhitzt wird, da sonst Ausscheidungen infolge Zersetzung des Zinkdips auftreten können. Für nähere Vorschriften vergleiche die Originalberichte.

Das Zinkdips ist einer grossen Zahl von Motorprüfungen unterworfen worden, wobei es sich als bis dahin aussichtsreichstes Antiringsticking-Dope erwiesen hat; allerdings liegen erste Beobachtungen vor, nach denen es in seiner Wirksamkeit noch vom Calciumdips übertroffen werden soll.

Im Folgenden sollen einige Auszüge aus den Berichten über Motorprüfungen, etc., die unter Verwendung von mit Zinkdips gedopten Ölen durchgeführt wurden, gebracht werden:

In der Schmierölbesprechung vom 19.11.39 wird zum Ausdruck gebracht, dass Vergleichsversuche zwischen Zinkdips und A.R.-Dopes auf Tallöl-Basis ergeben haben, dass Zinkdips das aussichtsreichere Produkt darstellt, obwohl es den Nachteil hat, verhältnismässig teuer zu sein und ausserdem nicht von Shell selbst hergestellt werden kann.

Nach dem Untersuchungsergebnis aus London vom 23.11.39 hat der Zusatz von Zinkdips zu Ölen einen sehr günstigen Effekt auf den British Air Ministry Oxydation Test. Es wird hierbei die Koksanzahl des Öles vor der Oxydation zwar erhöht, doch wird die Zunahme der Koksanzahl während der Oxydation wesentlich verringert.

In dem Bericht von Delft 1939/162 werden Zinkdips und Calciumdips im Deutz Benzinmotor auf ihre Antiringsticking-Eigenschaften untersucht. Hierbei wird festgestellt, dass das Calciumdips dem Zinkdips noch überlegen ist, und zwar liegen die Verhältnisse so, dass mit BE-Öl die Laufzeit bis zum Auftreten von mässig starkem Ringsticking 12-13 Stunden, nach Zusatz von 1 % Zinkdips 49 1/2 Stunden und nach Zusatz von 1 % Calciumdips auf über 80 Stunden ausgedehnt werden konnte. Dabei ergab der mit Calciumdips gelaufene 80 Stunden-Versuch deutlich weniger Ringsticking als der mit Zinkdips über 49 1/2 Stunden gelaufene Motorversuch.

Bemerkenswert ist, dass bei Verwendung von Rectiflow-Öl die Verbesserung der Laufzeit bis zum Auftreten des Ringsticking - wie im Memo Delft 1939/136 berichtet - noch wesentlich grösser war.

./.

Beim Vergleich der Korrosivität von mit Calciumdips versetztem BE₃-Öl und ungedoptem BE₃-Öl im 80 Stunden-Versuch in dem Lagerkorrosionsapparat wurden folgende Werte erhalten:

Gewichtsverluste in mg

Öl	Kupfer-Blei-Legierung	Cadmium-Nickel-Legierung	Weissmetall-Legierung
Frisches BE ₃	11/2	7	6
+ 1 % Calciumdips	6/2	3	2
Gebrauchtes BE ₃	+7/2	+5/2	8/2
+ 1 % Calciumdips	10	14/2	0
Frisches BE ₃	2	+2	5
+ 1 % Calciumdips	9	30	3/2

Daraus ist zu ersehen, dass das Calciumdips nur gegen Cadmium-Nickel-Lager im gebrauchten Öl korrosiv ist, wenn auch nicht sehr stark.

Im Zusammenhang mit der Verwendung von Zinkdips in Flugmotorenölen ist folgende Bemerkung aus dem Besprechungsbericht vom 6. Dezember 1939 interessant:

Es wird hierbei über die Zweckmässigkeit der Errichtung einer Voltanlage diskutiert, da bei einem grossen Teil der Flugmotorenöle Beanstandungen wegen Verschmutzung der Motoren gekommen sind.

Bezüglich der Notwendigkeit der Errichtung einer Voltanlage geht allerdings die Meinung dahin, dass der Wunsch nach besserer Sauberhaltung der Motoren allein nicht ausschlaggebend ist, die Errichtung einer Voltanlage zu rechtfertigen, und man kommt dabei zu der vorläufigen Ansicht, dass man die Diskussion über voltolisierte Öle als abgeschlossen betrachten sollte, sofern nicht Dopes gefunden werden, die den unangenehmen Eigenschaften des Voltols entgegen-

wirken. Es wird in diesem Zusammenhang aber hervorgehoben, dass gewisse Anhaltspunkte dafür gegeben sind, dass Zinkdips neben seiner ausgesprochenen Wirksamkeit als A.R.-Dope auch eine Verbesserung in Bezug auf Sauberhaltung des Motors bewirkt. Ausserdem besitzt das Zinkdips antikorrosive und Abrieb verhindernde Wirkung. Man ist der Ansicht, dass es möglich sein würde, die Spezifikation für D.T.D. 109 - Öl, die eine Verwendung eines derartigen Dopes ausschliesst, abzuändern, wenn die Motorenteste zeigen, dass die mit dem Dope versetzten Öle den ungedopten überlegen sind.

Versuche, die Menge Zinkdips unter 1 % herabzusetzen, haben ergeben, dass dieses nicht zweckmässig ist (28.3.1940). Ausserdem wird in diesem Bericht gezeigt, dass das Zinkdips bei höheren Temperaturen sich mit bleitetraäthylhaltigen Kraftstoffen gut verträgt.

Bei der Verwendung von Zinkdips in Ölen für 2 Takt-Zylindermotoren hat sich gezeigt, dass Störungen an den Zündkerzen auftreten können durch Ablagerungen von Zink.

Weitere Unterlagen über die Verwendung von Calciumdips, das nach den letzten Entwicklungen dem Zinkdips noch überlegen erscheint, liegen nicht vor. Wie aus einem Besprechungsbericht vom 18.4.1940 zu entnehmen ist, konnten Versuche mit Calciumdips zunächst nicht durchgeführt werden, da die Prüfmotoren für andere Zwecke dringender benötigt wurden, und da ausserdem die technische Herstellung von Calciumdips offenbar grössere Schwierigkeiten als die Herstellung von Zinkdips machte, sodass in dieser Besprechung beschlossen wurde, zunächst die Untersuchungen des Zinkdips intensiv weiter zu betreiben.

A k t A IV

T e i l II

Antiringsticking-Dopes / Berichte der Prüfstation Delft

Im II. Teil der Originalakten über Antiringsticking-Dopes sind die Berichte der Prüfstation Delft enthalten über Motorenversuche, die mit gedopten und ungedopten Ölen durchgeführt wurden. Es ist ausserdem hierin enthalten eine Liste über alle von Shell untersuchten Dopes und die in den Untersuchungsberichten hierfür gebrauchten Codenummern. Ferner geben einige von Shell zusammengestellte Listen, die den Originalakten gleichfalls anliegen, einen zusammenfassenden Überblick über die verschiedenen Untersuchungsergebnisse.

Die Untersuchung der als Antiringsticking-Dopes vorgeschlagenen Substanzen in Delft erfolgte im allgemeinen so, dass sowohl im Benzin - als auch im Dieselmotor unter gleichen motorischen Bedingungen vergleichende Probeläufe von bestimmter Dauer jeweils mit dem ungedopten und dem gedopten Öl durchgeführt wurden, wonach im Anschluss festgestellt wurde, welche Kolbenringe und zu welchem Prozentsatz diese fest geworden waren. Selbstverständlich sind auf die Erscheinung des Ringstickings neben den Eigenschaften der Öle auch die motorischen Bedingungen von Einfluss, worauf insbesondere der Bericht 1935/76 Bezug nimmt.

Neben der Bestimmung des Ringstickings fand im allgemeinen gleichzeitig eine Untersuchung über die Stärke und Art der Kohlenstoffabscheidung, sowohl in den Ringnuten als auch auf dem Kolbenboden, sowie im Kolbeninnern statt.

Ein Versuch, durch eine Laboratoriumsmethode, den sog. "Backtest", eine Parallele zum motorischen Verhalten in Bezug auf Ringsticking zu finden, ist beschrieben im Bericht 1936/6.

In den Berichten befindet sich ferner eine Reihe von Untersuchungen über die Korrosivität der mit verschiedenen Dopes versetzten Öle gegenüber verschiedenen Lagermetall-Legierungen. Bei diesen Prüfungen wurde die Gewichtsabnahme gemessen, die eine Lagerschale aus dem betreffenden Metall erlitt, wenn sie im Korrosionsprüfungsapparat, der im Bericht 1937/79 beschrieben wurde, unter bestimmten Betriebsbedingungen (Umdrehungszahl, Lagerdruck, Temperatur, Betriebsdauer) der Einwirkung des zu untersuchenden Öles ausgesetzt war. Es wurden diese Prüfungen mit gedopten und ungedopten Ölen jeweils sowohl mit dem frischen als auch mit dem bereits in

Betrieb gewesenem Öl durchgeführt. Die wesentlichen Punkte aus diesen Berichten sind bereits im Teil I referiert.

Um die Suche nach weiteren Einzelheiten zu erleichtern gibt die nachfolgende Tabelle noch einmal einen Überblick über diejenigen Untersuchungsberichte, die auf die im Teil I behandelten technisch interessanteren Dopes Bezug nehmen. Im Anhang 3-12 sind die Untersuchungsbefunde der Prüfstation Delft über Ringstickung und Kohlenstoffabscheidung für eine Reihe der wichtigsten Dopes in graphischer Darstellung wiedergegeben.

ANTI-RINGSTICKUNG-DOPES / Hinweis auf die wichtigsten Untersuchungsberichte von Delft

Chromoleat	<u>1934/40, 1936/28</u>
Calciumphenylstearat (Tenol)	<u>1937/126, 1938/16/51, 1939/13</u>
Calciumdichlorostearat	<u>1939/13</u>
Mg-Stearat	<u>1937/2/67</u>
Zn-Naphthenat	<u>1937/65/67/68/99/174, 1938/99/150</u>
Liquid Rosin (Tallöl) u. Derivate	<u>1937/105/109/144, 1938/89/118/139/151/170/196</u> <u>1939/17/51/55/83/101/103/106/116 /140/161/176/182</u>
	<u>1940/IR 6</u>
Benzoesaures Zn	<u>1938/146/168/170</u>
Paratertiärbutylbenzoesaures Zn u. ähnliche	<u>1938/122/135/136/182/199, 1939/12/106</u>
Zn-Thymotinat	<u>1939/19/68/98/106/136/144</u>
Diisopropylsalizylsaures Zn und Ca (Dips)	<u>1939/136/162/176/179/182, 1940/IR 4/IR 10/IR 19</u>
Voltol	<u>1934/62, 1935/79/132, 1936/25/47/59/73, 1938/83, 1939/122</u>
Al-Stearat	<u>1936/14</u>

A k t a I V

Teil III

V O L T O L . Seine Herstellung und motorisches Verhalten

Im Teil III der Originalberichte sind die Unterlagen über die Herstellung von Voltol und die Ergebnisse beim Zusatz von Voltol zu Schmierölen zusammengestellt.

Die Herstellung von Voltol erfolgte bei Shell auf zwei Weisen:

- 1.) Durch Einwirkung von elektrischen Glimmentladungen auf vegetabilische Öle (älteres Verfahren),
- 2.) durch Einwirkung von gasförmigem Bortrifluorid auf vegetabilische Öle (chemisches oder BF₃-Voltol).

Nach dem älteren Verfahren der Elektro-Voltolherstellung wurde in der Voltolanlage in Freital-Potschappell gearbeitet. Ausgangsprodukt für die Voltolherstellung war im allgemeinen Rapsöl. Die Anlage und Arbeitsweise für die Voltolgewinnung ist beschrieben in dem Bericht vom 20.8.1937. Über Untersuchungen bezüglich des Einflusses von Druck, Temperatur und Stromstärke auf das Voltolisieren von Rapsöl vergleiche den Bericht vom 24. 2. 1934, in dem auch die dabei verwendete Laborapparatur beschrieben ist.

Die Anlage in Freital bestand aus einem 30 cbm fassenden Kessel, in dem sich auf einer rotierenden Welle 4 Elektrodenpakete befanden, die aus voneinander isolierten Aluminiumblechen bestanden, die umschichtig mit der Stromquelle verbunden sind. Beim Drehen der Welle wurde das Öl durch Schöpfkellen nach oben befördert und über die Elektroden ausgegossen.

Das Voltolisierungsgefäß wurde zunächst mit 1500 kg Rapsöl beschickt und bei 80°C der elektrischen Glimmentladung eines Stromerzeugers von 4 600 Volt und 500 Per. ausgesetzt. Nach 50 Stunden ist die Viskosität etwa von 1,8 auf 8° E₁₀₀ gestiegen. Zu diesem sogen. "Halbvoltol" wurden dann ca. alle 2 Stunden jeweils 100 kg Mineralöl zugefügt, sodass nach weiteren 60 Stunden etwa 3 000 kg Mineralöl eingebracht

./.

04800

- 21 -

sind. Dann wurde zu Ende polymerisiert, bis eine Viskosität von E_{100} = etwa 25 erreicht ist. Das Produkt heisst "Endvoltol".

Zur Erhöhung der Stabilität des Endvoltols wurde beim Durchvoltolisieren die Temperatur zeitweilig auf 170°C gesteigert. Während dieser "Entvoltolisierung" werden die weniger stabilen grossen Moleküle zerstört.

Die Betriebskosten für die Freital-Voltolanlage errechneten sich für Löhne, Energieverbrauch, Instandhaltung, Versicherung, Abschreibung zu fl. 434,-- je to vegetabilisches Öl. Das fertige, als Endvoltol bezeichnete Produkt bestand zu einem Drittel aus vegetabilischem und zwei Drittel aus Mineralöl.

Die zweite von Shell entwickelte Methode der Voltolherstellung bestand in der Behandlung geeigneter vegetabilischer Öle mit Bortrifluorid. Nach einem im Zusammenhang mit der geplanten Neuerstellung einer Voltolanlage für Shellhaven verfassten Bericht ist dabei folgende Arbeitsweise vorgesehen:

In 2 000 kg Rapsöl werden unter Umrühren $1\frac{1}{2}$ Gew.-% (30 kg) gasförmiges BF 3 absorbiert. Das Reaktionsgefäss wird dann auf $80-85^{\circ}\text{C}$ erwärmt und bei dieser Temperatur gehalten, bis ein V.H.C.* von 0,6 erreicht ist.

Die Absorption des BF 3 dauert ca. 5 Stunden, die Polymerisation ca. 200 Stunden. Nach Beendigung der Polymerisation wird das Reaktionsgemisch auf $40-50^{\circ}\text{C}$ heruntergekühlt und mit 1 Vol. Alkohol 2 Stunden durchgerührt und dann sofort zentrifugiert. Diese Waschung mit Alkohol wird dann noch dreimal wiederholt. Das Produkt enthält im Anschluss an die vierte Waschung nach dem Zentrifugieren noch ca. 12 % Alkohol, die abdestilliert werden, wobei das Produkt zwecks Zersetzung der instabilen Moleküle auf ca. $160-170^{\circ}\text{C}$ erhitzt wird.

Für ausführliche Unterlagen über diesen Prozess vergleiche den Originalbericht vom 14.10.1936. In diesem Bericht befindet sich auch eine Kostenschätzung für das Verfahren. Hieraus errechnet sich im Vergleich zu den weiter vorn genannten Betriebskosten für die Freital-Voltolanlage für den Elektro-Voltolprozess ein Verarbeitungspreis von rund etwa fl. 202,-- je Tonne verarbeitetes vegetabilisches Öl; die Kosten für das Ausgangsprodukt sind hierin nicht enthalten.

* Polymerisationsgrad

Shell hat die Entwicklung des BF 3-Prozesses stark forciert, da man nach den ersten Untersuchungen den Eindruck gewonnen hatte, dass das BF 3-Voltol dem Elektro-Voltol gleichwertig ist. Dies hat sich jedoch im Laufe der weiteren Untersuchungen nicht bestätigen lassen. Das BF 3-Voltol zeigte so z.B. stärkere Neigung zum Nachpolymerisieren. Ausserdem haben die Motorversuche stets ergeben, dass BF 3-Voltol z. B. in Bezug auf seine Antiringsticking-Wirkung dem Elektro-Voltol unterlegen ist. Es lässt sich überhaupt aus den Motorversuchen über die Wirkung der beiden Voltole im Schmieröl kein einheitliches Bild gewinnen, zum Teil wurde eine günstige, zum Teil eine ungünstige Ringsticking-Einwirkung festgestellt. Der einzige positive Schluss, der aus den vorliegenden Unterlagen wohl gezogen werden darf, ist, dass Voltol-Zusatz zu Schmierölen einen günstigen Einfluss auf die allgemeine Sauberkeit des Motors ausübt. Andererseits scheint der Zusatz von Voltolölen zu Schmieröl die Korrosivität gegenüber den legierten Lagermetallen zu erhöhen. So ist das Bild über den Wert des Voltol-Zusatzes auch bei Shell einigermaßen umstritten. Hinzukommt, dass sich im Laufe der Entwicklung auch die Problemstellung für die Verbesserung der Schmieröle durch Voltol-Zusatz geändert hat.

Shell hat zunächst beabsichtigt, den V.I. von Schmierölen durch Zusatz von voltolisierten vegetabilischen Ölen zu verbessern und gleichzeitig Gebrauch zu machen von den guten Oiliness-Eigenschaften des Voltols, die eine stärkere mechanische Beanspruchung der Schmieröle erlauben. Das Interesse an diesen Eigenschaften ist dann aber zunächst in den Hintergrund getreten, doch hatte man inzwischen erkannt, dass das Voltol ein hohes Dispergierungsvermögen für die Ölausscheidungen besitzt, sodass man nunmehr den Voltol-Zusatz mehr unter diesem Gesichtswinkel prüfte. Erst nachdem infolge der dauernden Leistungssteigerung der Motoren es notwendig geworden war, hierfür Schmieröle zu besitzen, die der höheren mechanischen Beanspruchung besser gewachsen sind, hat man das Voltol wegen seiner guten Oiliness-Eigenschaften wiederum herangezogen. Zu welchem endgültigen Resultat man hierbei gekommen ist, geht aus den vorhandenen Unterlagen nicht mehr hervor, doch lässt ein Hinweis darauf, dass die Shell sich entschlossen hat, eine neue Voltolanlage zu errichten (Anfang 1940) schliessen, dass dem Voltol-Zusatz zu Schmierölen, insbesondere Flugmotorenölen, eine gewisse günstige Wirkung zugesprochen wird.

Es ist auch gelegentlich erwähnt worden, voltolisierte Schmieröle mit geeigneten Dopes zu versetzen, die

04802

- 23 -

die schädlichen Nebenwirkungen des Voltols (Korrosivität,
Ringstickung ?) inhibieren sollen, doch ist über Versuche
in dieser Richtung in den Unterlagen nichts vorhanden.

04803

ANHANG I

Auszugsweise Übersetzung aus einem Brief des Labors
der Bataafschen vom 21. November 1938

Wir haben auf Anforderung alle zur Verfügung stehenden Daten über Schmieröl-Dopes gesammelt, die für die Verwendung solcher Dopes in Flugmotoren u.U. wichtig sein können.

Es muss einleitend hierzu ausgesprochen werden, dass wir sehr wenig praktische Erfahrung hierüber besitzen und dass unsere Kenntnisse daher weitgehend auf Annahmen oder auf Daten von ausserhalb beruhen. Es ist darüber hinaus eine allgemein bekannte Tatsache, dass ein Dope, welches sich im einen Motor günstig verhält, im anderen inaktiv oder sogar schädlich sein kann. Dies trifft vor allen Dingen für A.R.-Dopes zu.

1. - A.R.-Dopes

Es ist von der Annahme ausgegangen worden, dass man für die Betrachtung des Ringsticking 2 Temperatur-Gebiete annehmen muss, die sich mehr oder weniger überlappen, und zwar 1 Gebiet von verhältnismässig niedriger Temperatur, bei dem Ringsticking - soweit es überhaupt auftritt - nur bei langen Betriebsperioden beobachtet wird, und 1 Gebiet hoher Temperatur, in dem Ringsticking in ziemlich kurzer Zeit auftritt. Es ist wahrscheinlich, dass die Natur der Produkte, die sich in den Ringnuten absetzen, für diese beiden Fälle verschieden ist. Man wird im Gebiet der hohen Temperaturen annehmen müssen, dass Krackung und Verkokung leichter auftritt als bei niedriger Temperatur.

Es gibt nun Schmieröl-Dopes, die sehr wirksam im niedrigen Temperatur-Gebiet sind, dagegen bei hoher Temperatur gegenteilige Wirkung zeigen. Die Stellung, die das Voltol dabei einnimmt, ist in diesem Zusammenhang nicht ganz klar. Der kürzlich von Wright damit ausgeführte schärfere Test erscheint ziemlich ermutigend (der hohe Schlammgehalt im verbrauchten Öl hatte nichts mit dem Ringsticking zu tun); es war jedoch daraus zu sehen, dass Voltol bei einem bestimmten Punkt versagt.

Unglücklicherweise sind die A.R.-Dopes, über die wir Unterlagen aufgrund unserer eigenen, d.h. Delft's Versuche besitzen, fast ausschliesslich unter extremen Temperaturbedingungen geprüft worden, um die Testzeiten abzukürzen. Es ist daher ziemlich wahrscheinlich, dass Dopes bei diesen Versuchen abgelehnt wurden, die im niedrigeren Temperaturgebiet gute

04804

- 2 -

Wirkung gezeigt hätten. Auf der anderen Seite ist es nicht ausgeschlossen, dass Dopes, die für gut befunden wurden, im niedrigen Temperaturbereich weniger wirksam wären.

Aus einer Gegenüberstellung der mit den verschiedenen A.R.-Dopes erhaltenen Resultate ist zu ersehen, dass im wesentlichen die Zinksalze der verschiedenen aliphatischen und aromatischen Säuren sehr gute Werte ergeben haben, sowohl in Delft als in bestimmten Fällen auch in Shoreham. Bei den Salzen der aliphatischen Säuren besteht der Nachteil darin, dass sie korrosiv sind gegenüber Lagern, die Blei-Bronze oder Cadmium enthalten. Dies ist weniger der Fall mit den untersuchten Zinksalzen der aromatischen Säuren. Doch befindet sich darunter keines, das wir bereits für die technische Herstellung empfehlen könnten. Auch sind wir noch nicht in der Lage, einen Begriff von dem Preis zu geben. Das Zinksalz der Paratertiärbutylbenzoesäure wurde in Delft geprüft, aber, obwohl es gut ist, bedeutet es sicherlich noch nicht den letzten Stand der Entwicklung.

Der Vollständigkeit halber soll auch die Wirkung des selektiv hydrierten Rückstandes von Lubex erwähnt werden. Es war bereits bekannt, dass der Zusatz von Aromaten die Ringsticking-Eigenschaften von Ölen verbessern kann, doch gehören dazu so grosse Mengen, dass die übrigen Eigenschaften des Öles darunter zu stark nachteilig verändert werden. In Amsterdam wurde aber gefunden, dass ganz besonders Aromaten bei ihrem Zusatz zu Ölen in Konzentrationen von 5-10 % einen ausgesprochenen Einfluss auf deren Oxydationsstabilität (Indiana- und BAM-Oxydationstest) ausüben, ohne dass dabei die Ramsbottom Koksanzahl zu stark zunimmt. Zu dieser Klasse gehört auch das selektiv hydrierte Lubex, das besonders deswegen für die Zumischung zu Flugmotorenölen wichtig sein kann, weil die Imperial Airways die Bestimmung haben, nur mit Ölen zu fliegen, die keine Dopes enthalten, wodurch nicht nur Dopes, sondern auch Voltol ausgeschlossen worden sind, während hydriertes Lubex als reine Mineralölkomponente nicht unter diese Bestimmung fällt.

2. - Dopes gegen Abrieb (Antiwear-Dopes)

Wir wissen über Antiwear-Dopes eher noch weniger als über A.R.-Dopes. Es soll auf die Vorteile von Voltol in diesem Zusammenhang nicht mehr näher eingegangen werden, sondern lediglich über die richtigen Dopes berichtet werden. Unsere Erfahrungen beruhen ausschliesslich auf Versuchen mit dem 4 Kugel-Apparat und ähnlichen Apparaten und nicht auf Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb. Das einzige Antiwear-Dope, das für

./.

04805

- 3 -

praktische Verwendung nach unserer Ansicht zur Zeit in Frage kommt, ist das Trikresylphosphat. Es ist nichts mit Sicherheit über Ergebnisse hiermit im praktischen Betrieb bekannt.

0,7 % Trikresylphosphat oder eine nahe verwandte Substanz ist in dem Intava-Öl (IAA 72) enthalten, das den letzten Wright Motortest erfüllt haben soll. Das Grundöl ist sehr wahrscheinlich ein normal pennsylvanisches. Es sind Anzeichen dafür vorhanden, dass Trikresylphosphat die Sauberkeit des Motors nicht fördert, wie es beim Voltol bestimmt der Fall ist.

Es ist zu erwähnen, dass Dupont-Dopes Anlass zur Verschmutzung des Motors gegeben haben. Da man in einem derartigen Dope von Dupont Trikresylphosphat gefunden hat, liegt die Annahme nahe, dass Trikresylphosphat zwar den Abrieb vermindert, auf der anderen Seite aber die Sauberkeit nicht fördert.

Z u s a m m e n f a s s u n g

1.) Es existiert bis jetzt kein Dope, weder unter denen der Shellgruppe, noch unter denen der Konkurrenz, bei dem man aufgrund praktischer Versuche im Flugmotor sagen könnte, dass es die angestrebten Verbesserungen in Bezug auf Antiringsticking, Abrieb und Antikorrosion bringt. Die Lösung wird wahrscheinlich darin bestehen, dass man Dopes kombiniert, von denen jedes in einer oder zwei der angestrebten drei Richtungen wirksam ist und die sich daher gegenseitig unterstützen, wobei jedoch eine mögliche Einwirkung aufeinander noch untersucht werden muss.

2.) Zur Vermeidung des Abriebs ist wahrscheinlich Trikresylphosphat das bestgeeignete Zusatzmittel; es hat u.U. einen günstigen Einfluss auf Ringsticking, obwohl ein solcher bei unseren Versuchen nur beobachtet wurde bei Anwendung grösserer Prozentsätze des Dopes. Es wird wahrscheinlich die Sauberkeit des Zylinders nicht verbessern, jedenfalls nicht in dem Masse, wie Voltol dies tut. Wir wissen nichts Bestimmtes über das Verhalten dieses Dopes in Flugmotoren.

Voltol ist dem Trikresylphosphat voraussichtlich nicht wesentlich unterlegen was Abrieb anlangt, wirkt aber im Hinblick auf Ringsticking wahrscheinlich genau so gut oder besser, wenigstens bis zu einem gewissen Punkt. Es verhält sich wesentlich besser in Bezug auf Sauberkeit, jedoch ist es unterlegen,

./.

04806

- 4 -

wenn man den Schlammgehalt des gebrauchten Öles für wichtig hält, was wir übrigens ablehnen.

3.) Wenn die Schwierigkeiten in Bezug auf Kosten des Paratertiärbutylzinkbenzoat überwunden sind und dieses Dope als nicht zu korrosiv gefunden wird, wird dieses Salz oder eine verwandte Verbindung praktisch als Antiringsticking in Erwägung zu ziehen sein. Evtl. hat auch hydriertes Lubex für diesen Zweck bestimmte noch näher zu prüfende Vorteile.

4.) Santolub ist das einzige Dope, das zur Verhinderung von Lagerkorrosion empfohlen werden kann. Auch hier müssen Versuche im Flugmotor die Entscheidung bringen.

Nr.

RO 12

RO 13

RO 14

RO 15

RO 16

RO 17

RO 18

RO 19

RO 20

RO 21

"

SD 1

SD 1

SD 5

SD 5

X)

04807

ANHANG II

Übersicht über die von Delft als sehr günstig bezeichneten Antiringsticking-Dopes

Nr.	Formel	Zusatz %	Prüfung im Deutz Benzinmotor	Delft Bericht Nr.	Bemerkung
RO 1210	Zn-naphthenat aus Naphthensäure RO 1209	1	sehr günstig	1937/65	
RO 1362	Zn-Salz des Vacuumdestillats vom Furfurolraffinat aus Naphthensäuren (RO 1358)	1	" "	1937/99	
RO 1363	Zn-Salz des Vacuumdestillats vom Furfurolextrakt aus Naphthensäuren (RO 1359)	1	" "	"	
RO 1433	Zn-Salz der 1. Naphthensäure-Vacuumfraktion 140-150°C bei 5 mm	1	" "	1937/136	Bericht fehlt
RO 1434	Zn-Salz der 4. Naphthensäure-Vacuumfraktion 140-150°C bei 5 mm	1	" "	"	"
RO 1558	Zn-naphthenat	1	" "	1937/174	
RO 1559	Zn-resinat	1	" "	"	
RO 1794	Zn-Salz der Paratertiärbutylbenzoesäure	0,8	" "	1938/122	
RO 1910	Zn-benzoat	1	" "	1938/146/168	Auch im Dieselmotor sehr günstig
RO 1911	Paratertiärbutylzinkbenzoat	1	" "	1938/199	Im Dieselmotor günstig
"	"	1,5	" "		
SD 167	Zn-Salz der Ortho-Thymotinsäure	2,5	" "	1939/19	
SD 153	Zn-Salz von Liquid Rosin ^{x)}	1,25	" "	1939/41	Bericht fehlt
SD 514	LR 1 (Zn-Salz von destill. Liquid Rosin auf trockenem Weg mit 100 % der berechneten Menge ZnO hergestellt)	1,25	" "	1939/83	
SD 534	LR 1 + 20 % Überschuss-ZnO	1,25	" "		

x) Liquid Rosin = Tallöl, Nebenprodukt bei der Zellstoffgewinnung nach dem Sulfat-Verfahren

04808

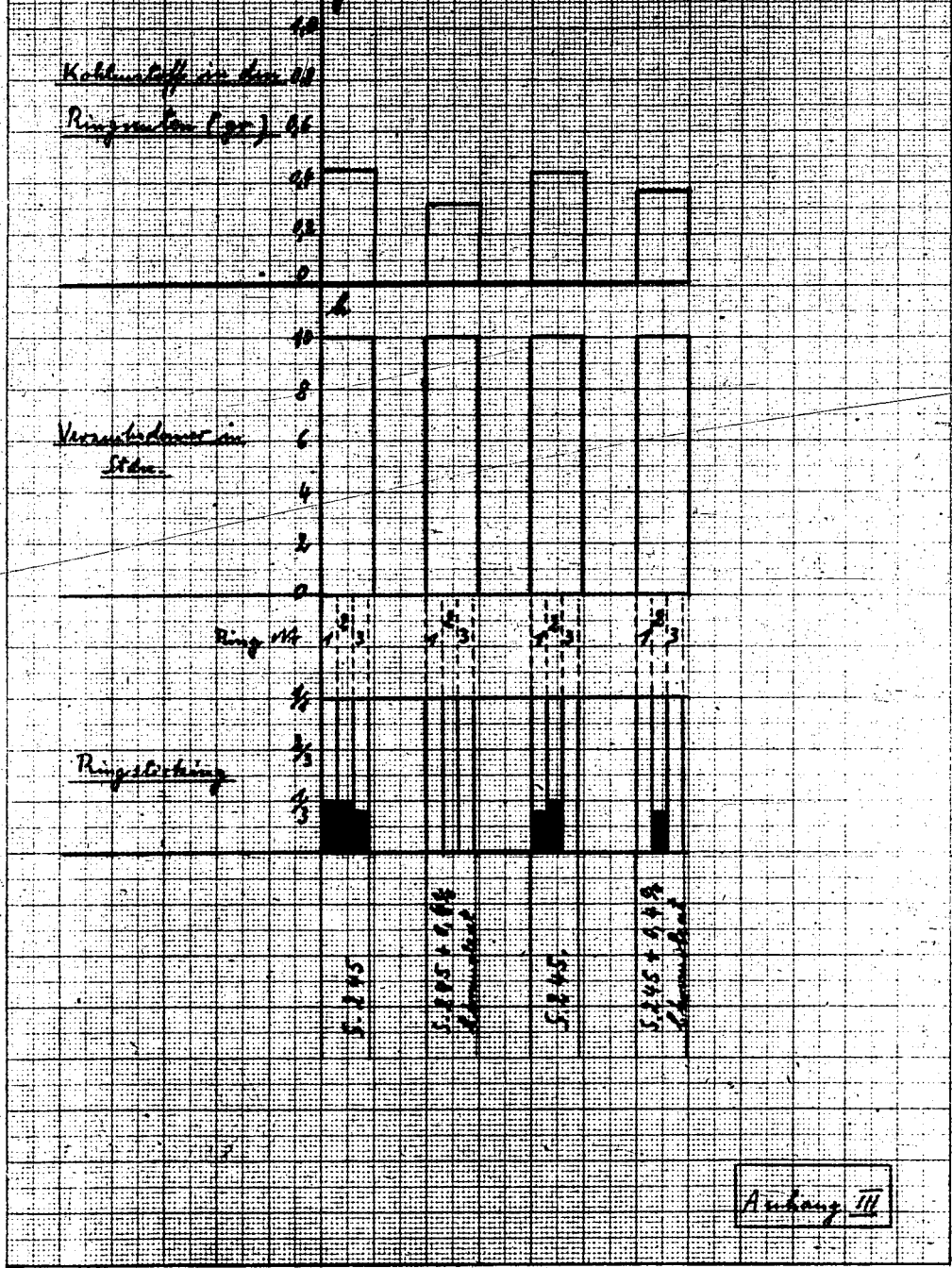
ANHANG II (Fortsetg.)

Übersicht über die von Delft als sehr günstig bezeichneten
Antiringsticking-Dopes

Nr.	Formel	Zusatz %	Prüfung im Delft Be- Deutz Ben- richt Nr. zinnmotor	Be- merkung
SD 868	LR 6 Zn-Salz des destill. Tall- öles auf trockenem Weg herge- stellt mit max. Überschuss an ZnO	1,25	sehr günstig	} 1939/140
SD 883	LR 6 nach Behandlung mit Ammoniak	1,25	" "	
SD 913	Zn-Salz von Diisopropylsalicyl- säure	1	" "	1939/144
SD 766	Zn-Salz der Thymotinsäure	1	" "	"
SD 1062	Ca-Salz der Diisopropylsalicyl- säure	1	" "	1939/162

04809

Chemical Reporting Table - 100°C
5245-22 (1920/24 + 1922 20/25 - 1922)
(1920-1922)

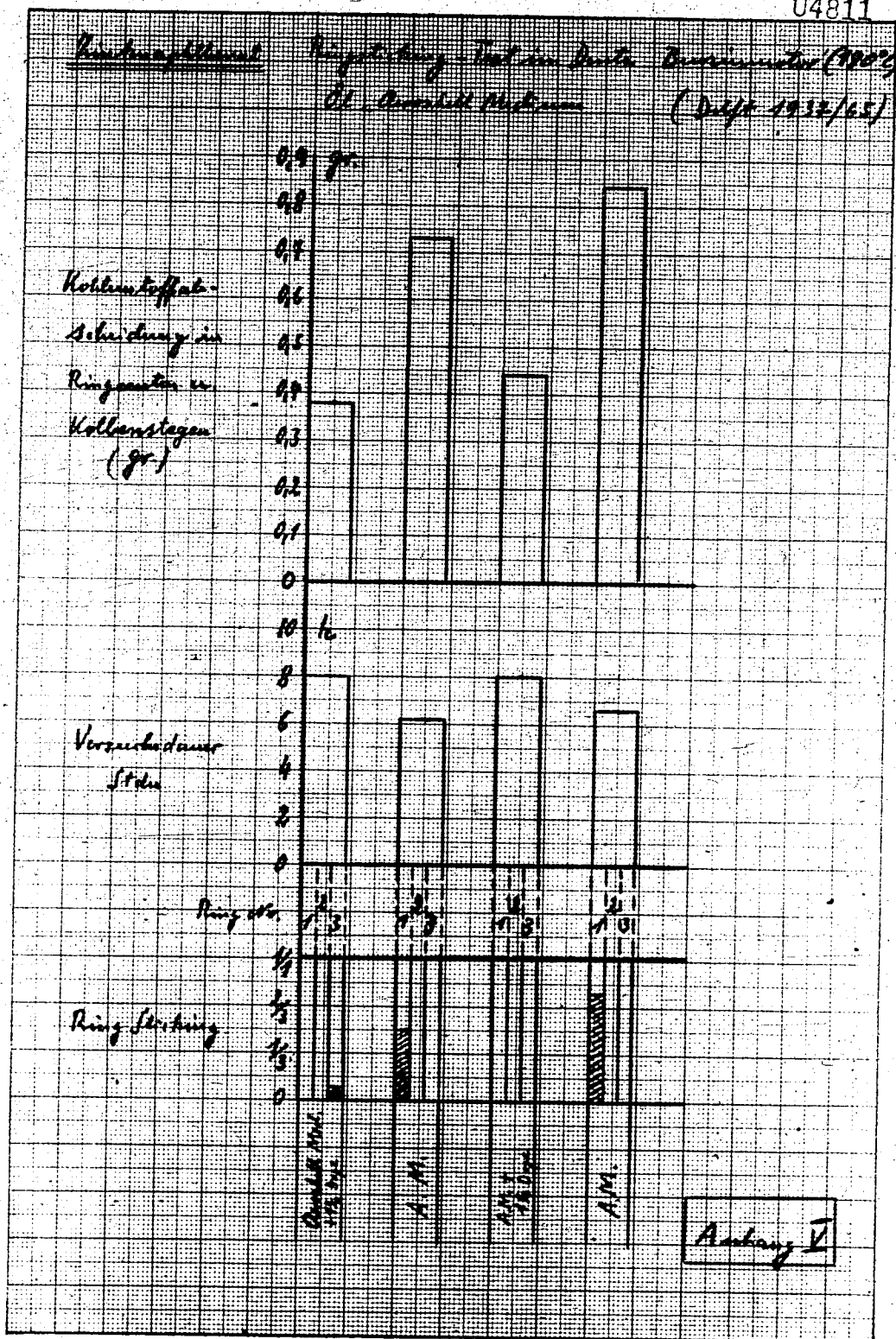


Anhang III

POOR COPY 25

P C

04811

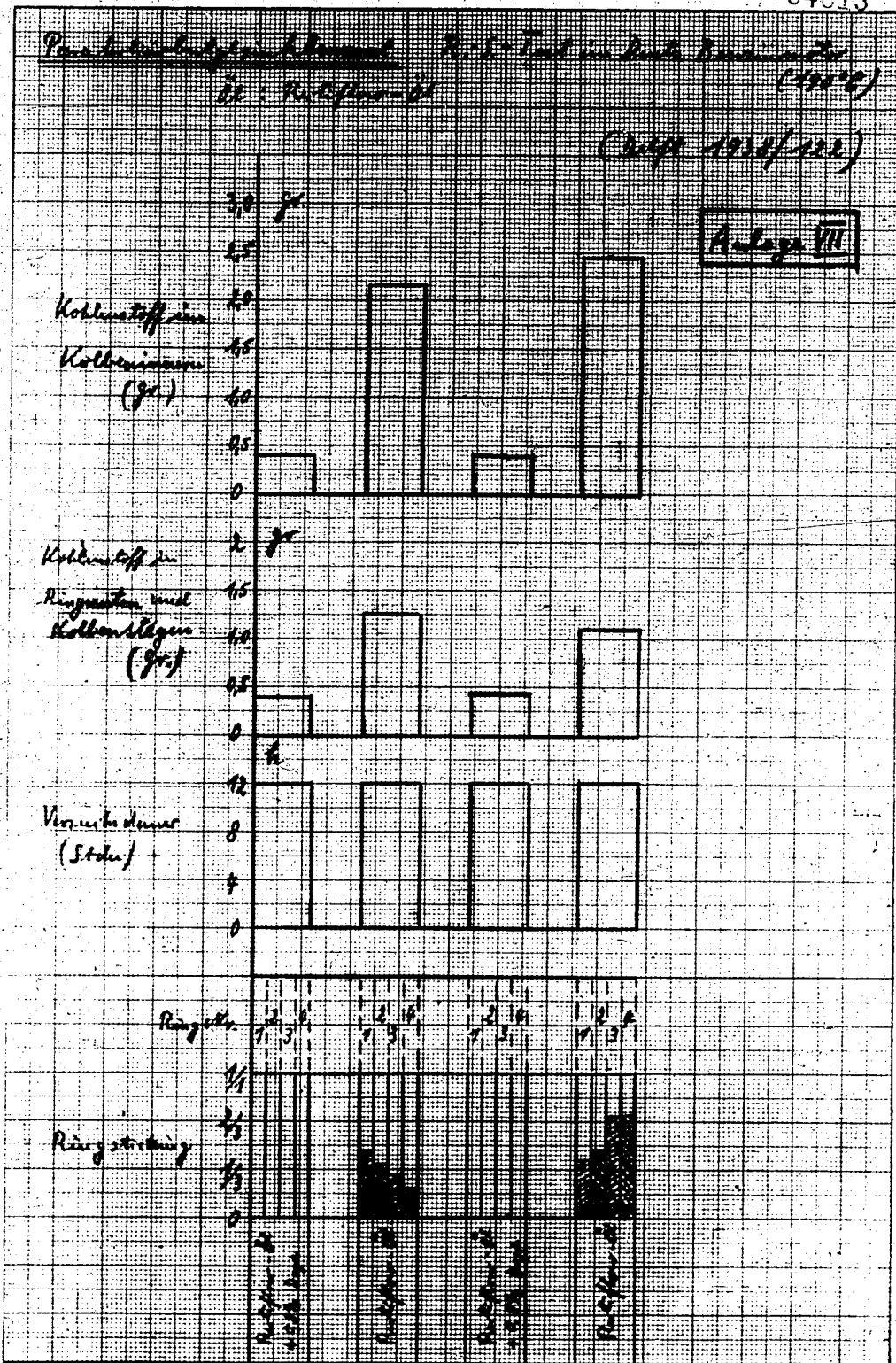


POOR
COPY

25

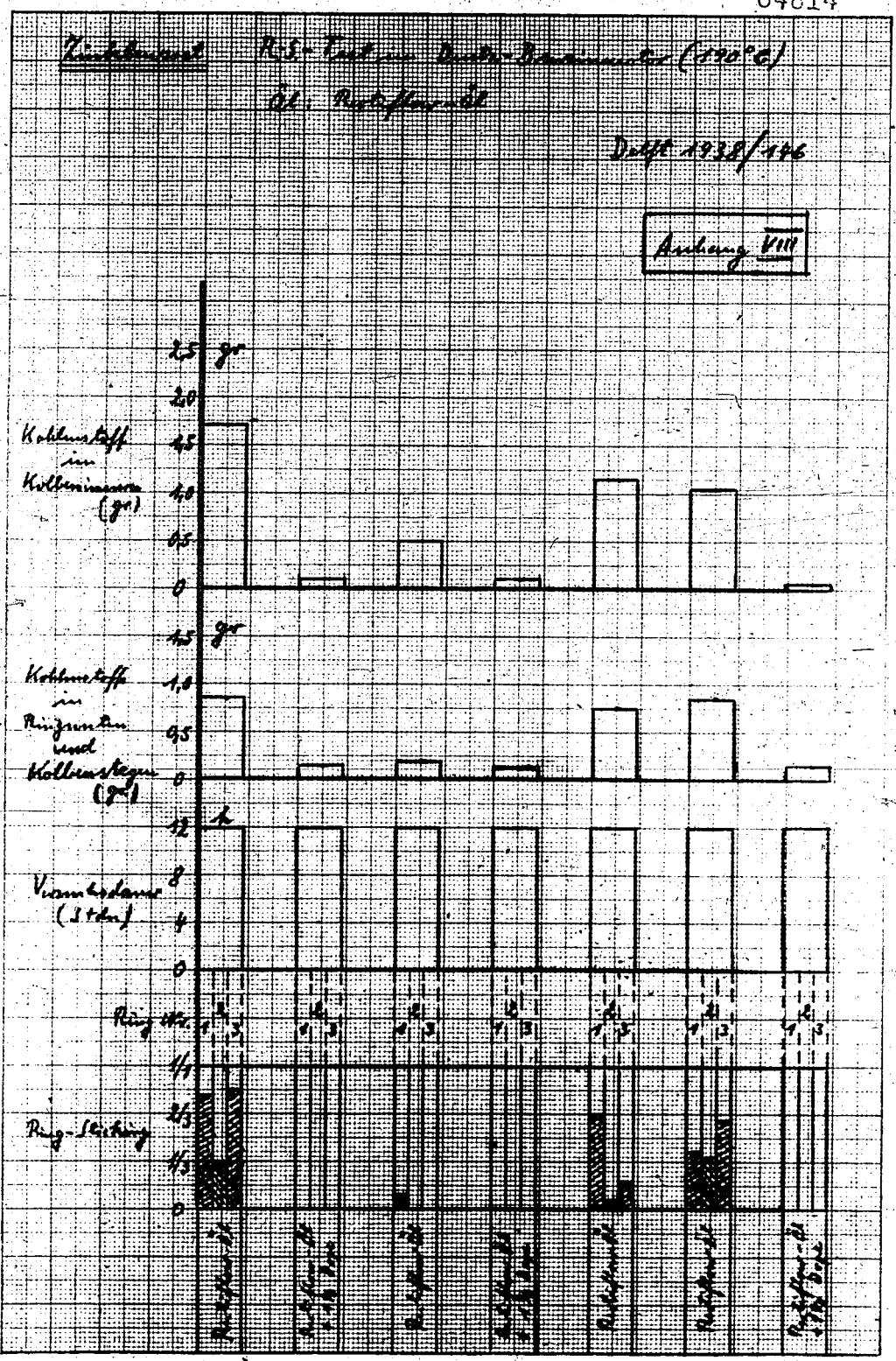
PO
CO

04813



POOR COPY 25

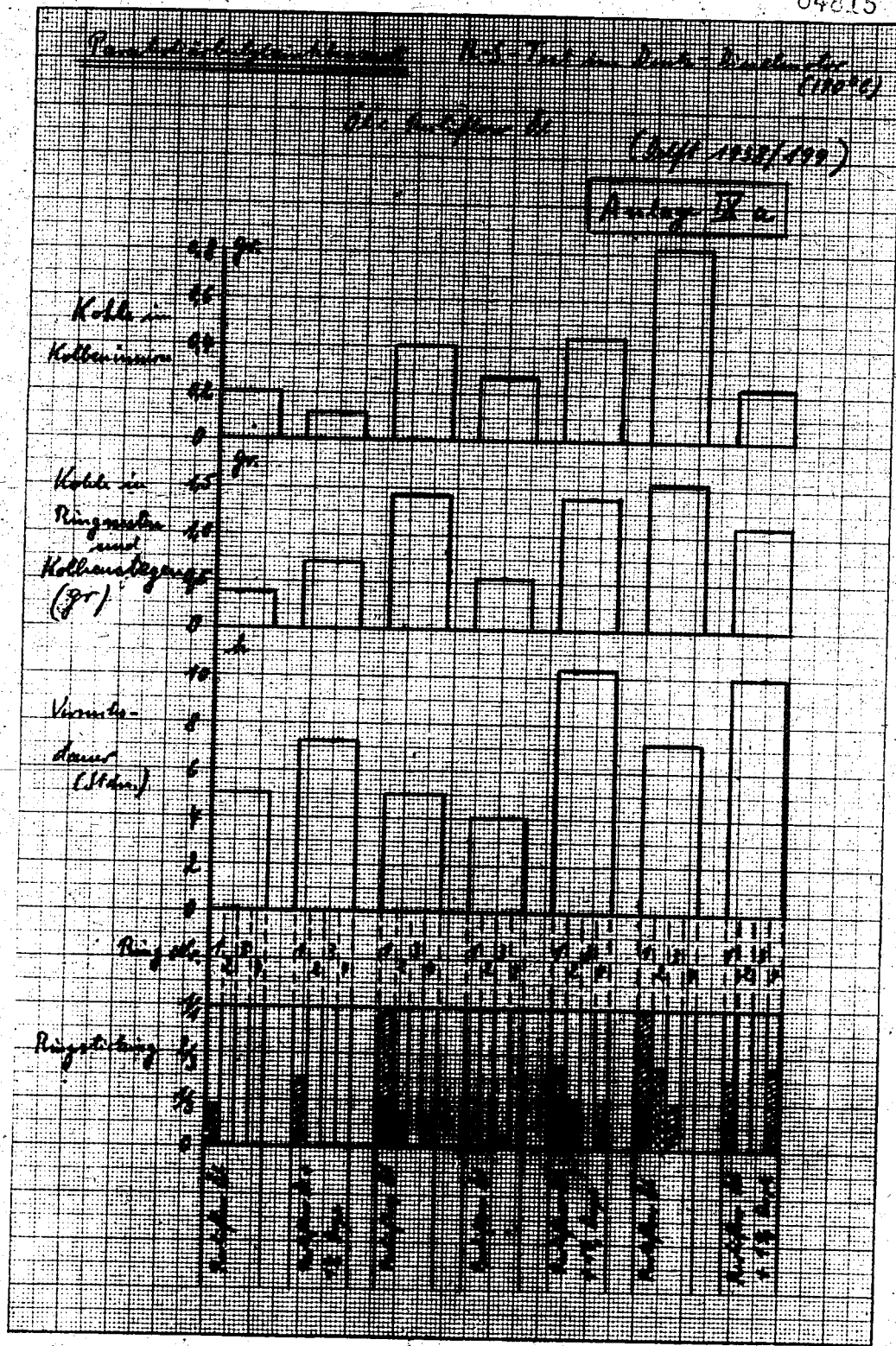
04814



POOR COPY 25

POOR COPY

04815



POOR COPY

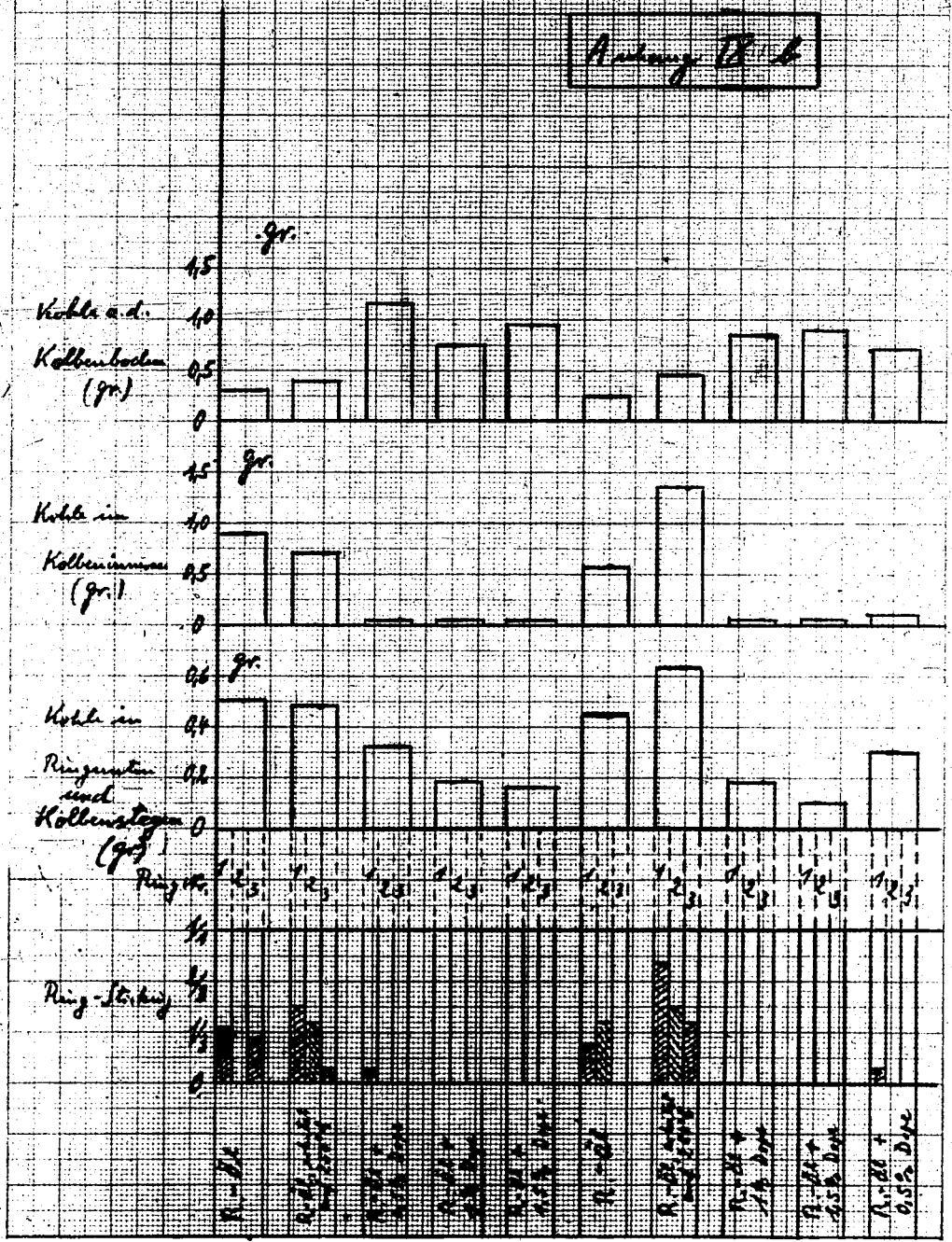
25

POOR COPY

04816

Parallel-Abtupfversuch R. 3. Teil des Buchs Querschnitt
Bl. Parlifer-Bl. (Vgl. 1930/199)
11 Stunden Test

Anhang Blatt



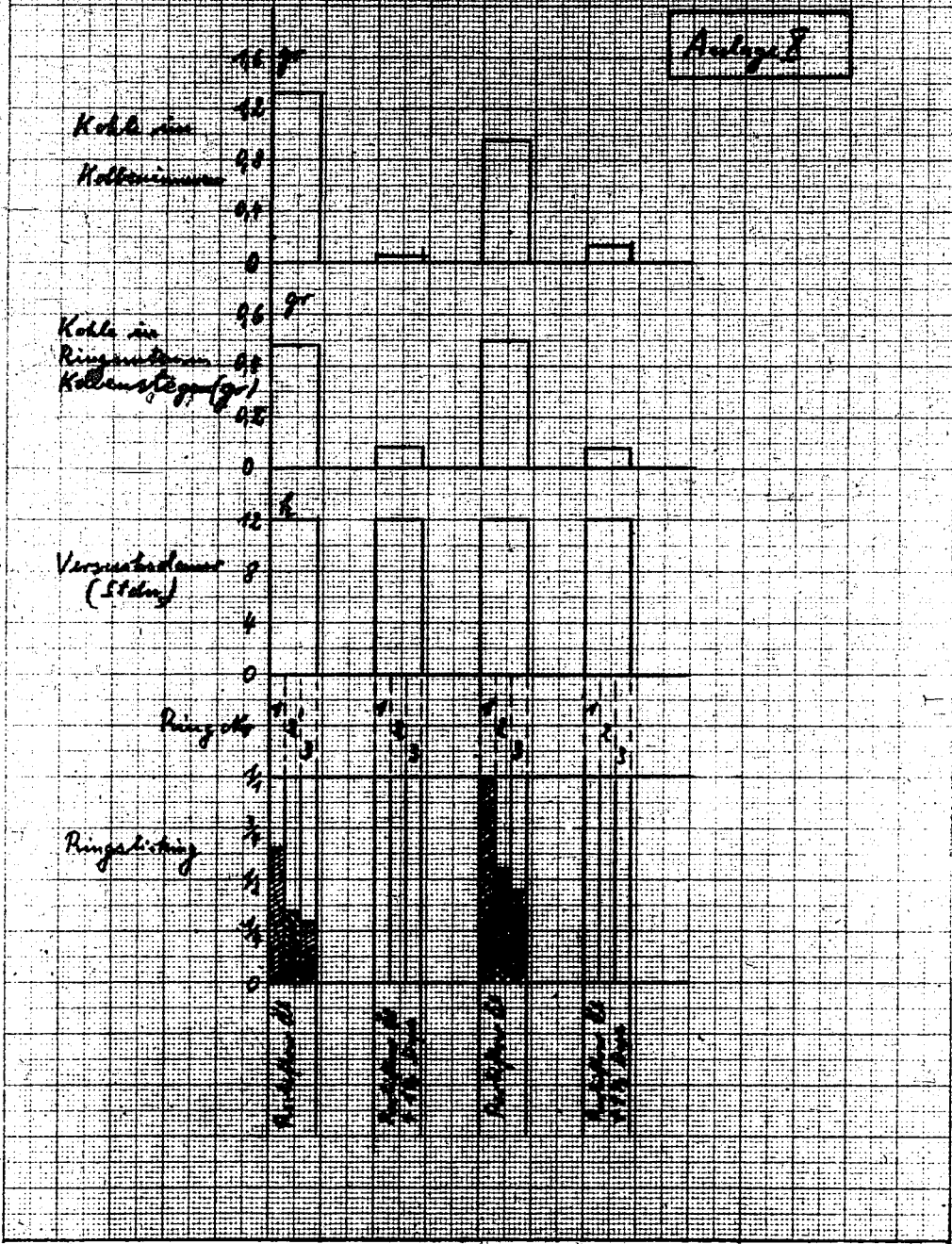
POOR COPY 25

POOR COPY

04817

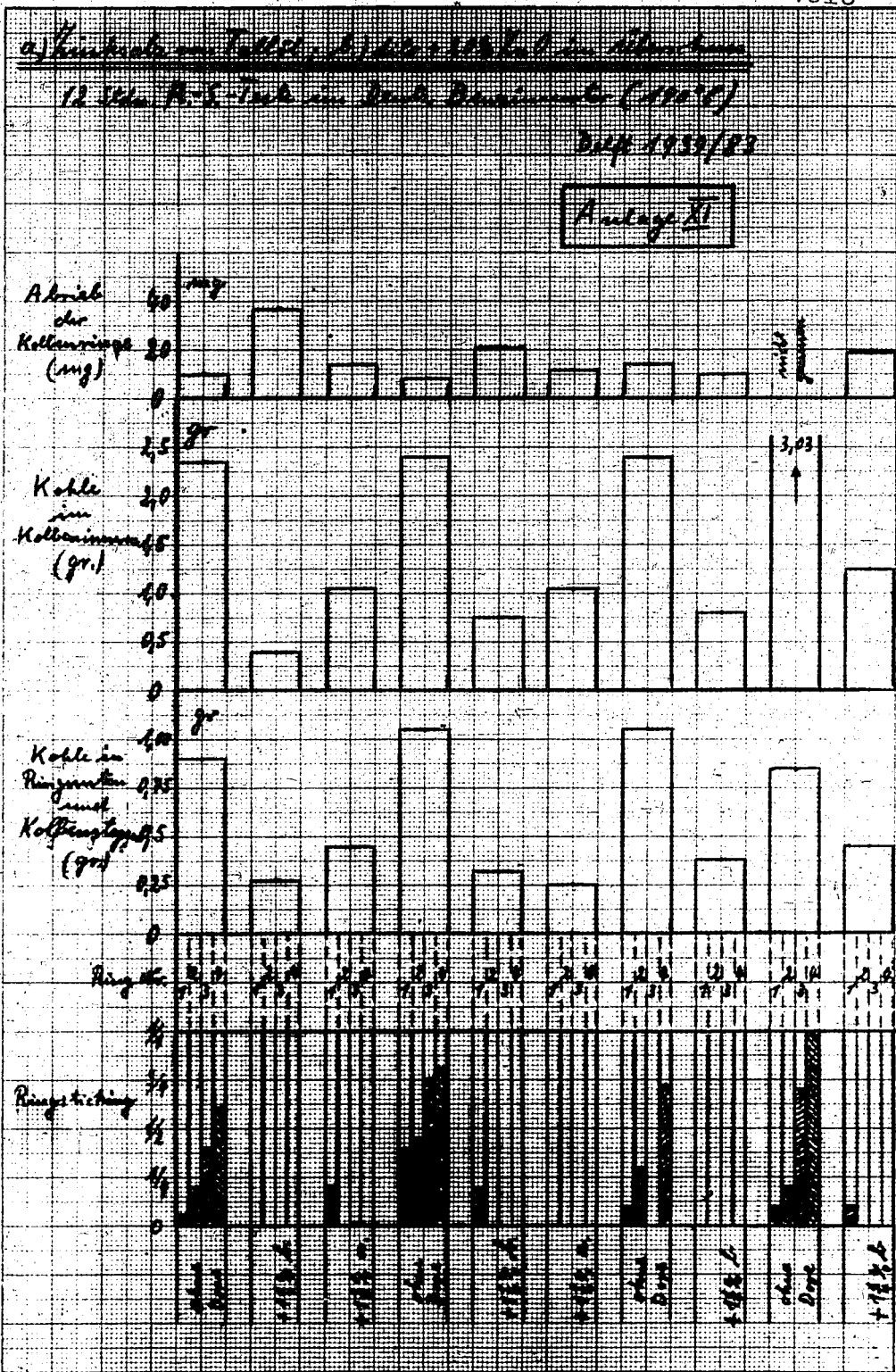
Kohlensäuregasanalyse *Reife Zeit im Dichte Brennpunkt*
Öl - Aufschlag *(1922)*
(Zeit 1239/12)

Analyse



POOR COPY 25

04818

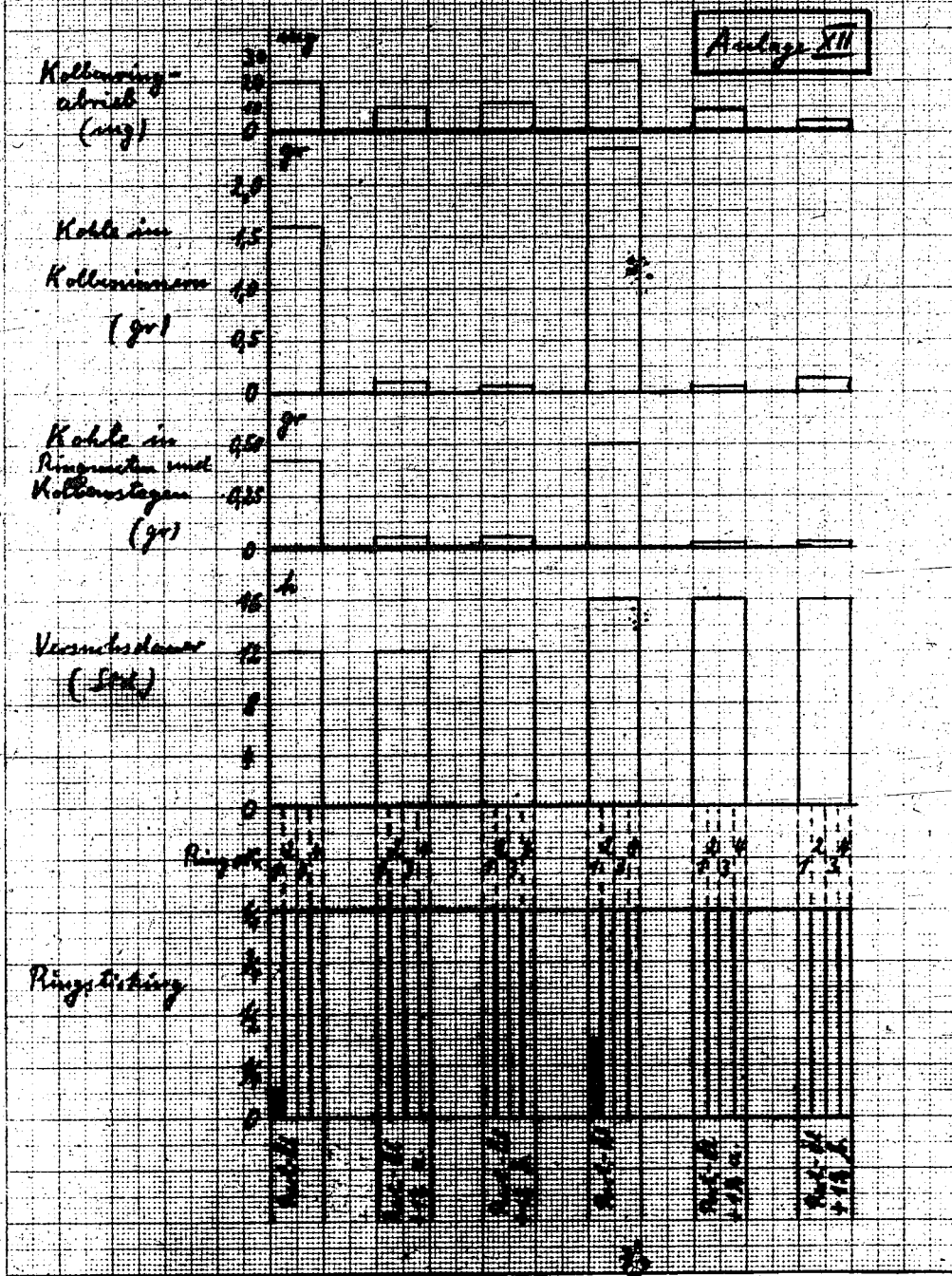


POOR COPY 25

a) Luftdruckverlauf, b) Luftdruck

Dr. Luftdruck

R. S. Takt im Druck-Bereich (1906) (Drift 1939/1916)



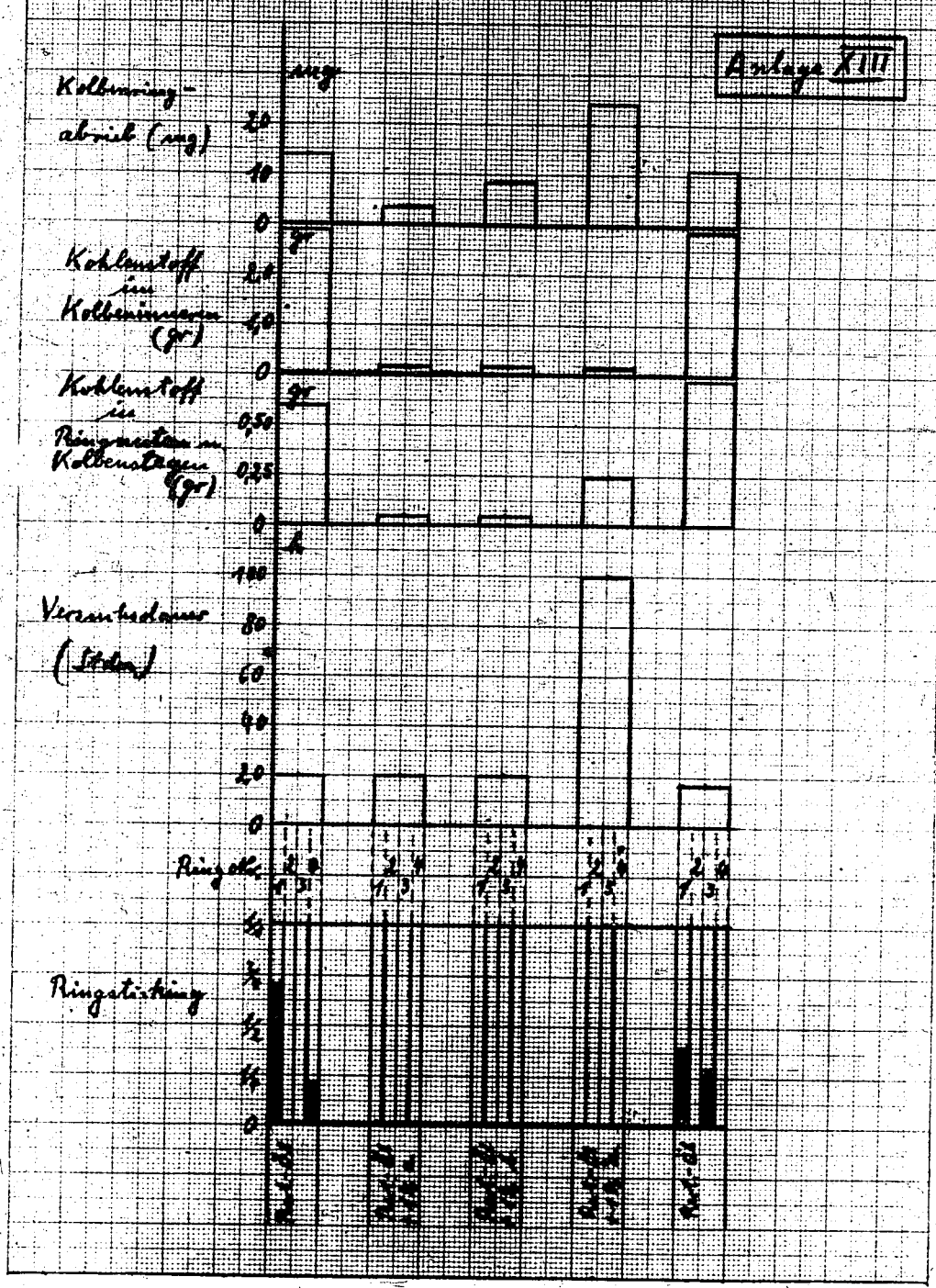
POOR COPY

25

POOR COPY

04820

a. Fluorbestimmung R-5 Test in Danks Bestimmung (110°C)
b. Schwefelbestimmung Ol. nachfolgend (Dilf 1932/1934)



POOR COPY 25

POOR COPY

04821

a.) Kohlensauerstoffgehalt

W. 57. Teil im Deuts-

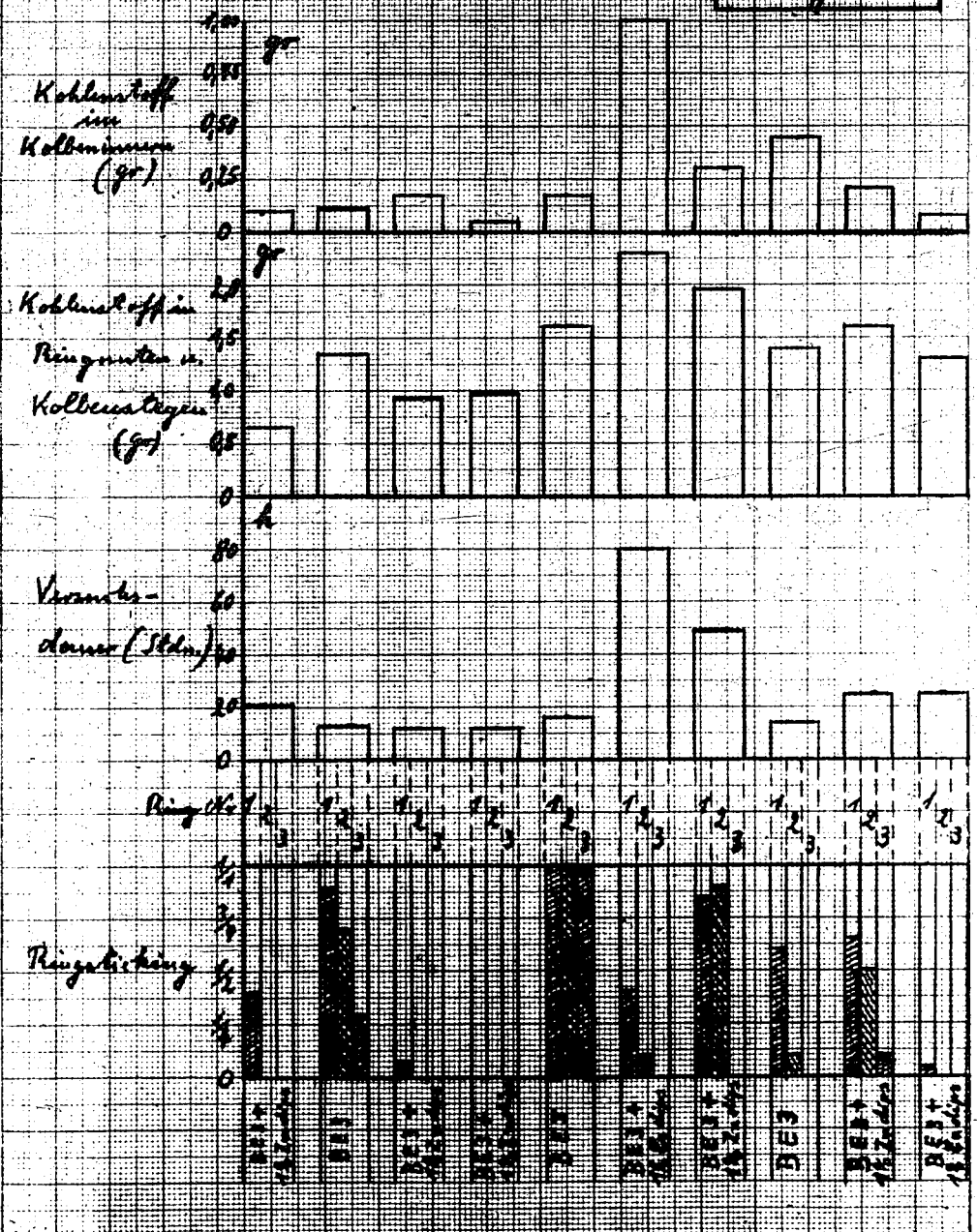
b.) Kohlenstoffgehalt

Deutscher (1930/31)

BE3-02

(D. 1939/1940)

Anlage XIV



POOR COPY 25

04822-04850

DRAWINGS

Part 16 04822

UNDER GROUND PLANT KUKU

1. No number, title or date - Conveyor System for Coal unloading.
2. Arrangement for Oxygen Holders Drawing #M12744-2 Ammoniakwerk, Merseburg Dec. 1, 1944. A scale drawing of underground arrangement of Oxygen Chambers.
3. Arrangement for Methanol Synthesis Drawing #M12741-2 Ammoniakwerk, Merseburg 11/3/44. A scale drawing of underground arrangement for Methanol synthesis.
4. Linde - Oxygen Installation Drawing # M12733-2 Ammoniakwerk, Merseburg Nov. 23, 1944. Layout for manufacture of Oxygen (9000 m³/h).
5. Linde - Oxygen Installation Duplicate of item # -4-.
6. Conveyor System for coal feed Drawing # M12732-2 Ammoniakwerk, Merseburg Nov. 23, 1944. A layout diagram to scale.
7. Methanol-Tank Storage Drawing # M12718-2 Ammoniakwerk, Merseburg Nov. 15/44 - Layout.
8. Gas Generating Installation (Co /H₂) Drawing # M12717-2 Ammoniakwerk, Merseburg 11/15/44 Layout for gas generation from coke.

9.

10.

11.

12.

13.

14.

15.

16.

17.

18.

04823

04823

-2-

9. Arrangement for Copper Lye Regeneration Installation
Drawing # M12715-2 - Ammoniakwerk, Merseburg 11/15/44
Scale drawing of underground arrangement.
10. Contract Chamber Arrangement - Nitrogen Installation
Drawing # M12714-2 Ammoniakwerk, Merseburg 11/14/44.
11. Arrangement of a CO₂ - Hydraulic Wash
Drawing # M12711-2 Ammoniakwerk, Merseburg 11/14/44.
12. Arrangement of Stalls (3) and Sections in each Stall.-
Project ku Drawing # M12617-2 Ammoniakwerk, Merseburg
9/25/44.
13. Methanol Synthesis - Chamber Arrangement
Drawing # M10234-4
14. Arrangement for Water Works - Pressure Filtration
Installation - Drawing # M1021⁴4a-4 Nov. 9, 1944.
15. Methanol Synthesis Chamber (Standing) Arrangement
Drawing # M10236-4 Ammoniakwerk, Merseburg 11/23/44.
16. Isobutyl Distillation Installation Arrangement.
Drawing # M10235-4 Ammoniakwerk, Merseburg 11/23/44.
17. Summary Arrangement of a Methanol and Nitrogen
Installation - Drawing # M101²⁹4 Ammoniakwerk,
Merseburg 11/2/1944.
18. Arrangement of a Power(Electric) Works
Drawing # M6284-1 Ammoniakwerk, Merseburg 11/16/44
(2 copies)

INDEX 2

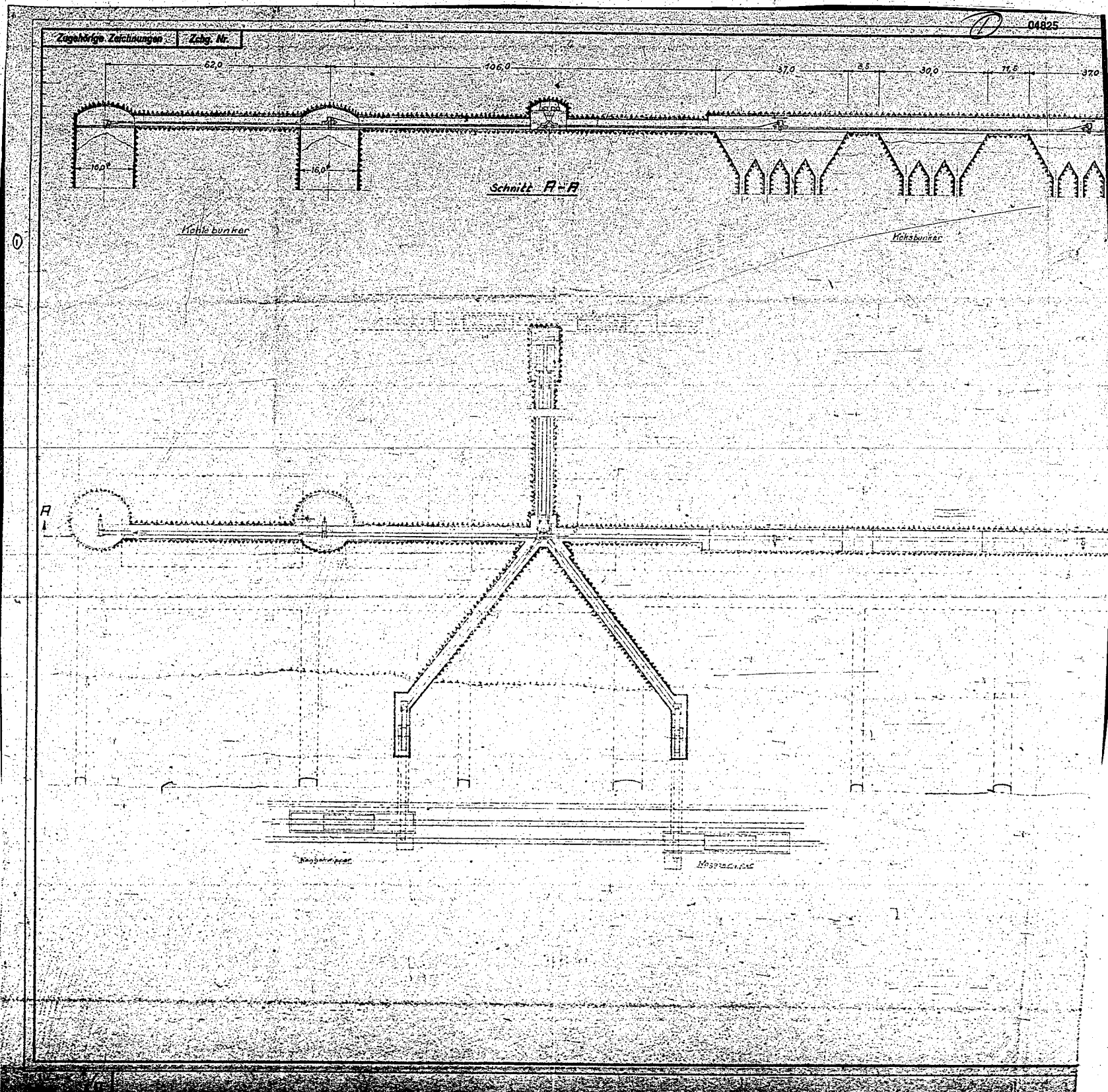
04824

04824

-3-

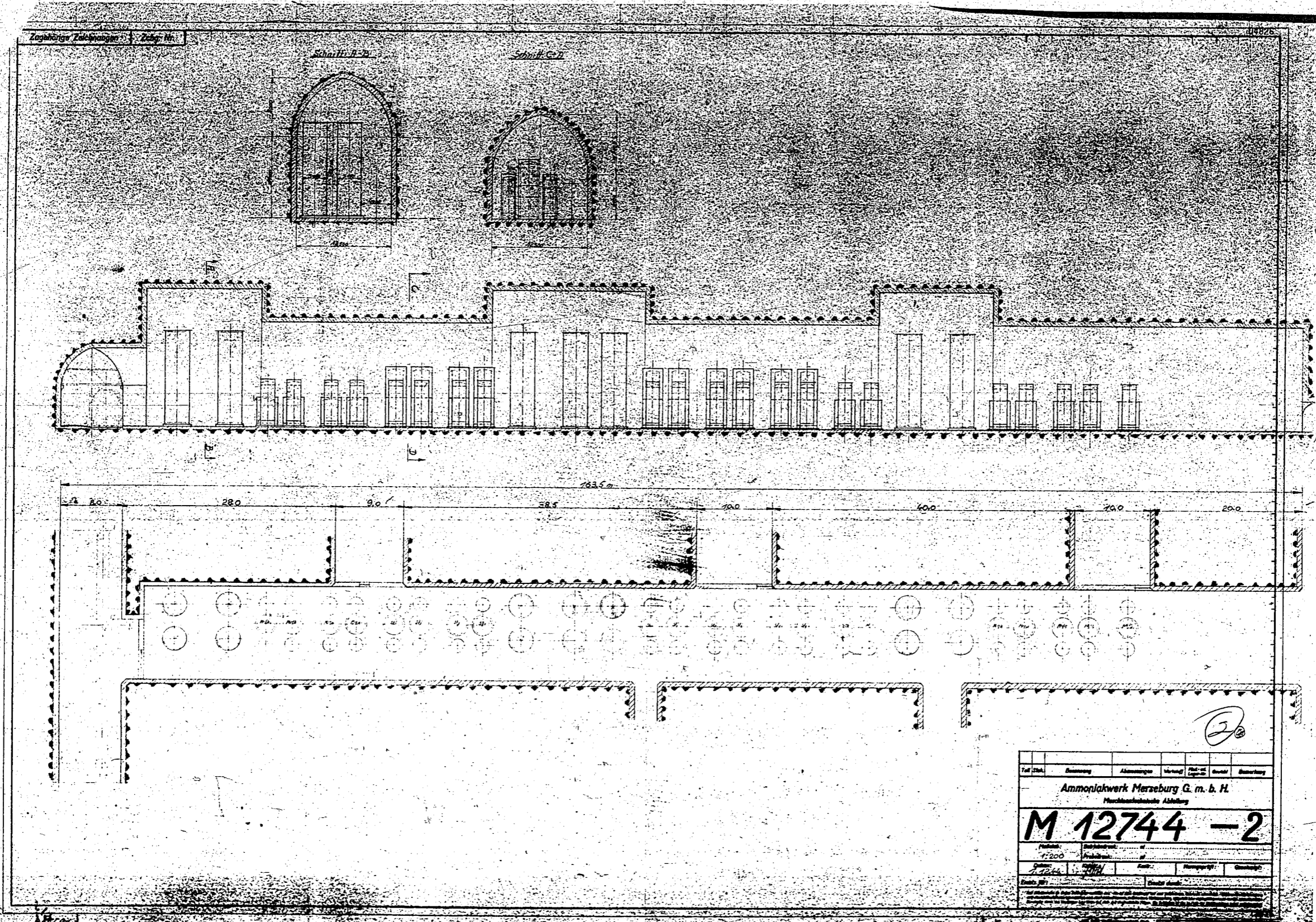
19. Arrangement of a methanol Synthesis Installation -
Drawing # M6283-1 Ammoniakwerk, Merseburg
11/15/44 (2 copies).
20. Summary Layout of Water Works, Power Station,
Ammonia Synthesis, Methanol Synthesis and Isobutyl
Installation. Drawing # M5693-1 Ammoniakwerk,
Merseburg 11/24/44. (2 copies).
21. Pipe Channels, Cable Conduits and foundation for
Machinery and apparatus - Drawing # M5686-1
Ammoniakwerk, Merseburg Nov. 16, 1944.
22. Double Chambers for Hydrogenation - Project Ku -
Drawing # M5686-1 Ammoniakwerk, Merseburg
11/16/44 (2 copies).

INDEX 3



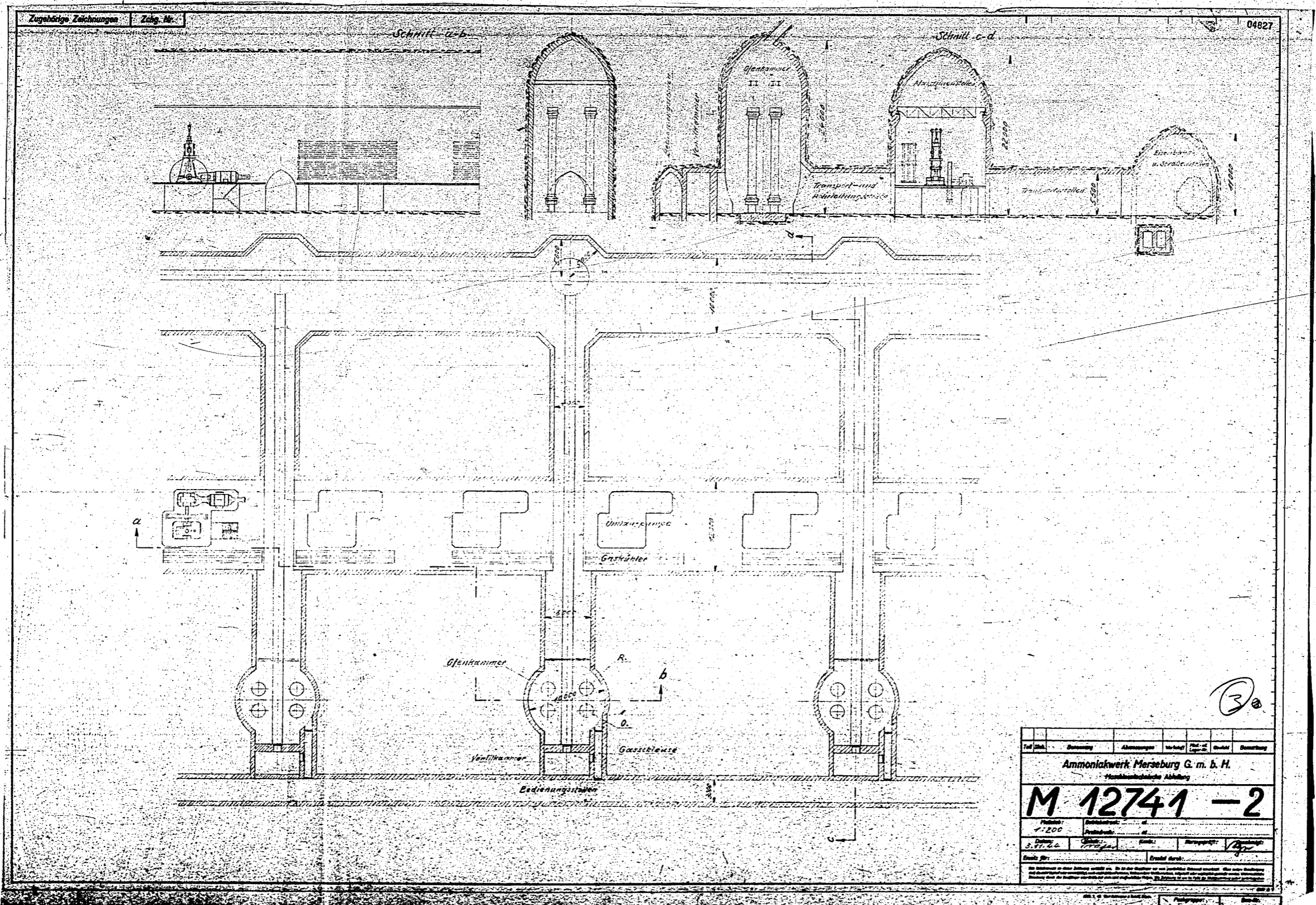
POOR
COPY

1

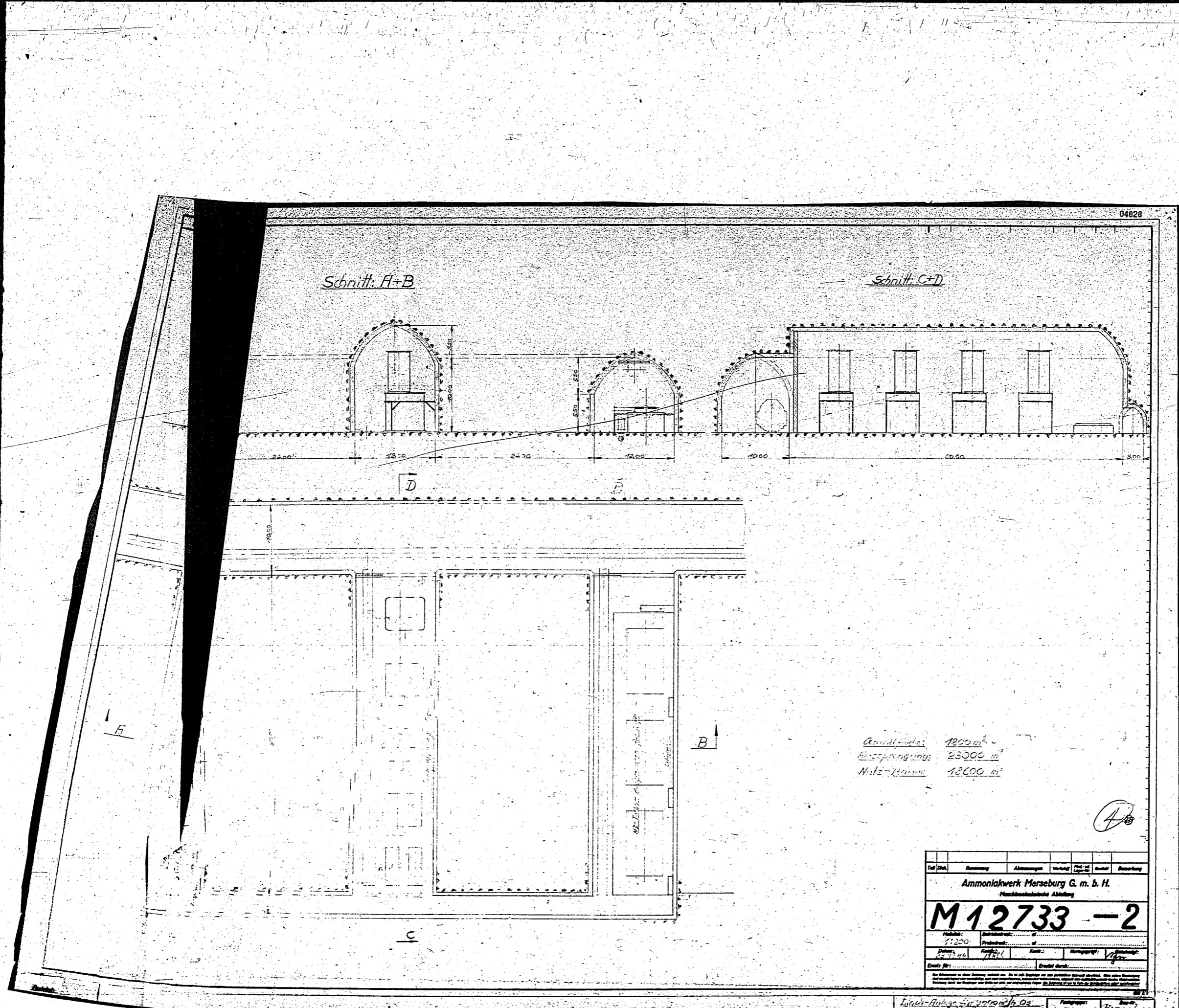


Tafel-Nr.	Benennung	Abmessungen	Vorwand	Stückzahl	Stück	Bemerkung
	Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.					
	Pflanzmaschinenfabrik Altdörfing					
M 12744 - 2						
Maßstab:	1:200	Vermaßstab:				
Gezeichnet:		Geprüft:				
Datum:		Ort:				

POOR
2



POOR 3

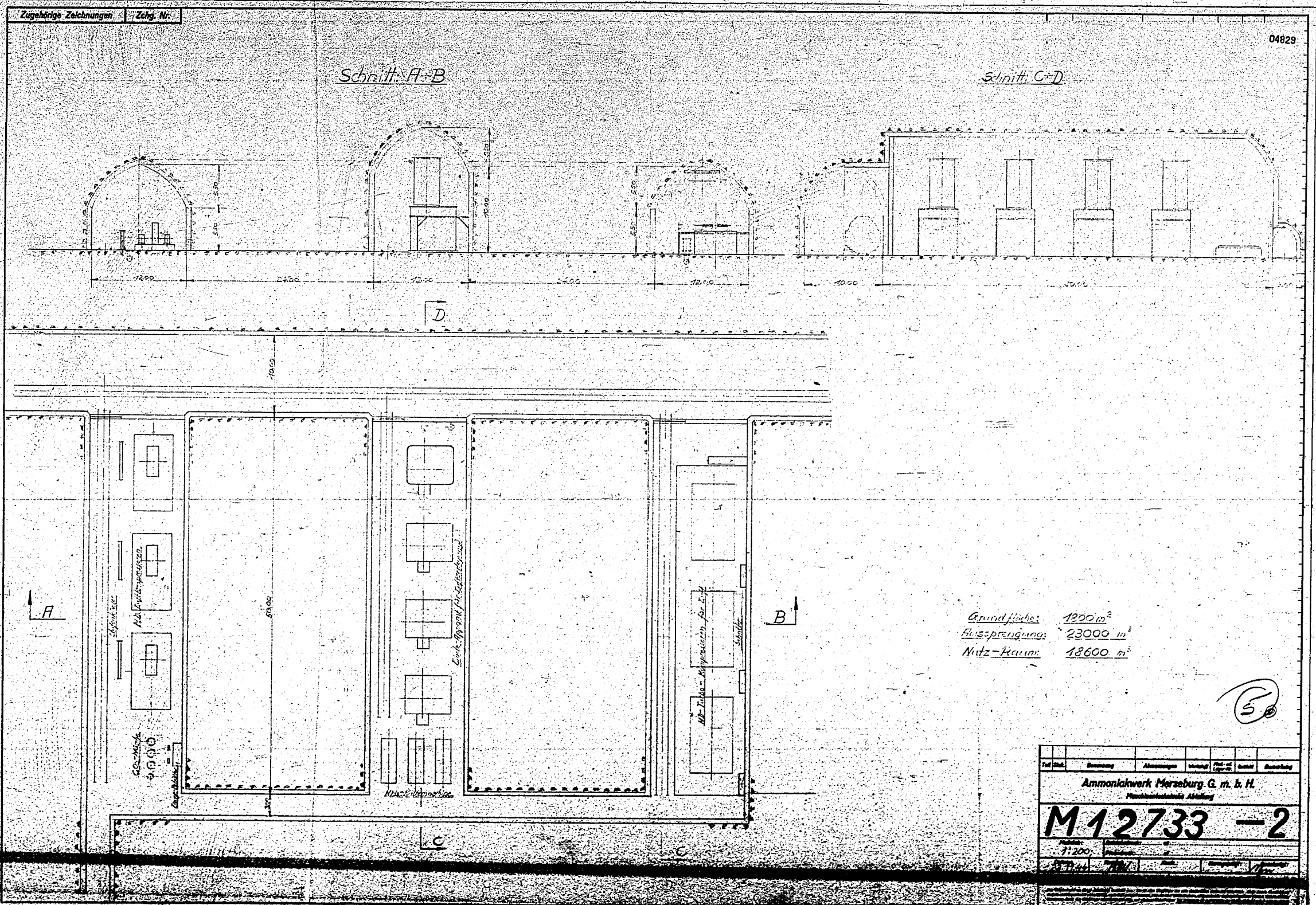


Zugehörige Zeichnungen: Zchg. Nr.

04829

Schnitt A-B

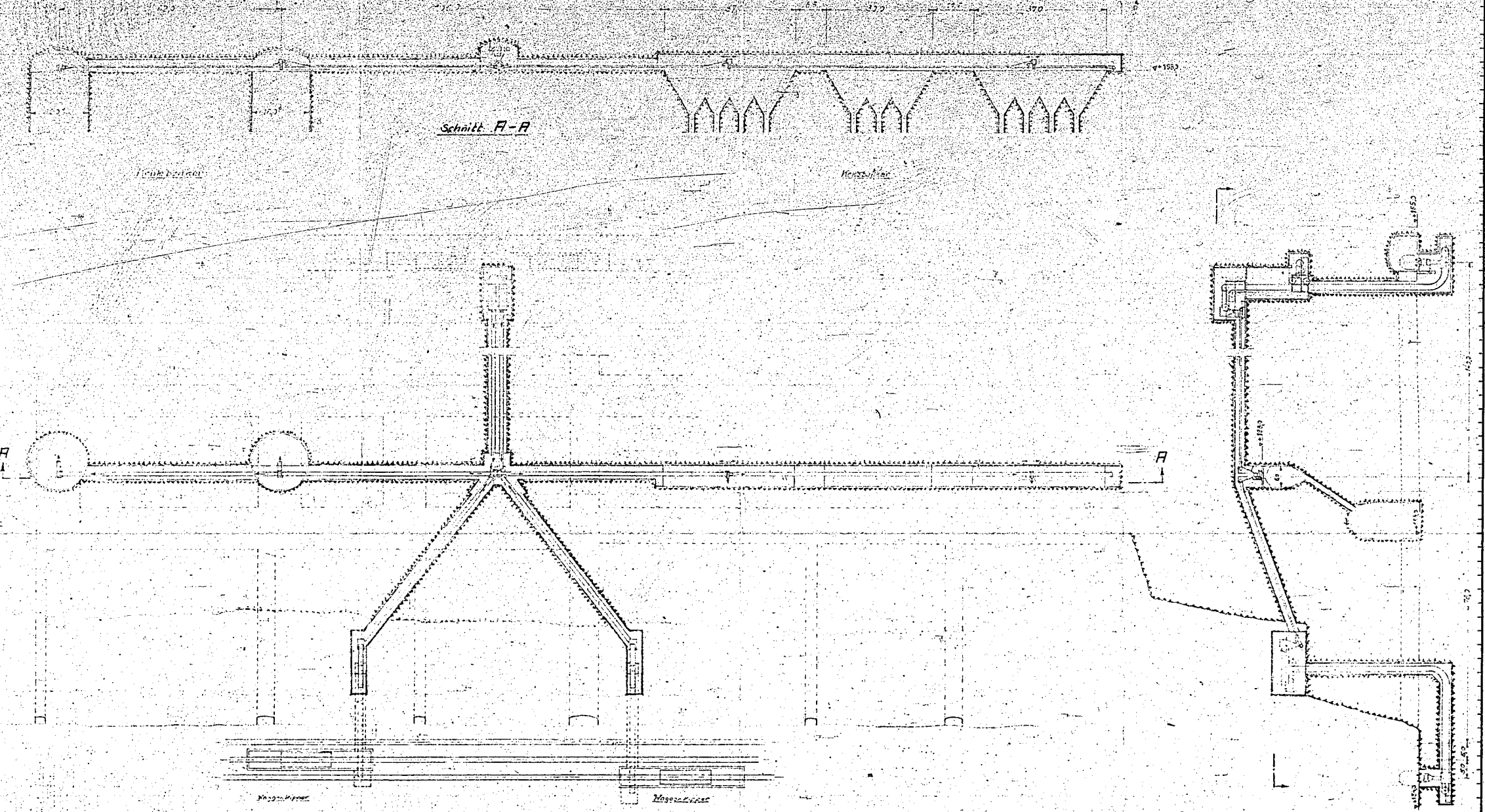
Schnitt C-D



POOR COPY 5

Zugehörige Zeichnungen: Zchg. Nr.

04830



Teil	Stück	Bezeichnung	Abmessungen	Material	Stück	Bezeichnung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.						
Mechanische Abteilung						
M 12732 -2						
Masse:		Druckverhältnis:				
1:500						
Datum:		Gezeichnet:				
23.11.11		H. K.				
Gezeichnet:		Geprüft:				
H. K.		H. K.				
Geprüft:		Gezeichnet:				
H. K.		H. K.				

04829

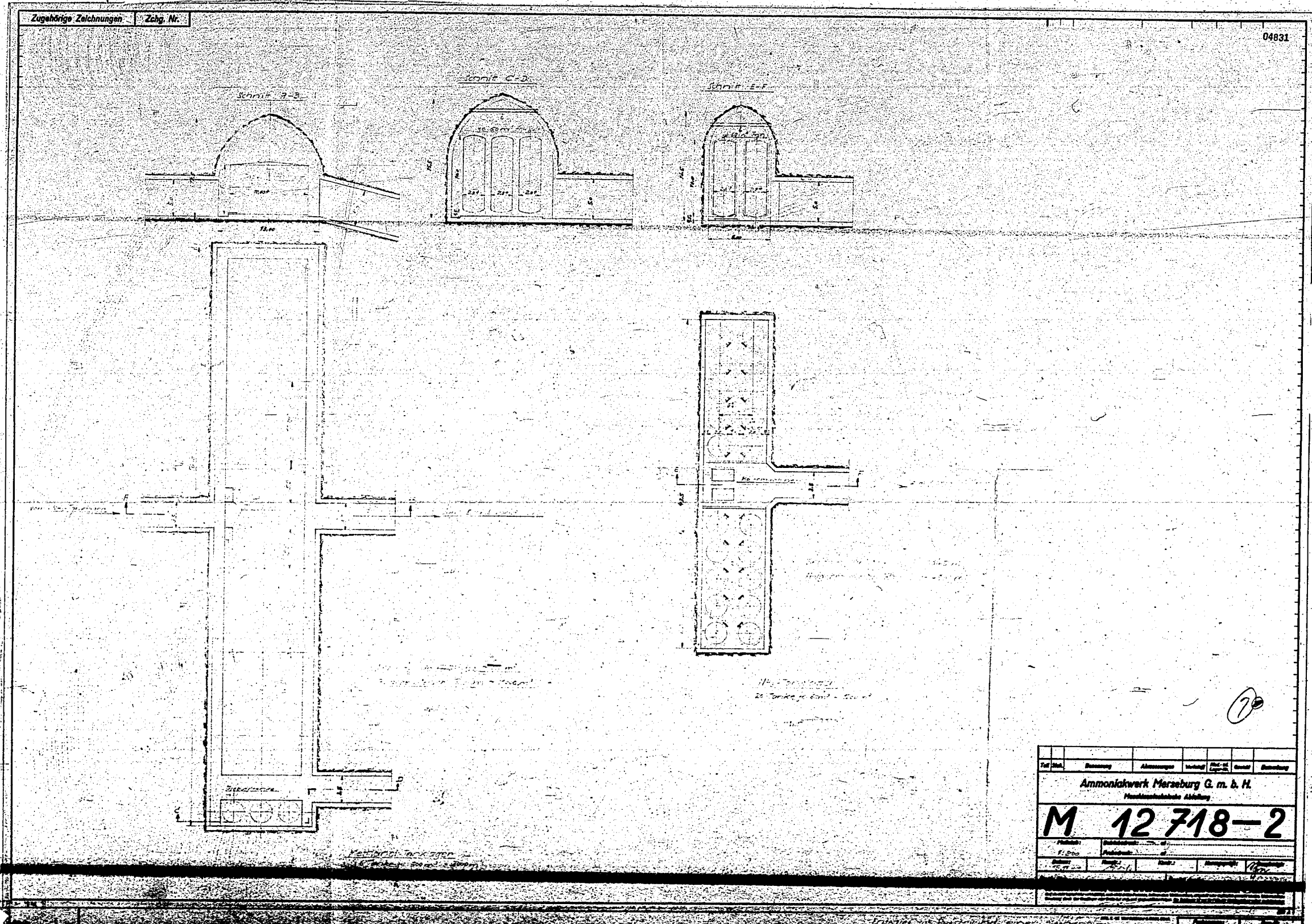
-2

POOR COPY 6

04830

Zugehörige Zeichnungen Zchg. Nr.

04831

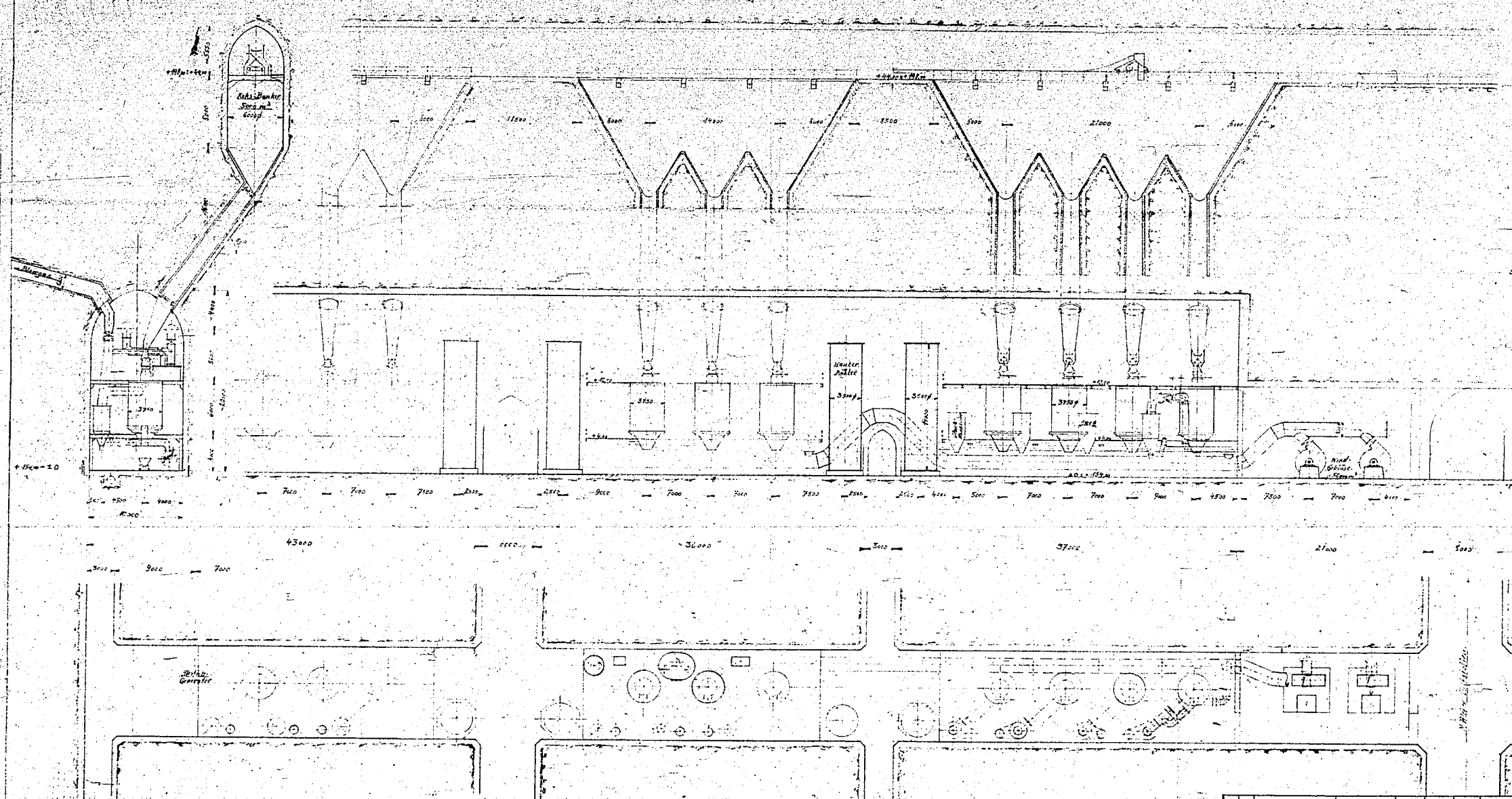


2

Teil	Blatt	Bestimmung	Abmessungen	Vermaß	Stab	Stärke	Bezeichnung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.							
Hauptbuchhaltung Abteilung							
M 12 718-2							
Profil		Fertigstellung		Menge		Anmerkungen	
F. 200		1911		1000		V. 1000	

POOR COPY 7

04832

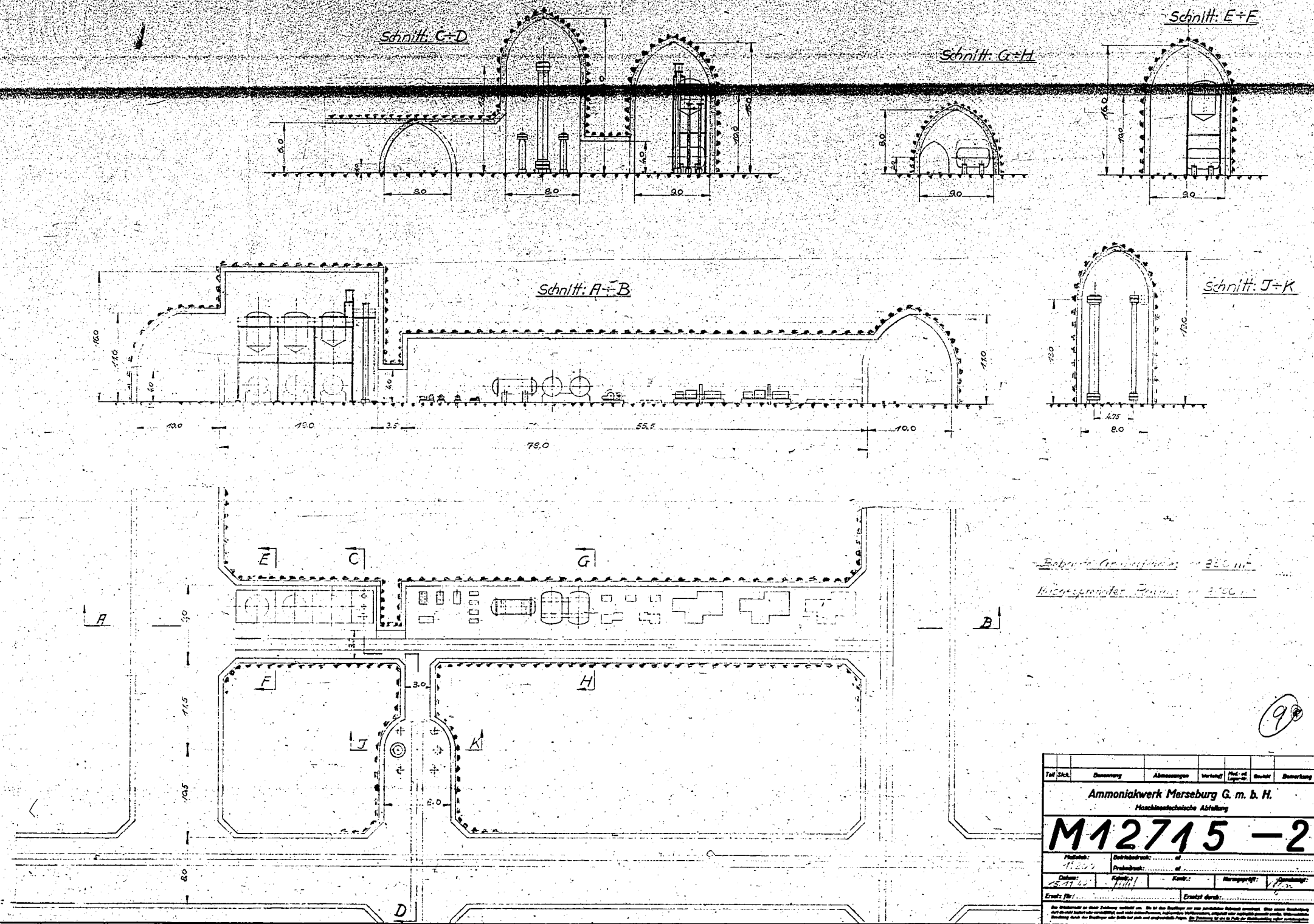


Teil	Bezeichnung	Abmessungen	Material	Verfahren	Herstellung	Gezeichnet	Gezeichnet
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.							
Maschinenbauische Abteilung							
M12717 - 2							
Maßstab:	1:200	Blatt:	1	Gezeichnet:		Gezeichnet:	
Datum:	15.11.44	Gezeichnet:	göbel	Kontrolliert:		Gezeichnet:	
Blatt Nr.:		Gezeichnet durch:					

POOR COPY 8

Zeitverträge Zeichnungen Zchg. Nr.

04833



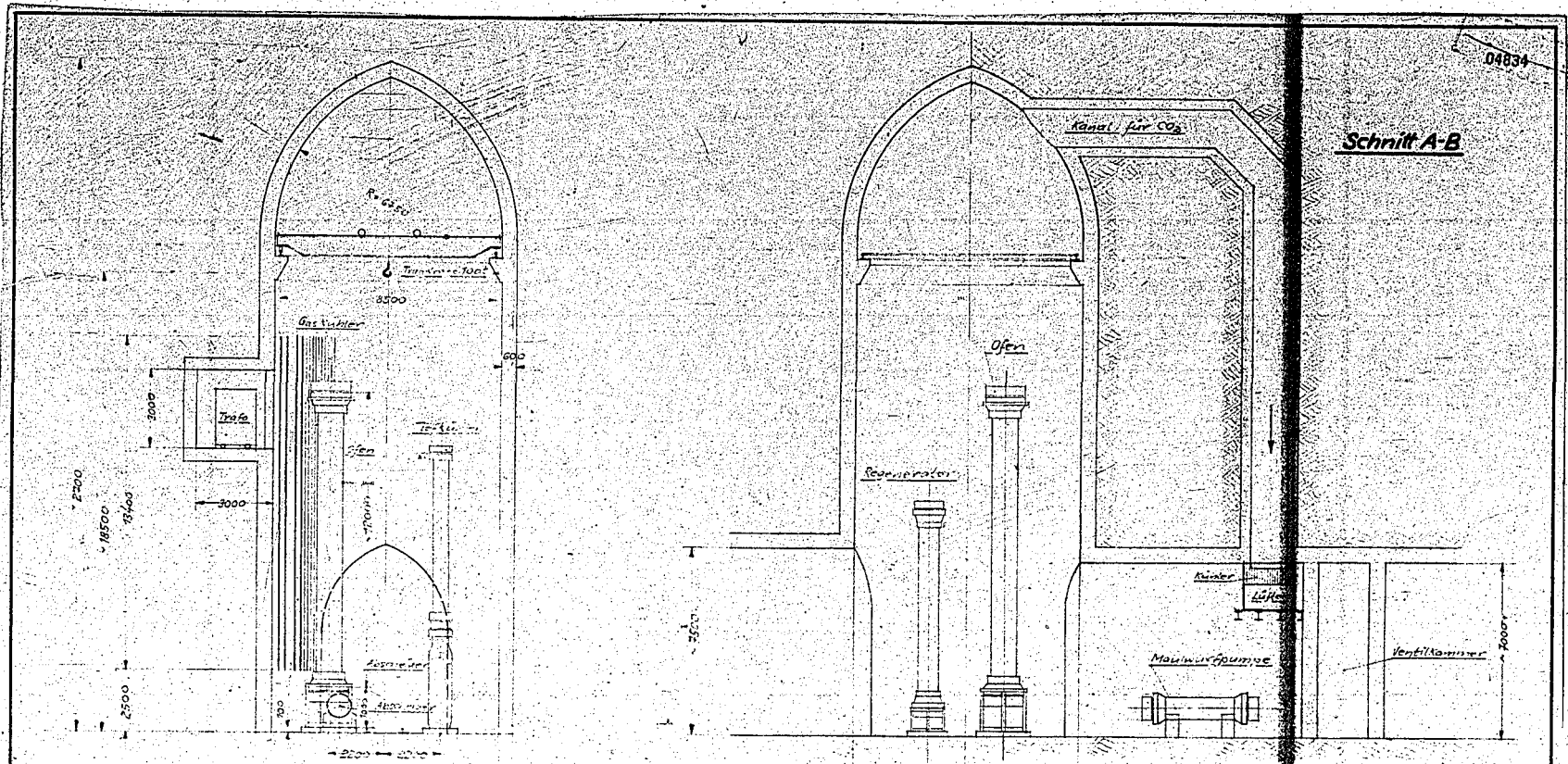
Sebrichte Grundfläche: 230 m²
 Niedrigpreisiger Bau: 230 m²

90

Teil	Stich	Benennung	Abmessungen	Vermaß	Proj. Nr.	Stand	Bemerkung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.							
Maschinenbautechnische Abteilung							
M12715 - 2							
Platz:	11207	Drehzahl:	1100	Proj. Nr.:	11207	Stand:	
Datum:	25.11.42	Kont.:	11111	Vermaß:	1:100	Bemerkung:	
Erstl. Nr.:		Erstl. durch:		<small>Das Unternehmen ist über die Fertigung dieser Zeichnung im Besitz der Rechte. Die Rechte an den Zeichnungen sind dem Unternehmen vorbehalten. Die Rechte an den Zeichnungen sind dem Unternehmen vorbehalten. Die Rechte an den Zeichnungen sind dem Unternehmen vorbehalten.</small>			

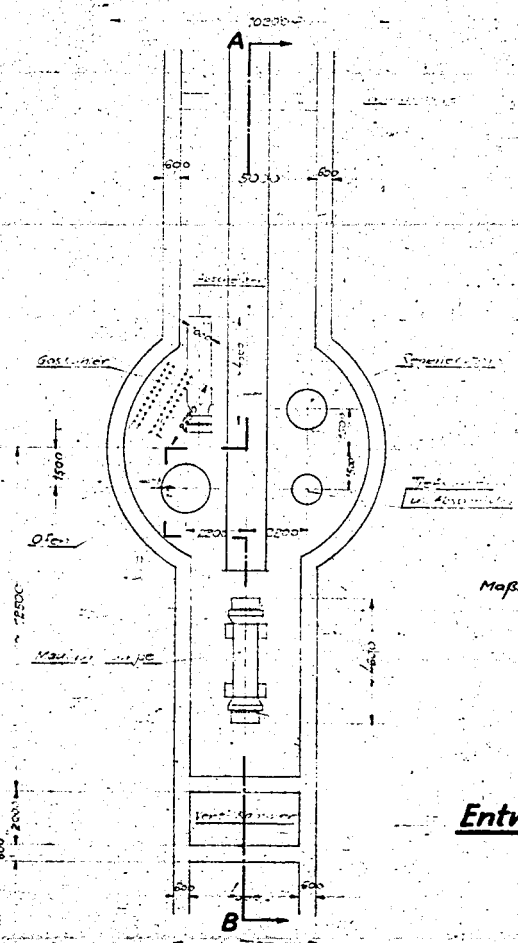
Entwurf einer Kupferlaugentrocknungsanlage

POOR COPY 9



04834

Schnitt A-B



Maßstab: 1:100

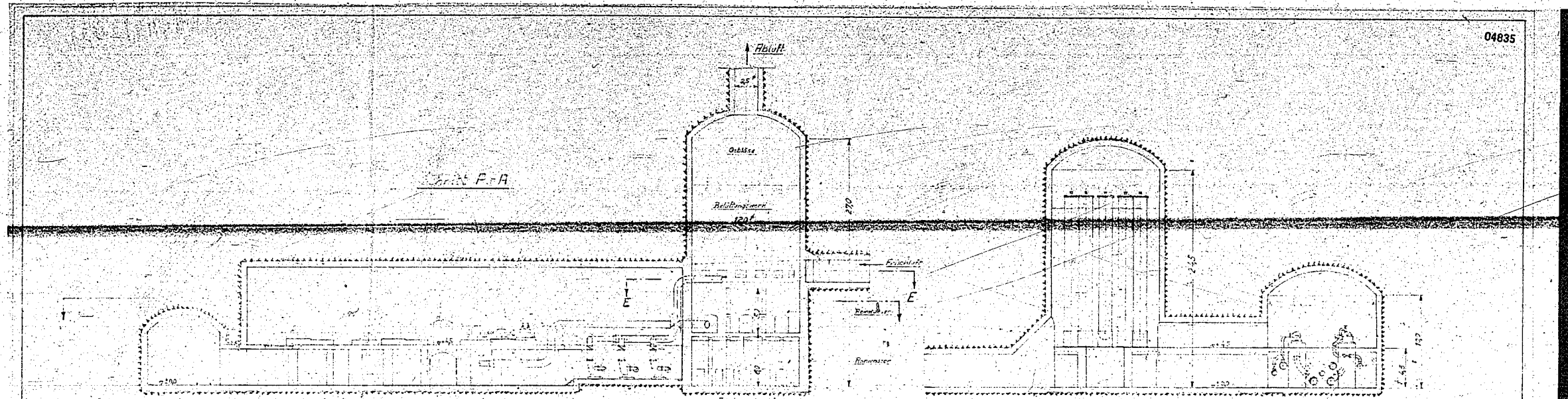
Entwurf Ofenkammer Stg-Anlage

M 12714-2

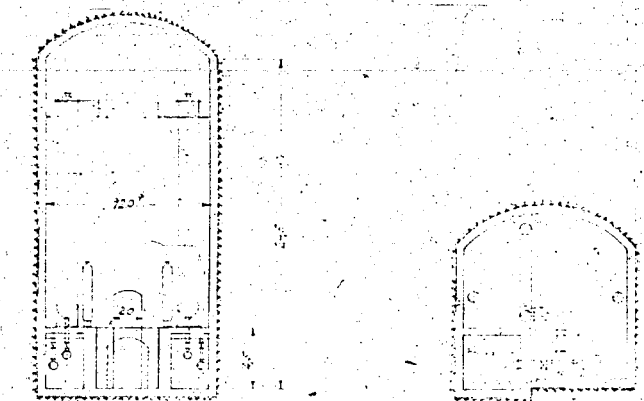
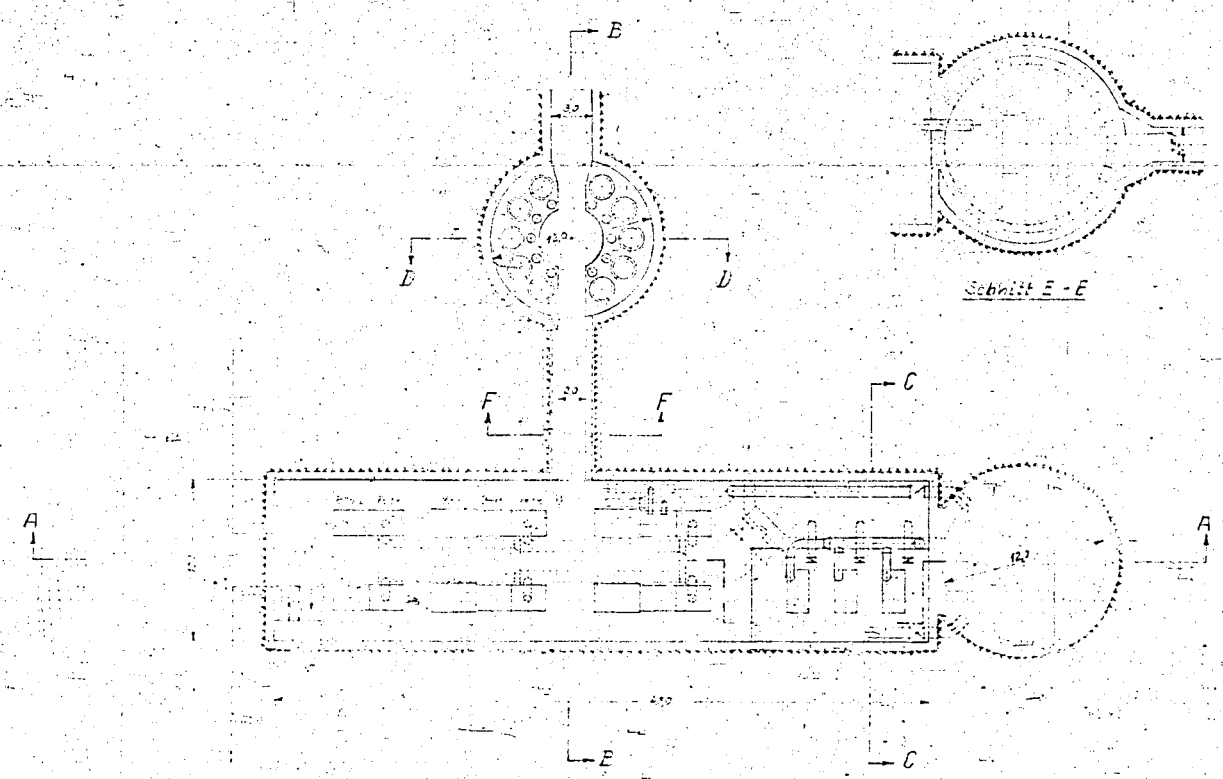
10

AWM

14.11.44 Levin



04835

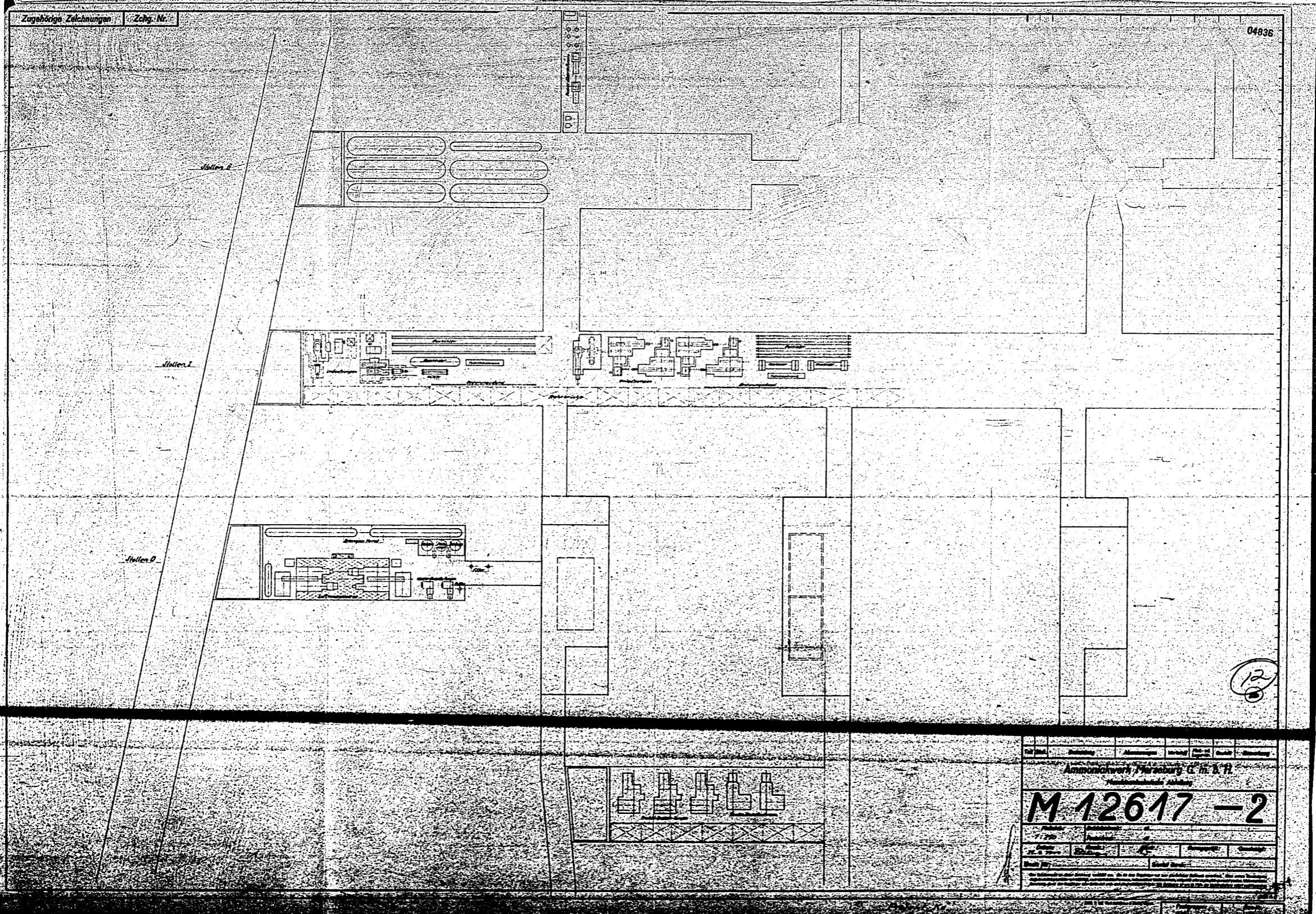


Erteilt am 10. 11. 1900.

Erteilt am 10. 11. 1900.

Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.			
Maschinenfabrik Abteilung			
M 12711-2			
Maßstab:	1 : 200		
Datum:	10. 11. 1900		

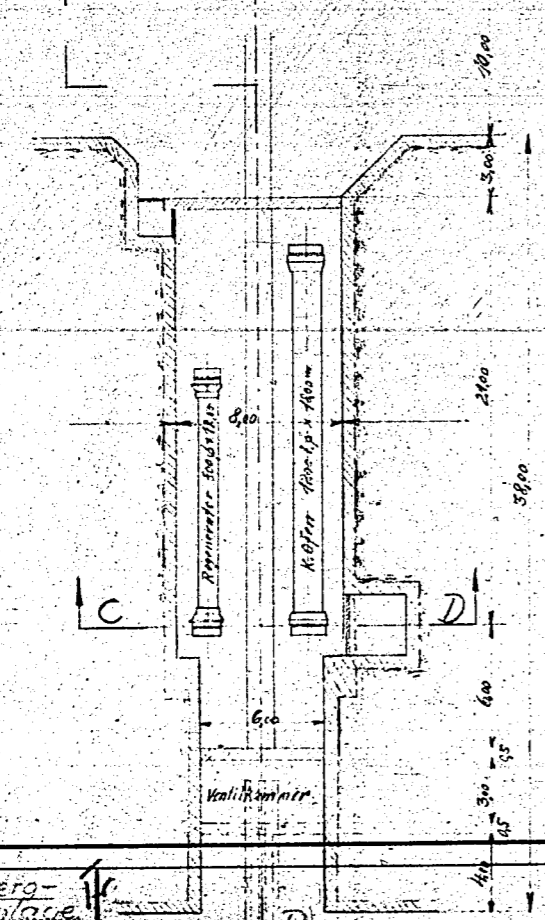
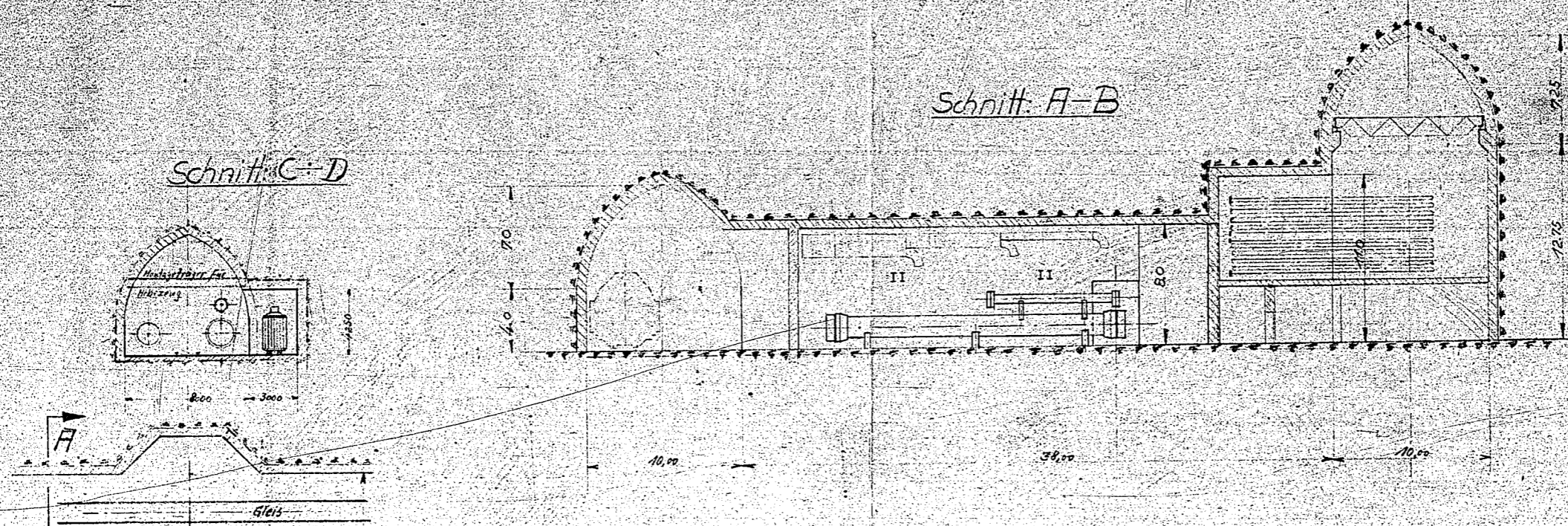
POOR COPY



POOR COPY 12

Zugehörige Zeichnungen Zchg. Nr.

04837



Grundfläche: ~ 276 m²
 Ausbreitungs: ~ 1550 m³

130

Teil Stck	Benennung	Abmessungen	Werkstoff	Med.-Nr. Lager-Nr.	Gezeichnet	Bemerkung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.						
Maschinentechnische Abteilung						
M 10234 - 4						
Maßstab: 1:200		Betriebsdruck:		at		
Datum: 23.11.44		Probendruck:		at		
Gezeichnet: [Signature]		Kontrolliert: [Signature]		Normgeprüft: [Signature]		Genehmigt: [Signature]
Ersatz für:		Ersatz durch:				

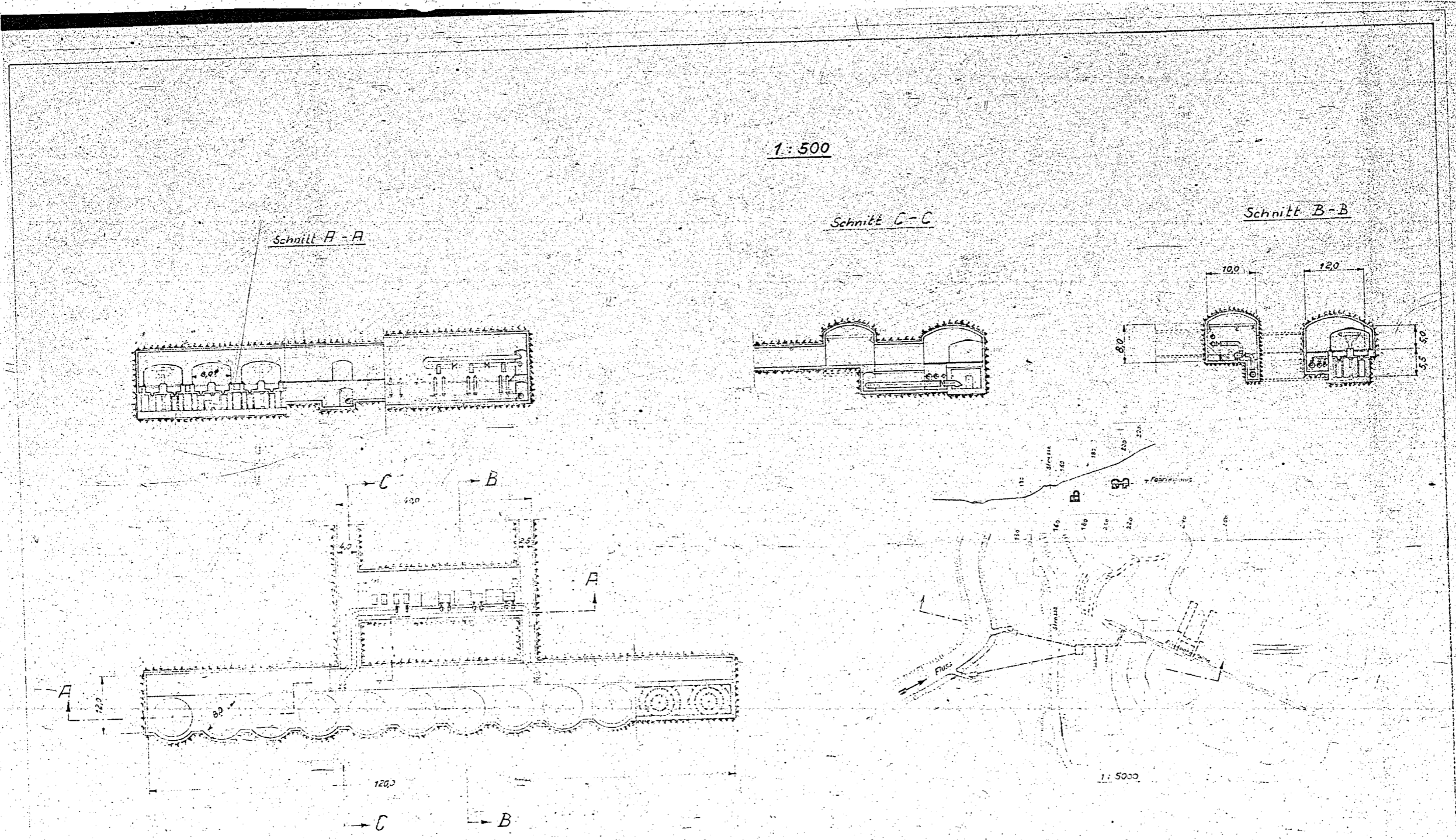
Berg-
Betriebs-Anlage

Ofenkammer — Methi Synthese (lieg. Anordnung)

1933, 7. Aufl. Carl Schenker & Sohn, Görlitz

Fachgruppen: 289
 Bearb.: Berganlage

POOR COPY 13



1:500

Schnitt A-A

Schnitt C-C

Schnitt B-B

Entwurf eines Wasserwerkes
 Druckfilteranlage. Leistung: 8000m³/h.

14

M.10214_a-4

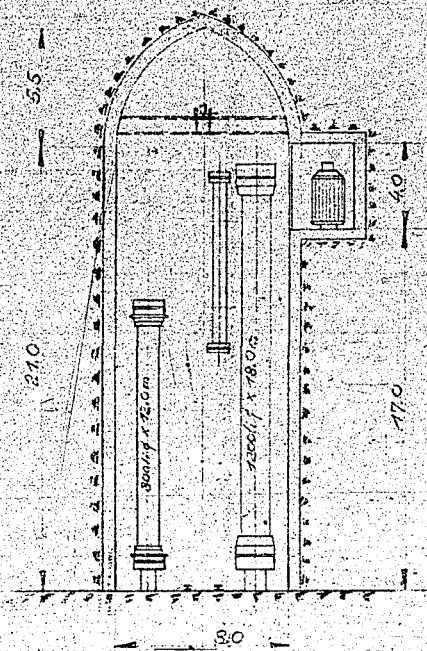
04838

Zugehörig

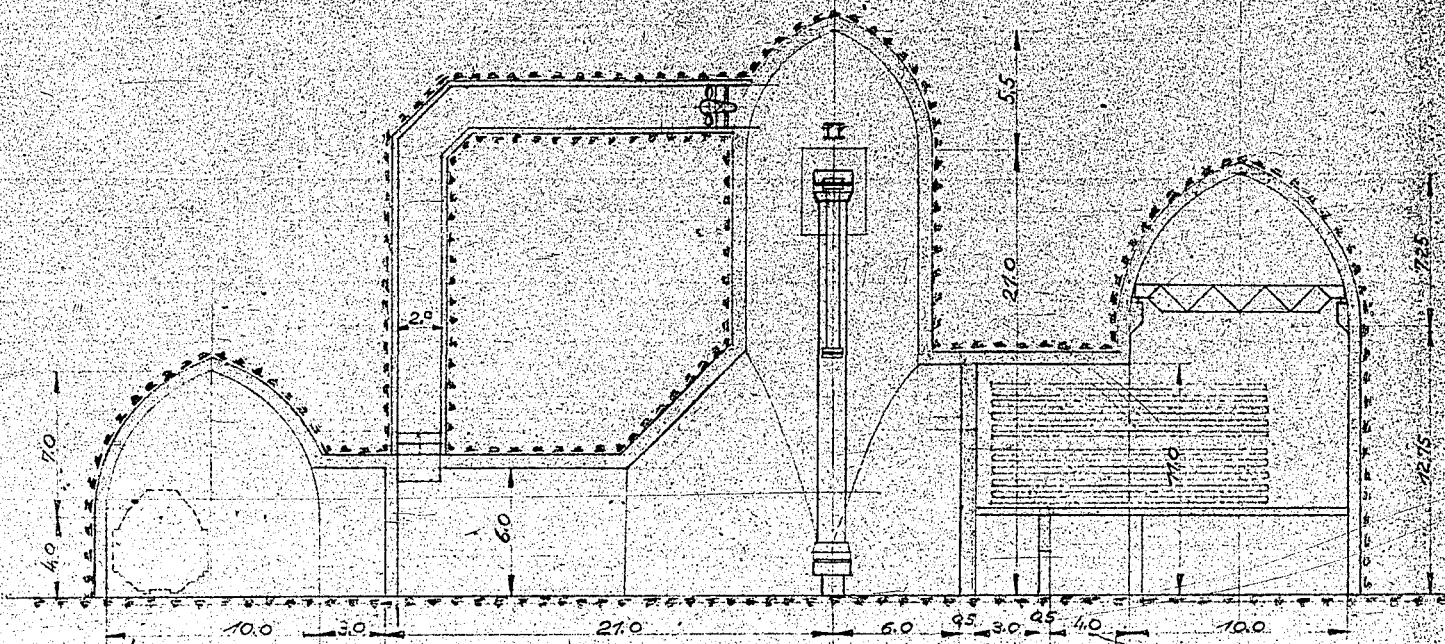
Betrieb: 04838

POOR COPY 14

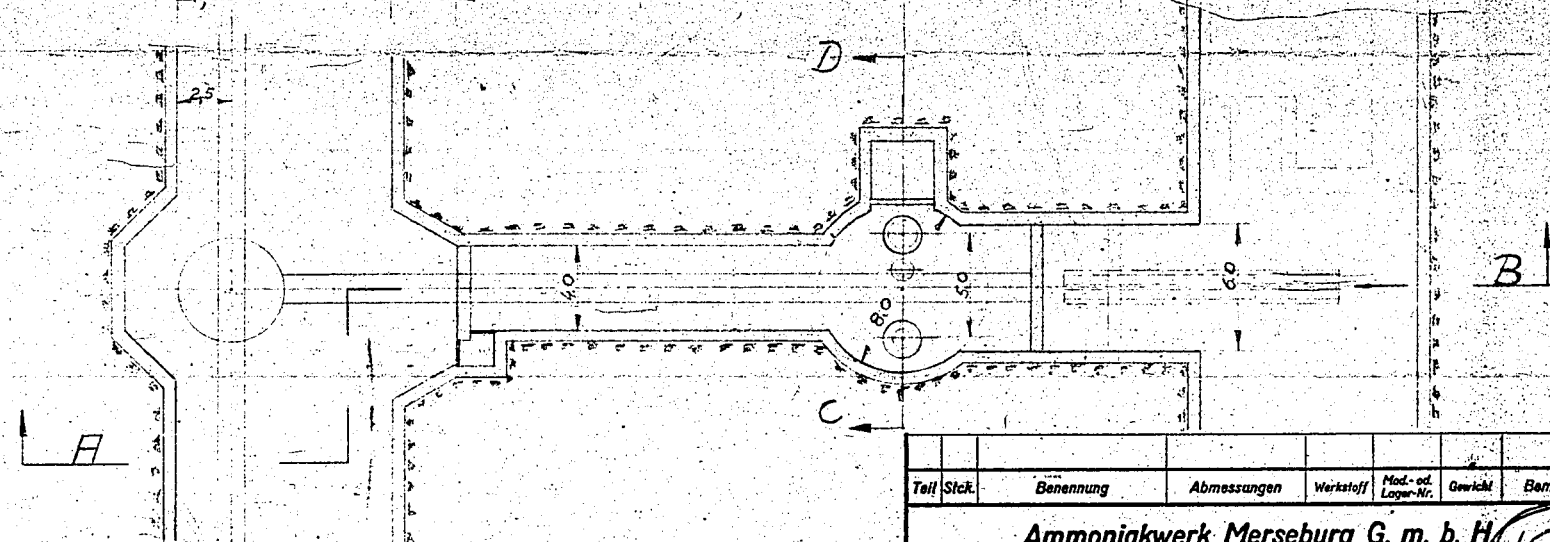
Schnitt: C+D



Schnitt: A+B



Grundfläche: ~ 135 m²
 Heissraumvolumen: ~ 2000 m³



Teil	Stück	Benennung	Abmessungen	Werkstoff	Mod- od. Lager-Nr.	Gewicht	Bemerkung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.							
Maschinentechnische Abteilung							
M 10236 - 4							
Maßstab:		Betriebsdruck:		at			
1:200		Probendruck:		at			
Datum:		Kontrolliert:		Kontr.:		Normgeprüft:	
23.11.44		H. H. H.		H. H. H.		H. H. H.	
Ersetzt für:				Ersetzt durch:			
<small>Das Urheberrecht an dieser Zeichnung verbleibt bei uns. Sie ist dem Empfänger nur zum persönlichen Gebrauch anvertraut. Ohne unsere Genehmigung darf sie nicht kopiert oder vervielfältigt, noch nicht an Dritte Personen, insbesondere Wettbewerber, mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden. Weiterverbreitung, Besetzung durch den Empfänger oder Dritte hat straf- und zivilrechtliche Folgen. Die Zeichnung ist eine im Falle der Weiterverbreitung sofort zurückzufordern.</small>							

Betrieb: 68870-1

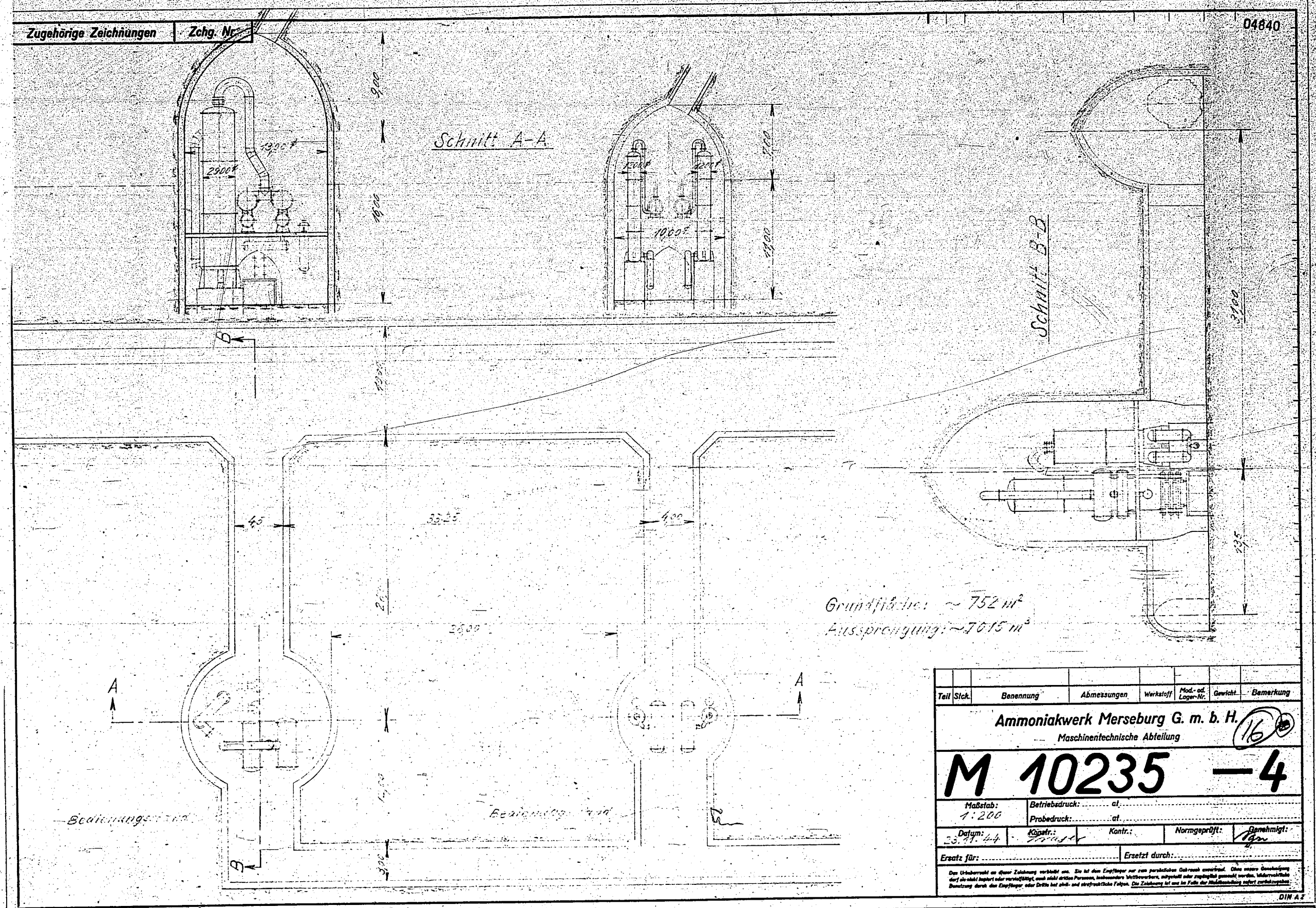
Ofenraum - Meth-Synthese (steh. Anordnung)

DIN A 2

Fachgruppe: Berganlage

Zugehörige Zeichnungen Zchg. Nr.

04840



Teil Stck.	Benennung	Abmessungen	Werkstoff	Mod.-od. Lager-Nr.	Gewicht	Bemerkung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.						
Maschinentechnische Abteilung						
M 10235 - 4						
Maßstab: 1:200		Betriebsdruck: at.				
Datum: 23.11.44		Probendruck: at.				
Gezeichnet: [Signature]		Kontr.: [Signature]		Normgeprüft: [Signature]		Genehmigt: [Signature]
Ersatz für:			Ersetzt durch:			
<small>Das Urheberrecht an dieser Zeichnung verbleibt uns. Sie ist dem Empfänger nur zum persönlichen Gebrauch gestattet. Ohne unsere Genehmigung darf sie nicht kopiert oder veröffentlicht, noch durch andere Personen, insbesondere in Überkopien, aufgestellt oder zugänglich gemacht werden. Unrechtmäßige Benutzung durch den Empfänger oder Dritte hat zivil- und strafrechtliche Folgen. Die Zeichnung ist und in Folge der Weiterentwicklung sofort zurückzugeben.</small>						

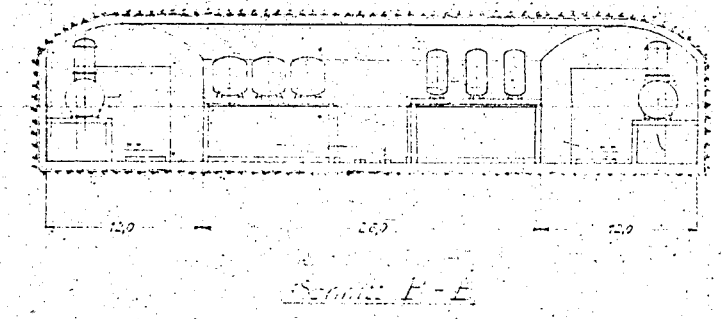
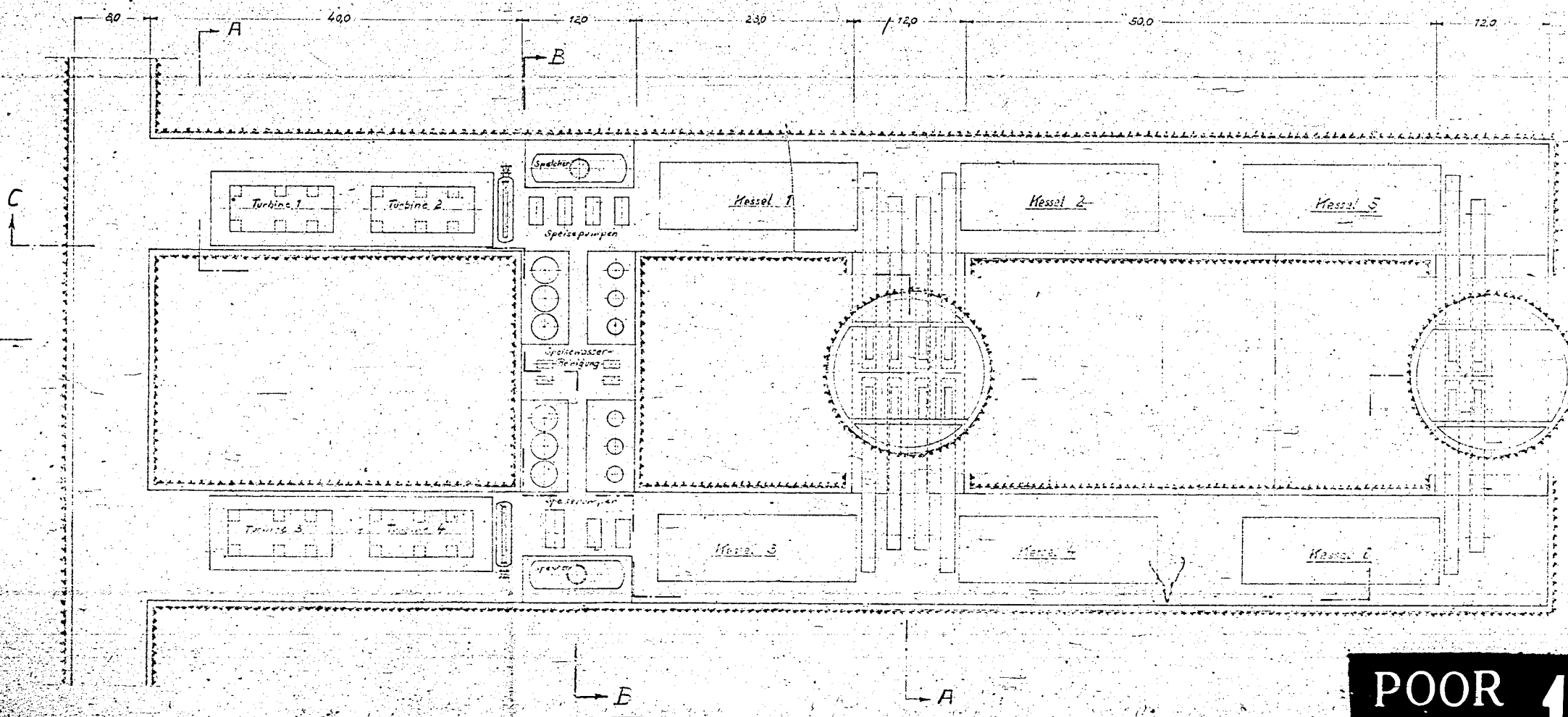
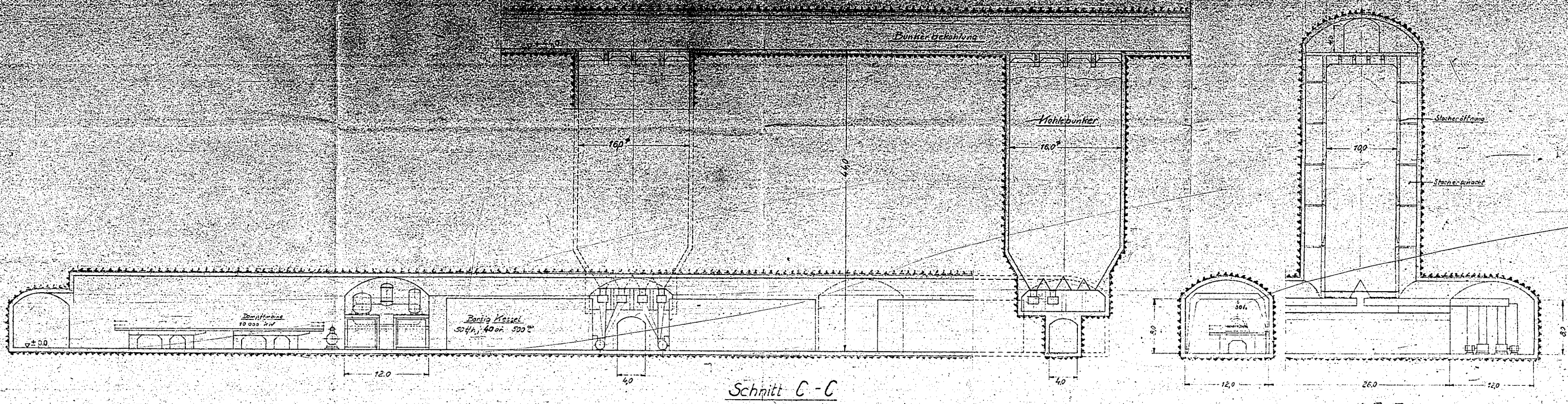
Betrieb: 14 Entwurf einer Isobutyl-Desoxykation 4. 200. a

DIN A 7
Fachgruppe 14
Bau-Nr. Berganlage

Zugehörige

Betrieb:

POOR COPY 16

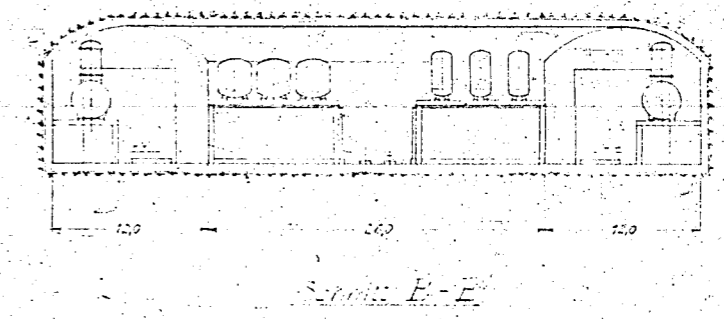
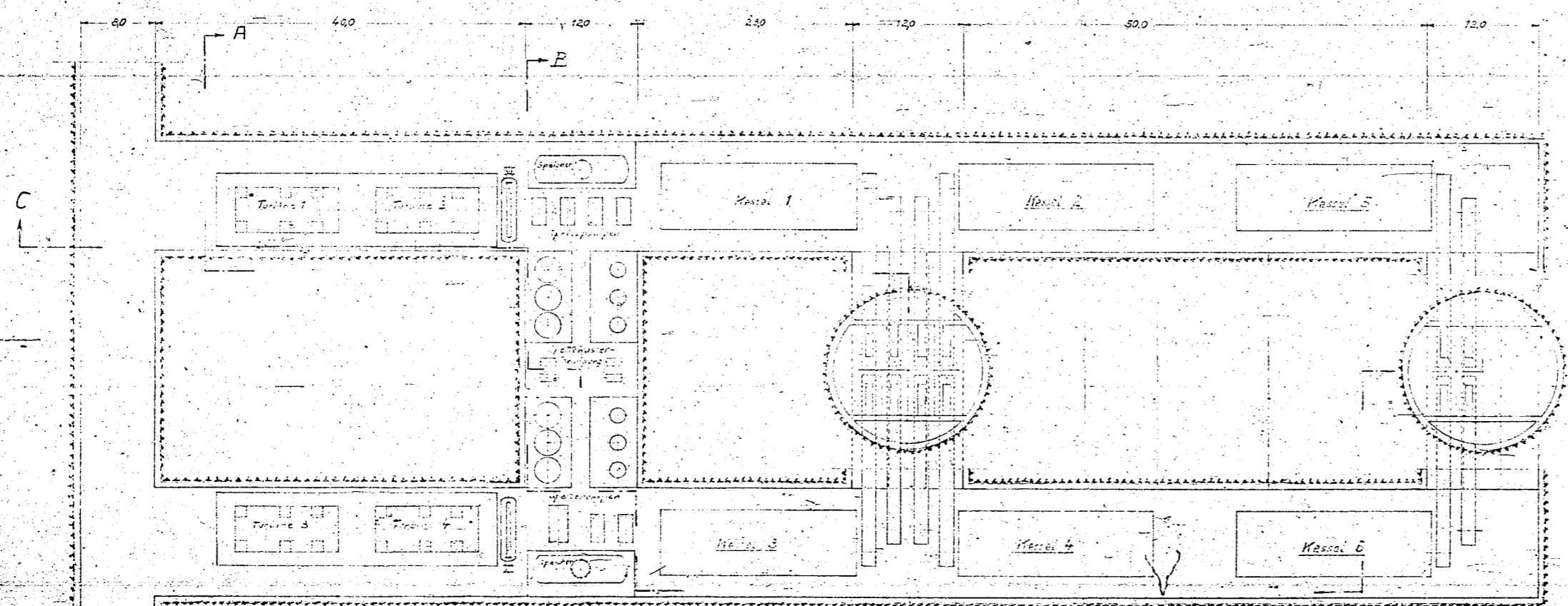
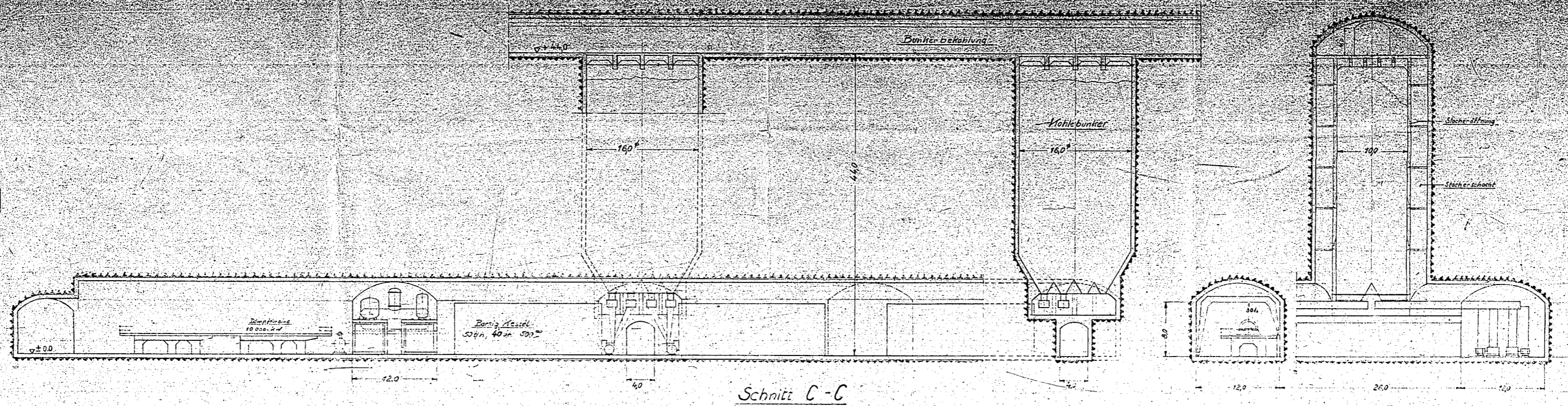


Gebäude Grundfläche: ~ 5000 m²
 Turbinenraum: ~ 67500 m³

18

Tafel	Bezeichnung	Abmessungen	Vermaß	Profil	Material	Reinigung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.						
Mechanische Abteilung						
M 6284 -1						
Profil	Bezeichnung	Abmessungen	Vermaß	Profil	Material	Reinigung
1:1						
Druck	Vermaß	Profil	Material	Reinigung		
Druck Nr. Ena 3930-1	Vermaß	Profil	Material	Reinigung		

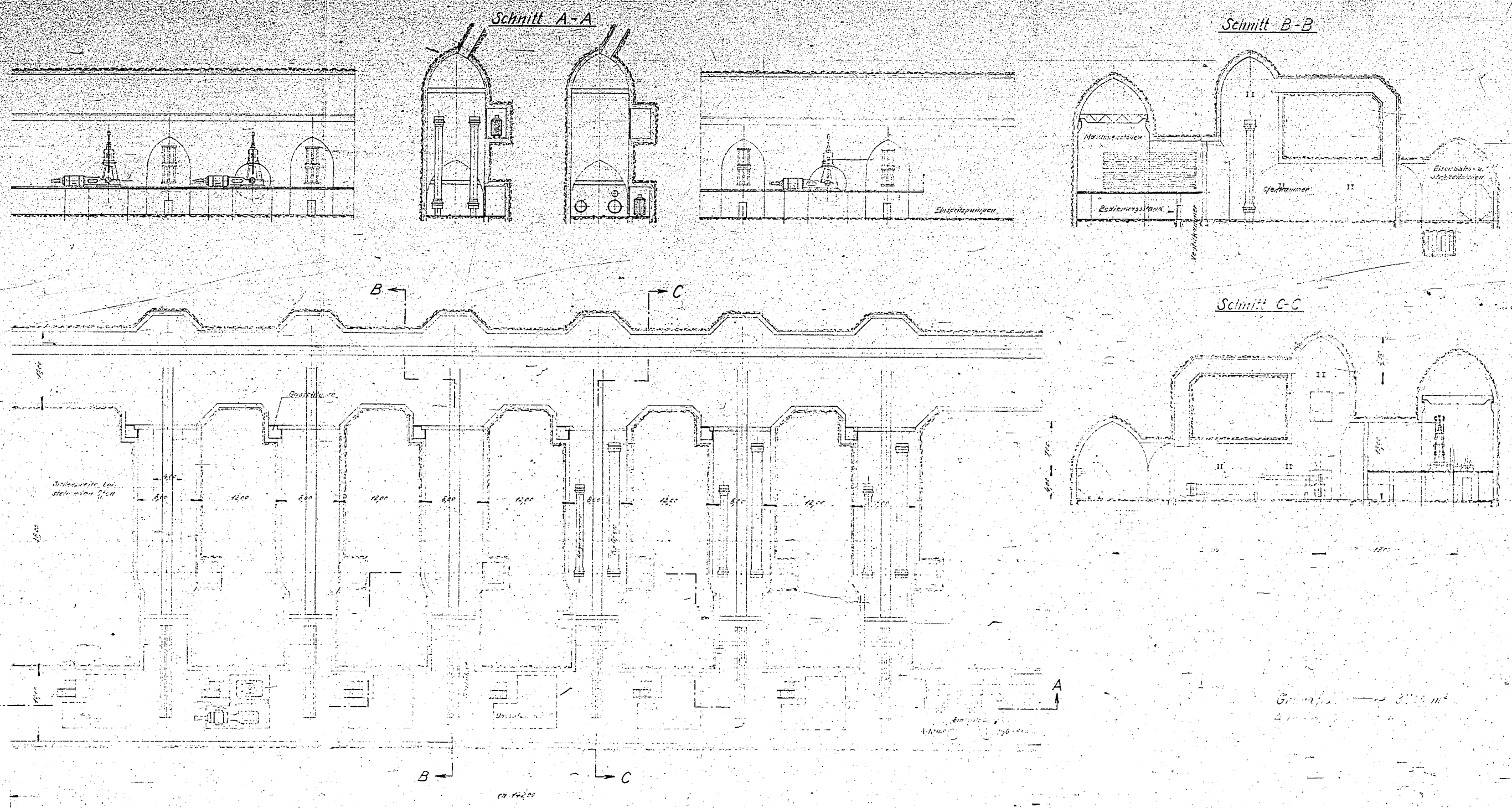
POOR 18



Bebaute Grundfläche ~ 5000 m²
 Ruhezprünster Raum ~ 67500 m³

18

Teil (Zahl)	Blatt	Abmessungen	Vermaß	Blatt	Blatt
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.					
Mechanische Abteilung					
M 6284 - 1					
Proj.:	1:200	Blatt:		Blatt:	
Verf.:		Blatt:		Blatt:	
Datum:	Ena 5930-1	Draht:		Draht:	

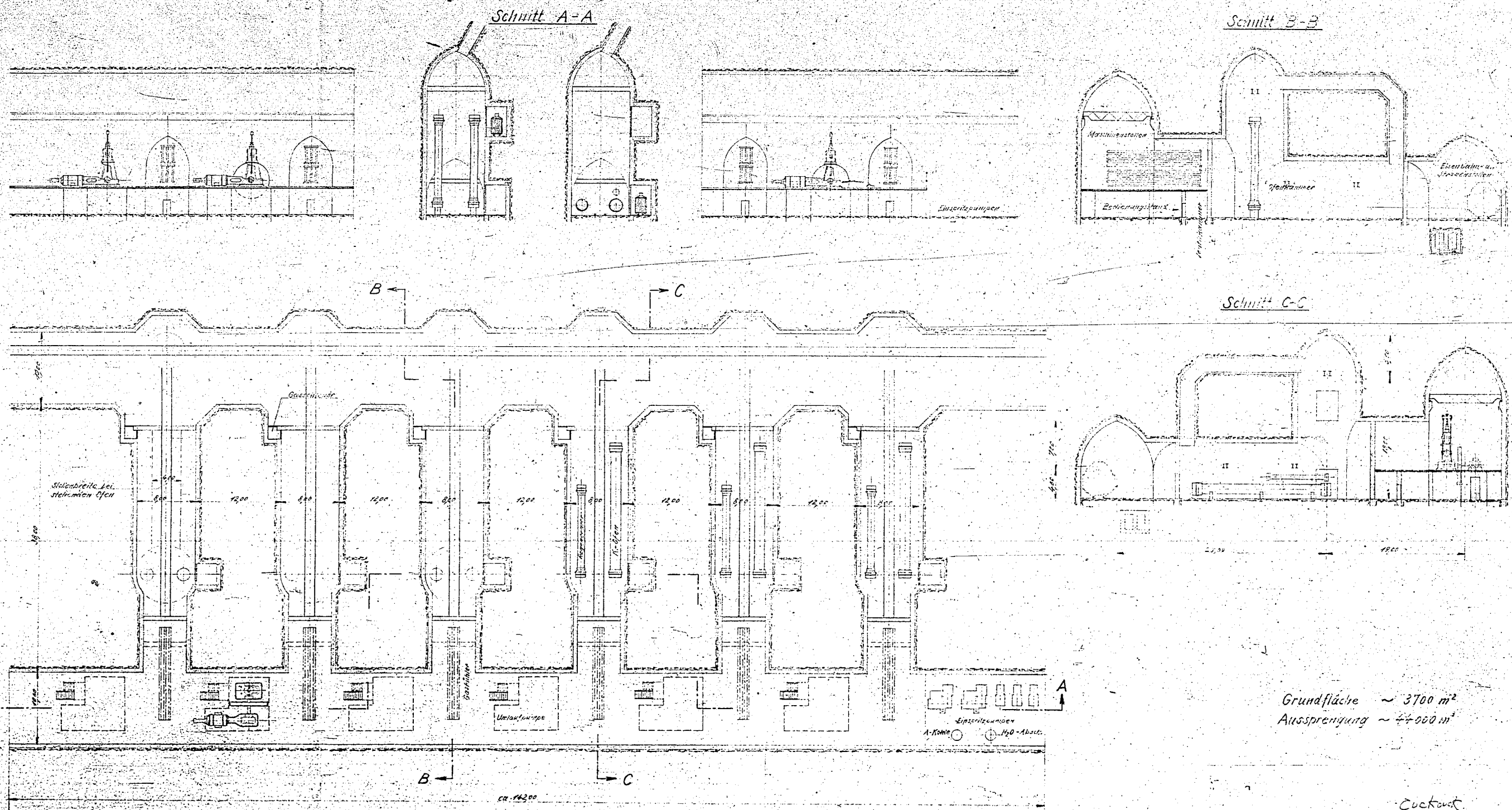


Grundfläche 3112 m²

19

Teil (Dtl.)	Benennung	Abmessungen	Verwandl.	Material	Ordnung
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.					
Mechanische Abteilung					
M 6283-1					
Projizent	Gezeichnet	von	Kontrolliert	von	Geprüft
Datum	Exemplar	Kennz.	Herstellung	Ort	Vermerk
Erstellt von:	Erstellt durch:				

POOR 19



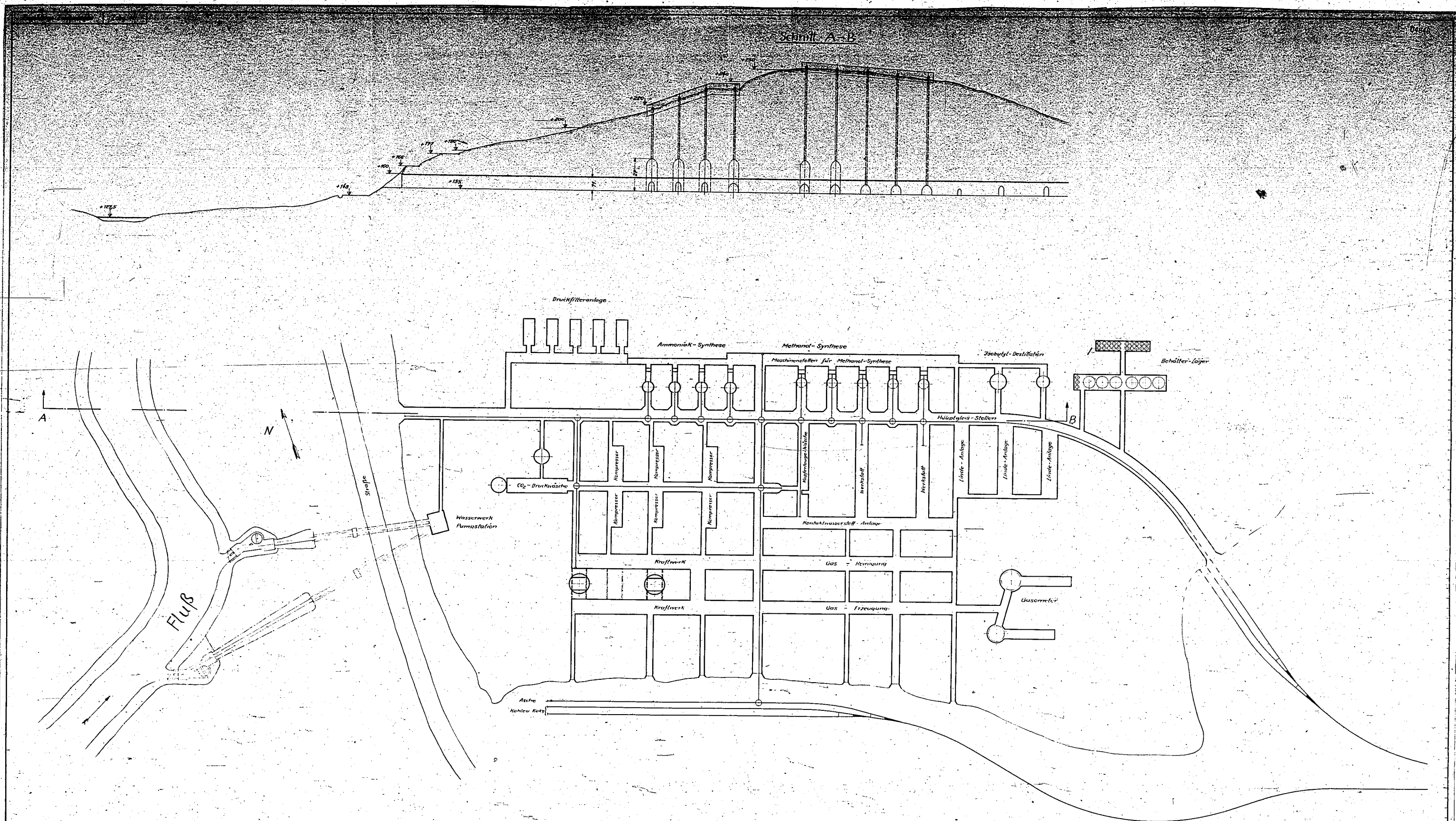
Grundfläche ~ 3700 m²
Aussprengung ~ 44000 m³

Cuckkast

19 3

Proj. Nr.	Blatt	Abmessen	Vermaß	Maßstab	Blatt	Blatt
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.						
Hessische Alkali						
M 6283-1						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 1:200 1:100 </div>						

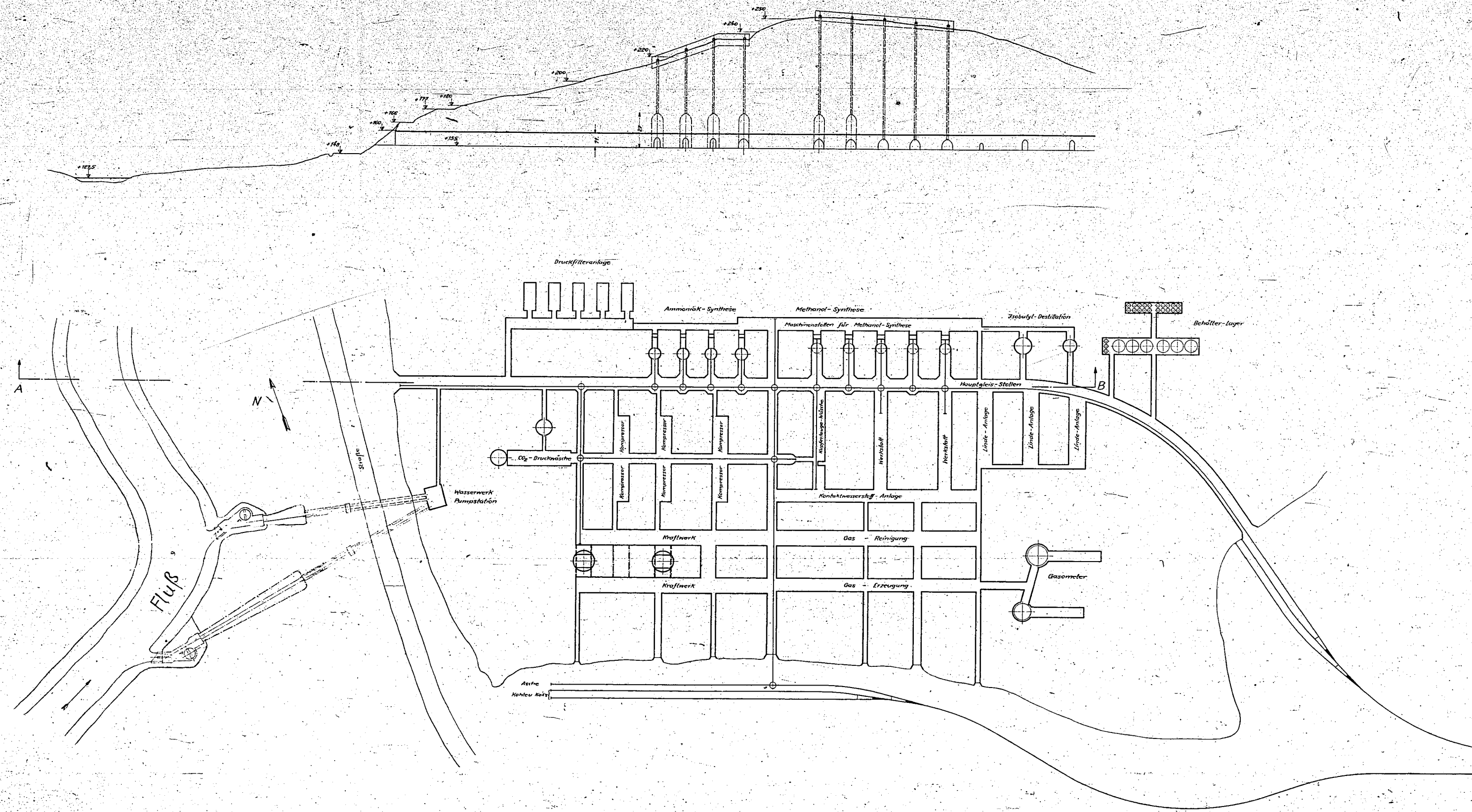
POOR 10



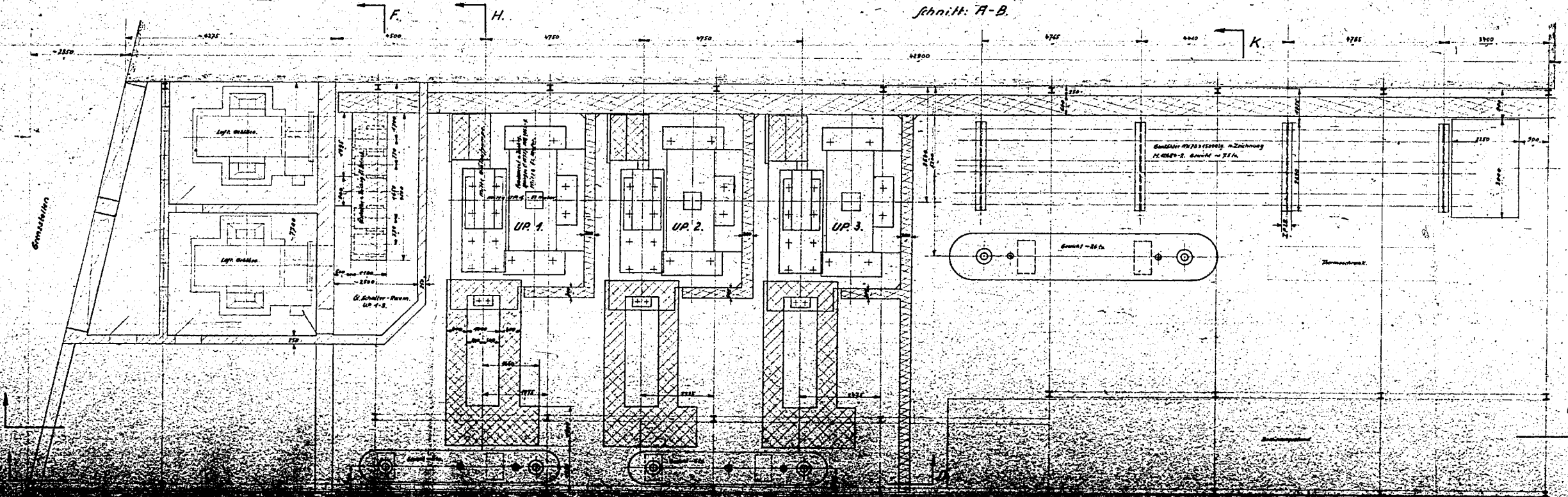
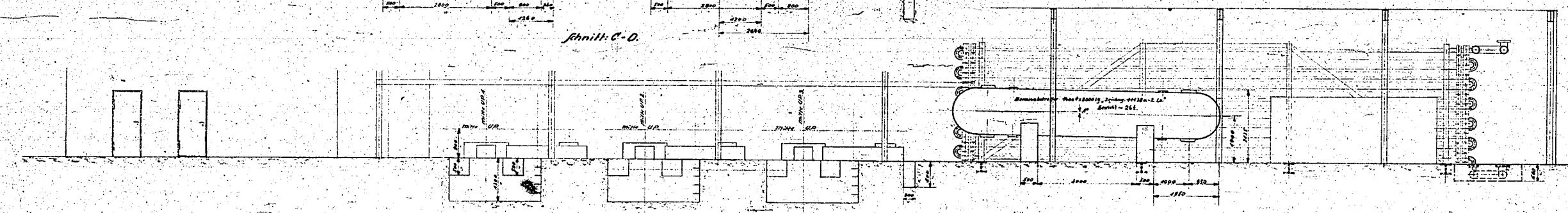
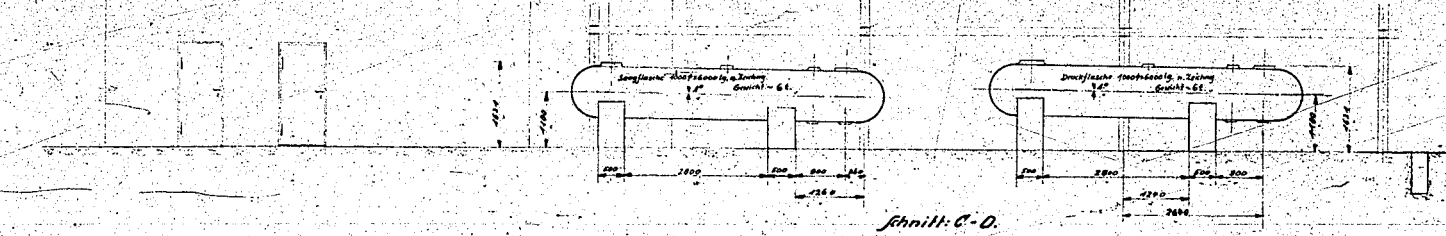
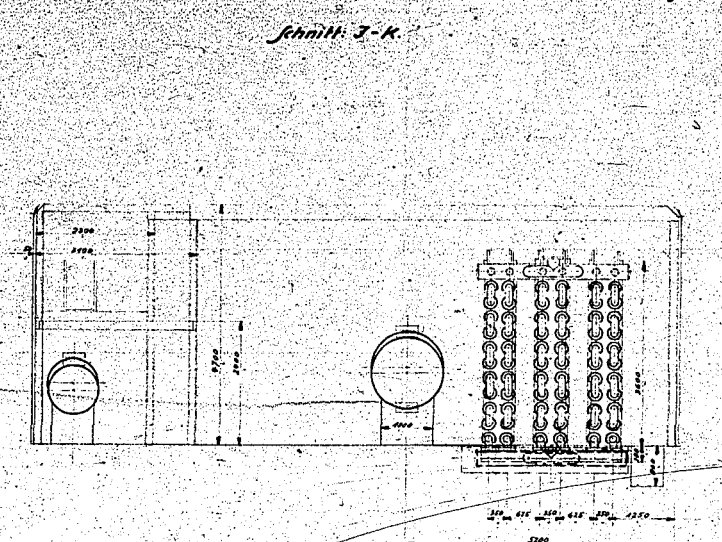
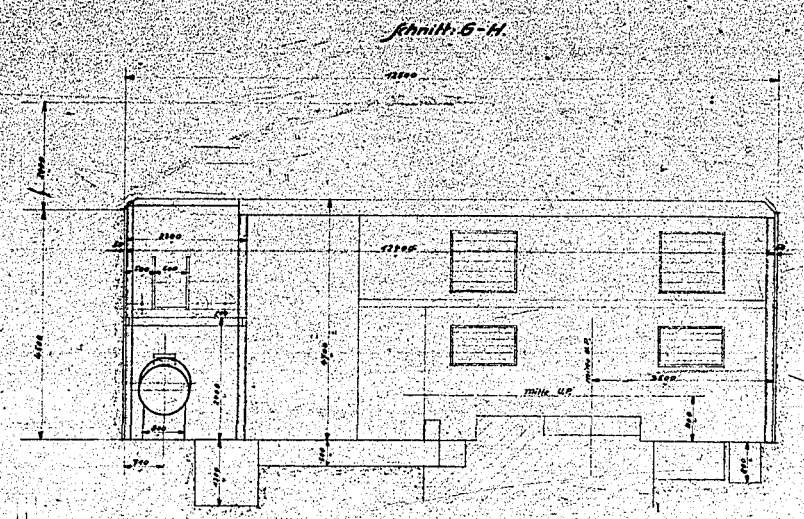
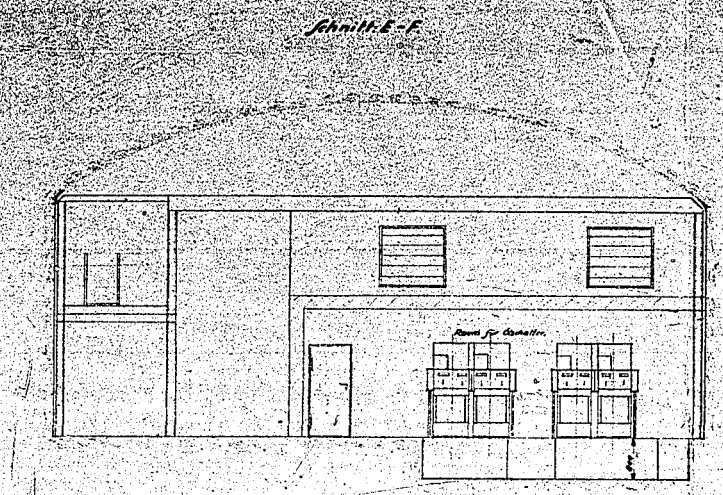
POOR 20

Teil	Bezeichnung	Abmessungen	Vertrag	Stand	Revisions
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H. Maschinenbauliche Abteilung					
M 5693 -1					
Verfasser:	Gezeichnet:	geprüft:	abgezeichnet:	gezeichnet:	gezeichnet:
7. 1900					
Blatt:	von:	von:	von:	von:	von:
1	1	1	1	1	1

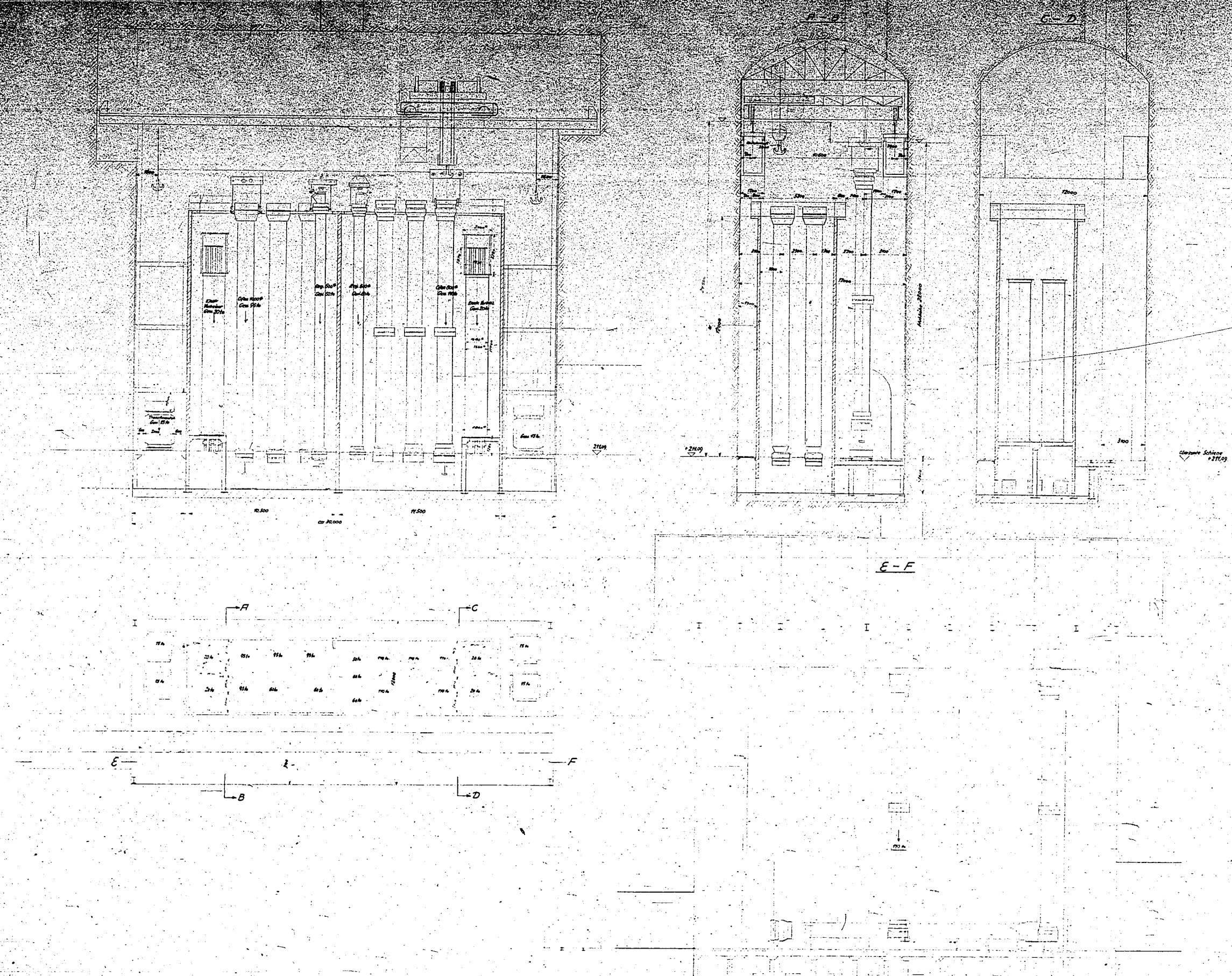
Schnitt A-B



Proj. Dir.	Entwurf	Abmessen	Verfert.	Prüf.	Zeichn.	Genehmig.
Ammoniakwerk Merseburg O. u. A. H.						
Technische Zeichnung						
M 5693						

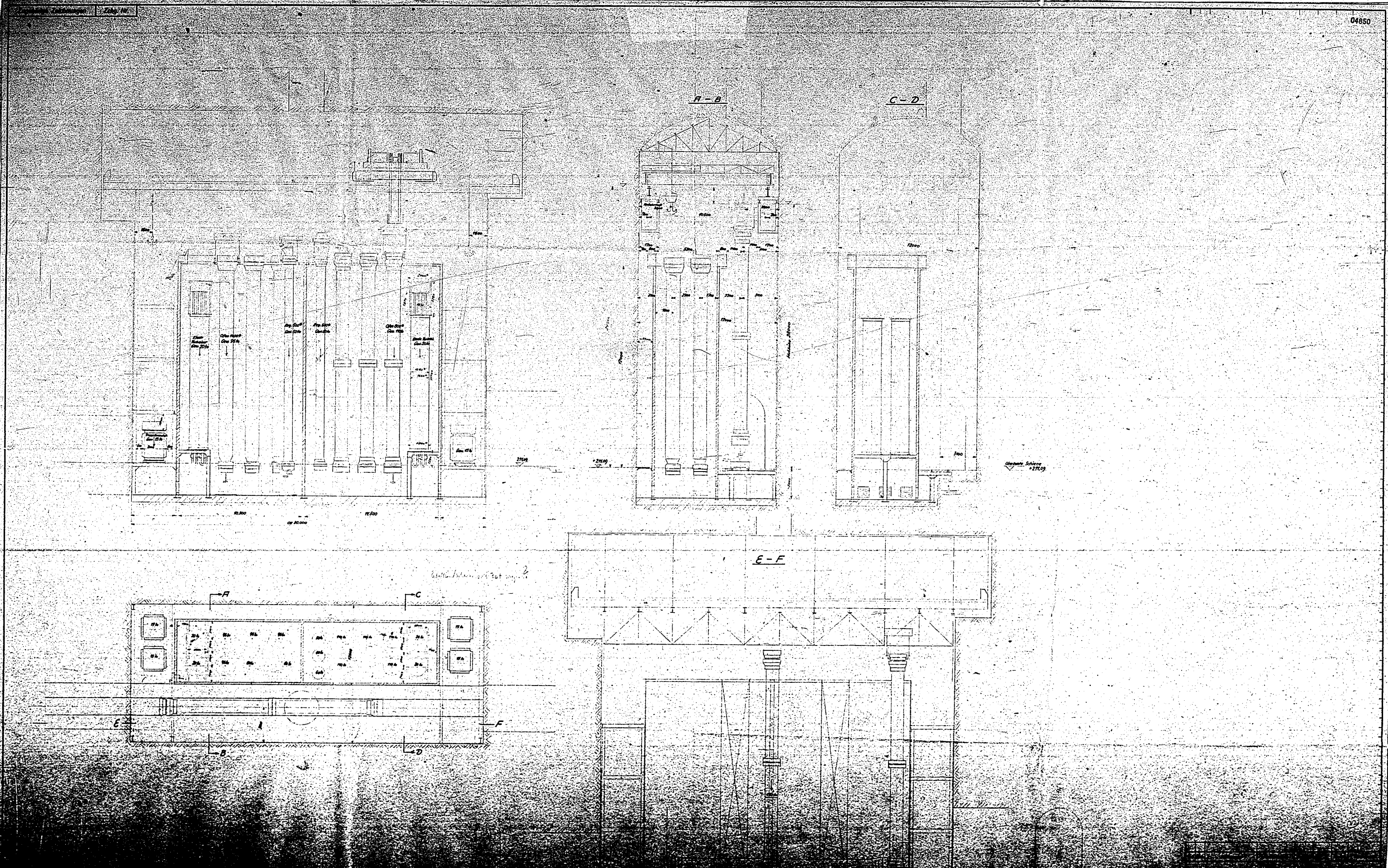


M. 5886



Tafel	Blatt	Abmessungen	Verfahren	Standort	Gezeichnet	Geprüft
Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H.						
Maschinenfabrik						
M 5685 -1						
Verfasser:	Gezeichnet:	Geprüft:	Gezeichnet:	Geprüft:	Gezeichnet:	Geprüft:
Ersatz für: ...						

POOR 22



04851-04890

Part 17

04851

IN ENVELOPE MARKED HYDRO PRINTS

1. Drawing # A958-4 Scale drawing Gasoline oven cooling gas baffles. Undated.
2. Scale drawing # 2341-1 Mineralöl Baugesellschaft. Isobutin Gas Phase Converter. 8 Dec. 1937.
3. Scale Drawing # 2988-2 Mineralöl Baugesellschaft. Cool gas inlet to converter and heat exchanger. 14 Jan. 1938.
4. Scale drawing # 2523-2 Mineralöl Baugesellschaft. Lower head to TTH converter. 12 Aug. 1937.
5. Scale drawing # 2713-2 Mineralöl Baugesellschaft. Electric Preheater. 22 Nov. 1937.
6. Scale drawing # FA 373 Siegener Maschinenbau Cooler between steps II and III 6 Sept. 1935.
7. Scale drawing # FA 374-2 Siegener Maschinenbau cooler between steps I and II. 26 Sept. 1935.
8. Scale drawing # FA 372-2. Siegener Maschinenbau Cooler between steps III and IV. 6 Sept. 1935.
9. Scale drawing # A857-8 Braunkohle Benzin - Globe return valve NW 30 with insert. 16 Jan. 1942.

04852

10.

11.

12.

13.

14.

15.

16.

17.

18.

19.

20.

04852

04852

-2-

10. Scale drawing # A847-8 Braunkohle Benzin Glöwe return valve - NW 30 13 Dec. 1941.
11. Scale drawing # A1494-2 Braunkohle Benzin Experimental Valve for HK. (mud free valve) 27 March, 1943.
12. Scale drawing # A1707-2 Braunkohle Benzin - Experimental quantity Measurer. 2 Mar. 1943.
13. Flow sheet # 1682c Coal stall # 4 with fittings and control equipment. 3 Feb. 1945.
14. Flow sheet Tar chamber # 2 Böhlen 14 April, 1939.
15. Flow sheet # 1669 Construction Office. Gas washing Gasoline chamber /stakk/.1 12 Feb. 1945.
16. Flow sheet # 10016 Construction Office Tar chamber /stall/3. 13 Feb. 1945.
17. Flow sheet # 1613b construction office Gasoline chamber /stall/ 12. 13 Feb. 1945.
18. Flow sheet # 1797a Construction Office Gasoline chamber /stall/ 10. 13 Feb. 1945.
19. Flow sheet # M 4336-2 TTH research with circulated contact /catalyst/ preheater 11 20 Dec. 1937.
20. Scale drawing # N4295d-1 I.G. Farben. Forging shell 1000 Min. ϕ 18 m long. 29 July, 1941.

04853

21.

22.

23.

24.

25.

26.

27.

28.

29.

30.

31.

INDEX 2

04853

04853

-3-

21. Scale drawing #2264-1 Mineralöl Baugesellschaft.
Assembly of Gas converter. 23 Sept. 1937.
22. Scale drawing # A 951-4 Braunkohle Benzin Cooling
gas fittings. 28 Nov. 1944.
23. Flow sheet # 1801a Gas preheater 23 Aug. 1941.
24. Scale drawing # 25a-4 Braunkohle Benzin Thermocouple
well tar converter. 7 Aug. 1943.
25. Scale drawing # 2512-1 Mineralöl Baugesellschaft.
Pipe lines for TTH converters. 10 Feb. 1938.
26. Flow sheet # N 7775-2 I.G. Farben. Slump phase
with gas preheater 10 Nov. 1939.
27. Scale drawing # 671-1 Braunkohle Benzin Assembly
of Tar Converter 1000 ϕ X 18 m. 5 Jan. 1936.
28. Scale drawing # 2287-1 Mineralöl Baugesellschaft.
Assembly 600 ϕ Converter. 5 Oct. 1937.
29. Scale drawing # N 4047 I-2 I.G. Farben cold separator
body. 8 Nov. 1937.
30. Scale drawing # N 4278c-2 I.G. Farben. Cold separator
assembly. 22 Apr. 1937.
31. Scale drawing # 3289-2 Mineralöl Baugesellschaft.
gas cooler. 7 Apr. 1938.

048

32.

33.

34.

35.

36.

INDEX 3

IN