

2

AMMONIAKLABORATORIUM OPPAU

Labor-Bericht Nr. 1662
vom 27. Juli 1941

Sachen Dr. Loukassen } z. Verbleib
Dr. Weigler }

Dr. Sachsse

Entfernung von Ruß und Staub aus Gasen mit dem Oppauer
Schachtfilter.

An Ammoniaklaboratorium Op.

Den Empfang des Laborberichtes No.1662 zum
Verbleib bestätigt

Datum:

Unterschrift:

gez. G. Wietzel

Entfernung von Ruß und Staub aus Gasen mit dem Oppauer Schachtfilter.Übersicht.

Im Zusammenhang mit dem Verfahren zur Gewinnung von Acetylen aus Kohlenwasserstoffen durch unvollständige Verbrennung mit Sauerstoff in einer Flamme trat das Problem auf, das anfallende Spaltgas vom Ruß zu befreien. Die in Frage kommenden Rußgehalte liegen zwischen 100 und 500 mg/m³. Es war weiterhin erforderlich, die Reinigung in der Wärme vorzunehmen, etwa beim Taupunkt des Gases in der Nähe von 80°, damit der im Gas vorhandene Dampf erhalten bleibt und bei der weiteren Verarbeitung des Gases, z.B. bei der Umsetzung des Acetylen zu Aceton zur Verfügung steht.

Die Aufgabe wurde gelöst durch eine Anordnung, in der das zu reinigende Gas durch einen mit körnigem Schüttgut (Koks oder Bimsstein) gefüllten Schacht strömt. Das Schüttgut belädt sich langsam mit Ruß, es wird kontinuierlich am unteren Ende des Schachtes ausgeschleust, gewaschen und oben wieder zugegeben. Diese Anordnung wurde in einer Reihe von Versuchen verschiedenen Größenmaßstabes ausprobiert und hat sich bis jetzt gut bewährt. Sie konnte auch in einem anderen Fall, nämlich bei der Gewinnung von Synthesegas aus Kokereigas mit Sauerstoff im Schachtofen über Nickelkontakten zur Reinigung des Spaltgases mit Erfolg angewendet werden. Da die Vorversuche einen vorläufigen Abschluß erfahren haben und da das Schachtfilter an verschiedenen Stellen projektiert bzw. erstellt wird, soll im Folgenden über die Versuche zusammenfassend berichtet werden.

Die Konstruktion und die technische Ausführung der Filter lag in Händen von Herrn Dipl.-Ing. Altstaedt. An den Versuchen sind beteiligt die Herren Dr. Bartholomé und Dr. Moritz. Herrn Oberingenieur Lampe und seinen Mitarbeitern danken wir für technische Beratung in Einzelfragen und für fördernde Diskussion.

Inhalt.

1.) Übersicht.	Seite 1
2.) Bekannte Reinigungsmethoden.	" 3
a) Wasserwäsche, Theisen-Wäscher.	" 3
b) Wollfilter.	" 4
c) Elektrische Reinigung, Lurgi-Verfahren.	" 4
d) Staubkästen, Belastungszahlen für Schüttgutbehälter.	" 4-5
3.) Entwicklung und Ergebnisse des Oppauer Schachtfilters.	" 5
a) Versuche im Maßstab $14 \text{ m}^3/\text{h}$.	" 5-6
b) " " " $300 \text{ m}^3/\text{h}$.	" 6-9
c) " " " $11000 \text{ m}^3/\text{h}$.	" 9-11
d) Wäsche und Forderung des Schüttgutes.	" 11-12
e) Versuche zur Entfernung von Ruß aus Wasser.	" 13-14
4.) Ausgeführte und in der Ausführung begriffene Anlagen.	" 15
a) Schachtfilter Op. 64 ^B .	" 15
b) Saargasspaltanlage N Op. 631	" 15
c) Anlage Linz.	" 16
d) Anlage Waldenburg.	" 16
e) Anlage Heydebreck.	" 16-17
5.) Anwendungsbereich des Schachtfilters.	" 17-18
Zusammenfassung.	" 18

2.) Bekannte Reinigungsmethoden.

Es wurden zunächst Versuche angestellt, aus den bei uns vorliegenden Gasen den Ruß nach bekannten Methoden zu entfernen. Wenn diese Versuche auch nicht zur Lösung des Problems führten, so sollen die Resultate im Folgenden doch kurz erwähnt werden. Die Versuche wurden angestellt:

- 1.) mit dem Spaltgas der Acetylenbrenner, und
- 2.) mit einem Spaltgas, das man erhält, wenn man kohlenwasserstoffhaltige Gase mit Luft und Sauerstoff der unvollständigen Verbrennung unterwirft und unmittelbar anschließend über einen Nickelkontakt bei etwa 1000° leitet, so daß man ein kohlenwasserstofffreies Gasgemisch erhält, das für Synthesezwecke dient.

Bei beiden Gasen lag der Rußgehalt zwischen 100 und 500 mg/m^3 . Der Ruß des Acetylen-spaltgases enthält jedoch mehr Emphyreuma und ist schlechter zu benetzen, entsprechend der schnelleren Abschreckung des Gases, während der im Synthesegas vorhandene mehr graphitische Natur zeigt. Die Entfernung war jedoch in beiden Fällen gleich schwierig.

a) Wasserwäsche, Theisen-Wäscher.

Durch Wasserwäsche gelang es, gröbere Rußmengen abzuscheiden. Es war jedoch nicht möglich, größere Reinheitsgrade als etwa 100 mg/m^3 zu erzielen. Die Reinigung geht mit heißem Wasser besser als wie mit kaltem Wasser. Der Reinigungseffekt ist am besten, wenn das Waschwasser im Gas fein verteilt wird, z.B. durch Einspritzen mit Schlick-Düsen, und wenn das Gas dabei gleichzeitig abgekühlt wird, so daß im Gas vorhandener Wasserdampf kondensiert. Bei hohen Rußgehalten ist daher eine Heißwasserwäsche als Vorreinigung durchaus zweckmäßig. Zum Zweck der Feinreinigung wurde eine Intensivwasserwäsche mit Theisen-Wäscher probiert. Angewendet wurden zwei hintereinander geschaltete Theisen-Wäscher mit verstärkten Stabreihen, der Durchsatz betrug etwa $80 \text{ m}^3 \text{ Gas/h}$. Gearbeitet wurde mit heißem Wasser beim Taupunkt des Gases. Der Rußgehalt hinter den ersten Wäscher war 50 - 70 mg, hinter dem zweiten Wäscher 10 - 20 mg. Auch ein Zusatz von Nekal zum Zwecke besserer Benetzung verbesserte den Reinigungseffekt nicht. Dieser Wirkungsgrad ist unzureichend, abgesehen davon ist der hohe Kraftbedarf wirtschaftlich ungünstig.

b) Wollfilter.

In einen kleinen Versuchsfilter wurde ein Wollschlauch von 15 cm Durchmesser und 2,50 m Länge mit Acetylen-Spaltgas bei einem Durchsatz von etwa $15 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer Temperatur zwischen 95 und 105° gefahren. Der Taupunkt des Gases lag bei 23° . Der Reinigungseffekt war sehr gut (Ruß weniger als 1 mg im Endgas), die Lebensdauer des Schlauches war jedoch nur 8 - 14 Tage. Während wir die Versuche ausführten, wurde von Dr. P. Baumann und Mitarbeitern, Acetylenfabrik, Morseburg, festgestellt, daß insbesondere der hohe Wasserdampfgehalt des Gases die Wolle hydrolysiert, so daß wir die Versuche abgebrochen haben, da es aussichtslos erscheint, wasserdampfhaltiges Gas mit Schlauchfilter zu reinigen. Es hat sich jedoch später gezeigt, daß auch bei wasserdampffreiem gekühltem Gas bezüglich der Anlagekosten und des Platzbedarfes die Wollfilter-Reinigung Nachteile gegenüber dem von uns unten beschriebenen Schachtfilter-Verfahren hat.

c) Elektrische Reinigung, Lurgi-Verfahren.

Die Frage der elektrischen Gasreinigung haben wir mit den Herren der Lurgi-Apparate-Baugesellschaft in Frankfurt a.M. besprochen und uns einen Vorschlag machen lassen für die Reinigung von 4700 m^3 Gas + Dampf. Nach Meinung der Lurgi ist es zweckmäßig, das Filter beim Taupunkt des Gases zu betreiben und durch Einspritzen von kaltem Wasser gleichzeitig einen Teil des Dampfes (je mehr umso besser) zu kondensieren. Davon abgesehen muß von Zeit zu Zeit das Filter abgeschaltet und mit Wasser saubergespült werden. Bezüglich der Durchführbarkeit war die Lurgi ihrer Sache keineswegs sicher und hielt Versuche im großtechnischen Maßstab für erforderlich. Wegen der Höhe der Anlagekosten 35 - 40 000 RM. für die vorgesehene Größe und der Unsicherheit der Arbeitsweise wurde auf die weitere Verfolgung dieses Weges verzichtet.

d) Staubkästen, Belastungszahlen für Schüttgutbehälter.

Eine Gasreinigung an Schüttgut wird in Oppau bereits mit den sogenannten Staubkästen vor der F-Kohle-Entschwefelung durchgeführt. Die Belastungszahlen hierfür und vergleichsweise für andere mit Schüttgut gefüllte Behälter sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Generell ist die Abscheidung von Ruß und Staub an Schüttgut umso besser, je feiner die Korngröße und je kleiner die Gasgeschwindigkeit ist. Für den bei uns vorliegenden Fall kommen die Staubkästen nicht in Betracht, weil sie zu empfindlich gegen Verstopfung sind. Der Gehalt

des Eingangsgases soll 5 -- 10 mg nicht überschreiten. Unter diesen Bedingungen halten die Staubkästen etwa 1 Jahr, sie müssen dann ausgeschaufelt und neu gepackt werden.

Tabelle 1 :

	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$ Gas kalt	$\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$ eff.	cm/sec eff.	Schicht- höhe m	Kör- nung mm	$\frac{\text{mm}}{\text{V.S.}}$
Kontaktwasser- stoff	870	4500	125	3	3/10	400-800
K.W.-Konver- tierung im Schachtofen mit O_2	1100	8450	235	4	20/30	1000
Dasselbe mit Luft O_2	1520	10000	280	4	20/30	1000
F-Kohle	360-600	400-700	11-20	1,20	1/2, 2/4	90-300
Raseneisenerz- Entschweflung	20	20	0,5-0,6	0,40		30
Staubkästen	45	45	1,25	0,10	1/2	10-20
Oppauer Schacht- filter	800	930	26	4	2/8	200-300

3.) Entwicklung und Ergebnisse des Oppauer Schachtfilters.

Der Entwicklung des Schachtfilters lag der Gedanke zugrunde, die Reinigungswirkung der Staubkästen zu verwenden, dabei jedoch das Schüttgut kontinuierlich auszutragen und seinerseits von Ruß zu befreien. Um diesen Gedanken ausführen zu können, mußte die Querschnittsbelastung etwa verzwanzigfach und gleichzeitig mit größerem Korn und größerer Schichthöhe gearbeitet werden. Die Belastungszahlen sind in der letzten Zeile der Tabelle 1 mit ausgeführt. Man sieht, daß sie immer noch merklich unter der Belastung von Kontaktöfen liegen. Nur die F-Kohle-Absorber haben eine ähnliche Belastungsgröße, jedoch eine wesentlich geringere Schichthöhe.

a) Versuche im Maßstab $14 \text{ m}^3/\text{h}$. Die ersten Versuche wurden mit 20 m^3 Acetylenpaltgas/h in der in Bild 1 wiedergegebenen Anordnung ausgeführt. Das Filter hatte $250 \text{ mm } \phi$ und 3 m Schichthöhe. Am Gaseintritt

rutschte das Schüttgut durch einen mit 2 mm breiten Schlitz versehenen Trichter in die Förderschnecke, mit deren Hilfe es herausgeschleust werden konnte. In Abständen von 50 zu 50 cm waren Stutzen zur Druckmessung angebracht. Tabelle 2 zeigt die ersten Ergebnisse bei Bimsstein verschiedener Körnung.

Tabelle 2.

Bimsstein-Körnung	Belastung	mg Ruß/m ³ in Endgas
12/15	780 m ³ /m ²	36
10/12	780 "	17
6/8	780 "	20
3/6	375 "	4

Der Wert bei 6/8 Körnung ist besonders schlecht, da bei diesen Bedingungen der Abfluß von kondensierendem Wasser Druckschwankungen zur Folge hatte. Daraufhin wurde der Durchsatz beim letzten Versuch kleiner gewählt. Die zu diesem Versuch gehörende Differenzdruckkurve ist in Bild 2 wiedergegeben. Einen nennenswerten Anstieg zeigt nur der unterste Differenzdruck D_1 , während die übrigen während der Versuchsdauer nahezu konstant blieben. Es wurde nun mit diesem Apparat ein Dauer-versuch gefahren, bei dem in 418 Betriebsstunden 5700 m³ Gas durchgesetzt wurden und 130 Itr. Bimsstein, d. s. 23 Itr./1000 m³ Gas ausgeschleust wurden. Das Eingangsgas enthielt etwa 180 mg Ruß, die bei einigen Betriebsschwankungen auf 400 - 500 mg anstieg. Das Ausschleusen des Bimssteins geschah derart, daß der Gesamtwiderstand des Schachtes bei 200 mm WS gehalten wurde. Der Reinigungsgrad war 4 mg/m³, die Belastung betrug 260 m³ Gas/m² gleich 375 m³ Gas + Dampf/m², entsprechend einer Sättigung bei 70°.

b) Versuche im Maßstab 300 m³/h :

Es wurde nunmehr ein Schachtfilter mit 0,40 m² Schachtquerschnitt aufgestellt, Bild 3. Dieses Filter war mit einem Schüttelrost (Bild 3a) versehen, der bewirkt, daß das Schüttgut gleichmäßig über den ganzen Querschnitt des Schachtes absinkt und entgegen dem Gasstrom ausgetragen wird.

Die Betriebsversuche wurden allesamt mit rußhaltigem, kohlenwasserstoff-freiem Synthesegas ausgeführt. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die erhaltenen Resultate.

Tabelle 3

Betriebsversuche mit $0,48 \text{ m}^2$ Filter.

Versuch Nr.	3	4	5	6	7	8
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	70	70	30	70	70	70
m^3 Gas/h	250	255	240	215	220	215
m^3 Gas + Dampf/h	350	360	250	300	310	310
m^3 Gas + Dampf/ m^2	730	750	520	625	650	650
Rußgehalt, Eingang mg/m^3	10-200	10-300	300	500-3500	500	170 - 350
Rußgehalt, Ausgang	3-6	4-12	3-6	5-18	2-5	1,2 - 2
Versuchsdauer in h	192	240	290	154	120	144
Schüttgutsorte	Bims	Bims	Bims	Koks	Koks	Koks
Körnung	3/6	3/6	3/6	2/8	2/2	2/3
Gesamtschüttgutverbrauch	800	1470	1550	3495	1070	990
Liter Schüttgut 1000 m^3 Gas	17	24	21	106	40	32

Das Filter war insgesamt $1 \frac{3}{4}$ Jahre unter den verschiedensten Bedingungen in Betrieb. Für die Tabelle wurden einzelne Betriebsabschnitte herausgegriffen. Aus der Tabelle ergeben sich folgende Tatsachen:

1.) Die Filterwirkung von Bims $3/6$ mm ist schlechter als die von Koks $2/8$ mm. Der von uns verwendete Koks war Flugkoks der Gasfabrik Oppau. Es ist wesentlich, daß die Fraktion $2/8$ mm einen genügenden Anteil an feinem Material ($2/5$ mm) enthält.

2.) Das Endgas ist ceteris paribus umso reiner, je weniger Ruß das Ausgangsgas enthält. Um diese Verhältnisse besonders zu prüfen, wurde in Versuch 6 mit einem extrem hohen Rußgehalt im Eingangsgas gefahren. Unter diesen Bedingungen war das Filter an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit, so daß es zweckmäßig erscheint, bei solch hohen Rußgehalten die Hauptmenge des Rußes durch eine Vorreinigung zu entfernen.

3.) Der Schüttgutverbrauch pro 1000 m^3 Gas ist umso größer, je feiner das Schüttgut ist (vgl. Vers. 3, 4, und 5 einerseits und 7 und 8 ande-

-erseits) und er ist ferner umso größer, je höher der Rußgehalt im Eingangsgas ist. Vgl. die Versuche 6, 7 und 8 miteinander. Bei allen Versuchen wurde dabei derart gefahren, daß der Widerstand des Schachtes im Betriebszustand etwa das $2\frac{1}{2}$ -fache des Widerstandes betrug, den der mit Schüttgut gefüllte Schacht ohne Ruß bei der gleichen Gasmenge hat. Der Widerstand im Betrieb betrug etwa 300 mm und der sogenannte „Leerwiderstand“ beim Anfahren war 120 mm. Das Austragen des Schüttgutes wurde so geregelt, daß ein Widerstand von 300 mm erhalten blieb.

Wir haben bei einer Reihe von Versuchen festgestellt, daß ein Rußgehalt des Gases von 5 mg/m^3 für die weitere Verarbeitung nicht mehr störend ist, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Angaben in mg immer auf Nm^3 Trockengas bezogen sind, so daß der Gehalt im Effektiv- m^3 in der Regel wesentlich geringer ist. Um die Frage, welche Rußmengen im gereinigten Gas tragbar sind, noch genauer zu prüfen, haben wir das Gas nach der Reinigung durch einen CO-Konverter (Braunoxyd-Kontaktoven) geleitet und den Widerstand und den Umsetzungsgrad bei der CO-Konvertierung bestimmt. Fig. 4 gibt die Kurven für den sich über 3 Monate erstreckenden Versuch. Da diese Versuche im Zusammenhang mit anderen Untersuchungen im Versuchsbetrieb durchgeführt wurden, war ein gleichmäßiges Fahren unmöglich. Es mußte verschiedentlich abgestellt werden, oder es wurden die Bedingungen bei der Synthesegaserzeugung variiert. In Bild 4 ist ausschließlich die wirkliche Betriebszeit des Ofens eingetragen, während die Zeit des Stillstandes fortgelassen ist. Man sieht zunächst einmal, daß das Schachtfilter mit Koks Körnung $2/8 \text{ mm}$ besser arbeitet als mit Bimskörnung $3/6 \text{ mm}$. Namentlich bei Bimsfüllung treten bisweilen starke Schwankungen im Reinigungseffekt auf, die z.T. jedoch ihren Grund auch in Bedienungsfehlern haben. Trotz dieser Störungen, die bei einem glatten Arbeiten unter allen Umständen zu vermeiden sind, zeigt der CO-Konverter während seiner ganzen Betriebszeit keinen Druckanstieg. Es liegen zwar gewisse Andeutungen für eine Erhöhung des Widerstandes bei hohem Rußgehalt vor, es stellt sich jedoch im Lauf der Zeit der normale Widerstand her, so daß der Kontakt anscheinend wieder freigeblasen wird. Es ist jedoch nicht gelungen, hinter dem CO-Konverter noch nennenswerte Mengen Ruß festzustellen. Der CO-Konverter ist in Bild 5 dargestellt; er entspricht der ersten Schicht eines normalen Ofens. Wir haben den Umsatz ermittelt, um festzustellen, ob der Ruß vielleicht zu einer Verschmutzung und zu einem Nachlassen der Kontaktwirksamkeit führen könnte. Als Maß für den Umsatz ist in Bild 4 der Temperaturanstieg in der ersten Schicht einge-

tragen. Wie man sieht, bleibt derselbe konstant bei 40° . Die Einfahrtstemperatur wurde dabei langsam während des Vierteljahres von 360° auf 300° gesteigert. Diese Steigerung dürfte wohl für den Braunoxyd-Kontakt normal sein und ihre Ursache in Schwefelvergiftung etc. haben. Es ist ferner zu berücksichtigen, daß der Kontakt durch das häufige Abstellen des Ofens stark mißhandelt wurde.

c) Versuche im Maßstab $11\ 000\ m^3/h$.

Das Schachtfilter erfuhr seine erste betriebliche Anwendung in der K.W.Synthesegas-Anlage Op. 648 zur Reinigung eines kohlenwasserstofffreien Synthesegases, das durch Umsetzung kohlenwasserstoffhaltiger Gase mit Sauerstoff am Nickelkontakt bei etwa 1000° erhalten wurde. Bild 6 zeigt das Filter. Es wurden 2 Rundfilter von je 3 m Durchmesser angewendet, die parallel gefahren wurde. Der Schüttelrost wurde durch einen Öldruckzylinder bewegt. Die Hubzahl des Rostes wurde durch eine elektrische Schaltuhr geregelt. Der ausgetragene Koks fiel in den Sammeltrichter und rutschte von dort in den Vorratsbunker. Da Trichter und Bunker ständig mit Wasser gefüllt sind, findet bei dieser Gelegenheit schon eine Grobtrennung von Ruß und Koks statt. War der Bunker gefüllt, so wurde der Verbindungsschieber zwischen Trichter und Bunker geschlossen und der Koks mit Wasser in einer Steigleitung hochgespült und auf ein Sieb aufgegeben, das am Kopf des Schachtfilters angeordnet ist und die Trennung des Wassers vom Koks bewirkt. Der Koks rutschte vom Sieb in den Filterschacht, während das Wasser nach außen abließ. Bei diesem Hochspülen findet eine weitere Reinigung des Kokses statt. Der Ruß wurde teils mit dem Förderwasser, teils mit einem ständig laufenden zweiten Wasserabfluß ausgetragen, der den im Trichter unter dem Rost schwimmenden Ruß mit sich führt. Einzelheiten zur Wäsche und zur Frage der Förderung des Schüttgutes wurden im folgenden Abschnitt noch beschrieben.

Bevor die Filter in Betrieb genommen wurden, wurde in Versuchen festgestellt, wie stark man die Filter mit rußfreiem Gas belasten kann, ohne den Austrag des Kokses zu behindern. Das Ergebnis dieser Versuche ist in Bild 7 dargestellt. Man sieht, daß bei einer Querschnittsbelastung von $850 - 1000\ m^3/m^2$ das Austragen des Kokses noch normal erfolgt. Bei $1150\ m^3/m^2$ übt das Gas jedoch eine Stauwirkung auf den Koks in den Schlitzen oberhalb der Austragschaufeln aus, so daß das Nachrutschen behindert wird. Die ausgetragenen Mengen sind daher bei dieser

und bei höheren Belastungen wesentlich geringer und streuen unregelmäßig von Versuch zu Versuch. In Bild 7 sind in einem zweiten Abzissenmaßstab die Gaseschwindigkeiten im Spalt zwischen den Rostbalken oberhalb der Austragschaufeln aufgetragen. In Anschluß an diese Versuche wurden die Filter mit einer Querschnittsbelastung von $800 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bei einer Temperatur von 25° in Betrieb genommen. In Tabelle 4 sind für einen Ausschnitt aus der Betriebszeit die Daten angegeben.

Tabelle 4 .

Betriebsausschnitt in Op. 648.

Datum	m^3/h	D	Liter Koks 1000 m^3 Gas		Ruß/ Mg/m^3	
			Filter I	Filter II	Eingang	Ausgang
9.7.1941	11 000	320			46	0,5
10.7.1941	11,000	325			45	0,5
11.7.1941	10 800	320		5	53	0,6
10.7.1941	10 900	315	11		88	0,4
13.7.1941	10 900	320		10	106	0,4
14.7.1941	10 900	320			132	0,5
15.7.1941	11 000	320	12	10	110	0,4
16.7.1941	11 000	315		11	150	0,3
17.7.1941	10 900	315			150	0,7
18.7.1941	11 000	315	14	6	153	0,2
19.7.1941	11 000	310			120	0,8
20.7.1941	10 300	315	12		100	0,9
21.7.1941	10 800	310			130	0,3
22.7.1941	10 800	315		7	120	0,6

Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen der kleineren Filter, so zeigt sich, daß sich die Wirkungsweise des Filters von Vergrößerung zu Vergrößerung gebessert hat. Beim kleinsten Filter war eine Reinigung bis auf $4 \text{ mg}/\text{m}^3$ nur bei einer Querschnittsbelastung von $375 \text{ m}^3/\text{m}^2$ zu erzielen, während beim jetzigen Versuch bei einer über doppelt so großen Querschnittsbelastung das gereinigte Gas nur noch etwa $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ Ruß enthält.

In Bild 8 ist der Druckabfall im Schachtfilter als Funktion der Schichthöhe dargestellt. Kurve I zeigt den Abfall im rußfreien Filter, den

sogen. „Leerwiderstand“ . Die Geschwindigkeit des Koksaustrages wurde so geregelt, daß der Betriebswiderstand etwa das zweieinhalbfache des Leerwiderstandes ist. Man erkennt an den Kurven, daß diese Widerstandserhöhung in der Hauptsache von den unteren stark mit Ruß beladenen Schichten bewirkt wird, während weiter oberhalb der Widerstand nicht mehr nennenswert erhöht wird, da das Gas schon von Ruß weitgehend gereinigt ist. Diese Kurven lassen erkennen, ob das Filter richtig betrieben worden und ob die Reinigung ausreichend ist. Bei zu hohem Widerstand der mittleren und oberen Schichten muß der Schüttgutaustrag verstärkt werden. Es ist vor allem wichtig, den Leerwiderstand des Filters, den man im Augenblick des Anfahrens hat, sorgfältig zu ermitteln und die Widerstandsänderungen, die sich durch Betriebsschwankungen ergeben, bezüglich Menge, Druck und Temperatur auf einen einheitlichen Maßstab zu reduzieren. Es hat sich im allgemeinen gezeigt, daß bei hohen Rußgehalten im Eingangsgas, denen naturgemäß ein größerer Schüttgutaustrag entspricht, die Widerstandserhöhung in den unteren Schichten stärker ist, während bei kleinen Rußgehalten die mittleren Schichten etwas stärker an der Filterwirkung beteiligt sind.

d) Wäsche und Förderung des Schüttgutes.

Es bestand von vornherein die Absicht, das Schüttgut in einem geschlossenen Kreislauf zu waschen und zu fördern, so daß es im Betrieb garnicht mit der Außenluft in Berührung kommt. Für die Förderung war ursprünglich ein Becherwerk vorgesehen. Nachdem sich aber aus den Versuchen ergeben hatte, daß die stündlich anfallenden Schüttgutmengen ziemlich gering sind, stellte es sich als einfacher heraus, das Schüttgut mit Wasser hochzuspülen. Die Sinkgeschwindigkeit von Bims und Koks im Wasser beträgt nach unseren Messungen etwa 3 cm/sec, es kommen jedoch Maximalwerte bis zu 11 cm/sec vor. Bei der Wasserförderung muß also die Spülgeschwindigkeit größer als dieser Wert sein und es ist weiter darauf zu achten, daß die Schüttgut-Konzentration im Spülgemisch nicht zu groß ist, da sonst eine Verstopfung und Verkantung des Schüttgutes im Förderrohr eintreten kann. Die Wassergeschwindigkeit im Förderrohr liegt nach unseren Versuchen zweckmäßig zwischen 50 und 80 cm/sec. Um die Konzentration des Schüttgutes bei der Förderung einstellen zu können, wurde ein Teil des Förderwassers von oben durch den Bunker (Oberwasser) und ein Teil am Auslauf des

Bunkers (Unterwasser) zur Verflünnung des Gemisches (siehe Fig. 6) zuge-
setzt. Das Verhältnis der beiden Wassermengen zueinander hängt mit den
Auslaufverhältnissen aus dem Bunker zusammen. In der Regel wurden
2 Teile oberhalb und 1 Teil unterhalb des Bunkers zugegeben. Bei die-
sen Verhältnissen fördert 1 m³ Wasser 0,3 - 0,4 m⁴ Schüttgut. Die Be-
triebsverhältnisse sind in Tabelle 5 wiedergegeben.

Tabelle 5.

Filterquerschnitt	7 m ²
Gasbelastung	5500 m ³
Querschnittsbelastung	790 m ³ /m ²
Koksverbrauch	15 Ltr./1000 m ³ Gas
Koksdurchsatz	83 Ltr./h
Bunkerinhalt	4 m ³
Zeit zum Füllen des Bunkers $\frac{4000}{83} =$	48 h
Schüttgutförderleitung	80 mm \varnothing
Förderwassermenge	15 m ³ /h
Geförderte Koksmenge 15 · 0,35 =	5,25 m ³ /h
Zeitdauer für Entleerung des Bunkers	46 Min.

Für die Trennung des Rußes von dem Schüttgut ist in der Regel ein ein-
faches Aufwirbeln des Schüttgutes im Wasser ausreichend. Es haftet
allerdings anschließend immer noch etwas Ruß an dem Schüttgut; diese
Mengen stören jedoch nicht, da sie an dem feuchten Schüttgut haften
bleiben und nicht in den Gasstrom gelangen, wenn das Schüttgut oben in
den Filterschacht wieder aufgegeben wird. Wir haben mit den beiden Ver-
suchsfiltern von 0,049 m² und 0,49 m² Querschnittsfläche zahlreiche Ver-
suche unternommen, den Ruß mit Wasser von dem Schüttgut herunterzuspü-
len, ohne das Schüttgut überhaupt auszutragen und zu bewegen, in der
Hoffnung, auf diese Weise vielleicht die ganze Schüttelanordnung zu ver-
meiden und mit 2 Behältern zu fahren, von denen sich der eine mit Ruß
belädt und der andere mit Wasser gespült wird. Derartige Versuche hat-
ten ein negatives Ergebnis. Auch wenn das Schüttgut stark mit Ruß be-
laden ist, läuft das Wasser immer noch kristallklar durch, wenn man
nicht das gesamte Schüttgut in Wallung und Bewegung bringt.

Wir haben ferner versucht, den Vorratsbunker unter dem Schachtfilter
zu vermeiden und ein Gemisch von Schüttgut und Wasser aus dem Trichter
gemeinsam mit einer Kanalradpumpe abzuziehen und hochzufördern. Die
Versuche scheiterten jedoch an dem starken Abrieb, den das Schüttgut
beim Durchgang durch die Pumpe erfuhr.

e) Versuche zur Entfernung von Ruß aus Wasser.

In Fällen, in denen starker Wassermangel vorliegt, ist es erforderlich, die Abwässer des Schachtfilters vom Ruß zu befreien, damit man das Wasser wieder verwenden kann. Man wird in solchen Fällen so arbeiten, daß die Abwassermenge möglichst klein ist, damit man eine hohe Rußkonzentration im Abwasser hat. Unter Umständen ist es auch zweckmäßig, das rußhaltige Wasser im Kreislauf über ein Rückkühlwerk zu kühlen und aus diesem Kreislauf einen Strom abzuzweigen und zu filtrieren. Auf diese Weise ist es möglich, die Rußkonzentration im Kreislauf etwas ansteigen zu lassen und die Abzweigung zum Filter an einer Stelle vorzunehmen, an der der Ruß angereichert ist, so daß man zu einer filtrierbaren Mischung kommt. Auch wenn man diese Maßnahmen anwendet, ist die Rußkonzentration in der Regel so klein, daß die Anwendung eines Drehfilters nicht in Betracht kommt. Wir haben eine Reihe von Versuchen mit Filterpressen angestellt, um die Filterleistung zu ermitteln. Tabelle 6 enthält die Versuchsdaten, Bild 9 den Filtrationsverlauf.

Tabelle 6.

Reinigung von Rußwasser in Filterpressen.

Versuch	Rußkonzentration %	Rußsorte	Filterfläche m ²	Rahmenvolumen Ltr.	Filtrationsdauer	Mittlere Filterleistung Ltr./m ² /h	kg Ruß m ²	Druck atü
1	0,5	S	0,220	2,20	43 h	38	8,0	2
2	0,6	S	0,114	1,14	12,5 h	68	9,5	2
4	2,8	A	0,152	1,52	12 Min.	980	5,6	2
5	0,1	S	0,030	0,38	86 h	89	Filterrahmen nicht voll.	2
6	0,5	S	0,038	0,76	33 h	105		
7	0,5	S	0,038	0,76	94 h	77		
8	0,2	S	0,038	0,38	83 h	463	7,0	0,6

S = Ruß im Synthesegas

A = Ruß im Acetylenpaltgas.

Es ergaben sich folgende Gesichtspunkte:

- 1.) Der Ruß im Acetylenpaltgas läßt sich größenordnungsmäßig besser filtrieren als der Ruß im Synthesegas und zwar offenbar deshalb, weil er schlechter benetzt wird. Mit dem Auge kann man jedoch einen Unterschied in der Benetzung an der Rußlösung nicht erkennen.

2.) Die Filterleistung sinkt von einem anfänglich hohen Wert sehr schnell auf einen geringen Wert von dem Mittel von 50 Ltr./m²/h ab und bleibt bei diesem Wert lange Zeit konstant.

3.) Die Erhöhung des Filterdruckes bringt keine bemerkenswerte Steigerung der Filterleistung. Anscheinend wird durch den höheren Druck die schon abgeschiedene Rußschicht stärker zusammengepreßt, so daß der Durchgangswiderstand für die Flüssigkeit wieder vergrößert wird.

Diese Versuche können nur als Anhaltspunkt für die Auslegung von Filterpressen dienen, im einzelnen hängt die Rußkonzentration und Filtrierbarkeit der Lösung stark von den örtlichen Verhältnissen und der Art der Entnahme ab.

4.) Ausgeführte und in der Ausführung begriffene Anlagen.

Die betriebliche Anwendung des Schachtfilters ist bei einer Reihe verschiedenartiger Anlagen vorgesehen. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die einzelnen Fälle und die dazugehörigen Belastungszahlen. In Betrieb genommen ist bis jetzt lediglich die erste der in der Tabelle aufgeführten Anlagen:

a) Schachtfilter in Op. 648.

In Dan Op. 648 sind insgesamt 5 Rundfilter aufgestellt von 3 m ϕ , von denen 2 kohlenwasserstoffreies Synthesegas reinigen, während 4 für Acetylen-Spaltgas vorgesehen sind. Die runde Ausführung wurde hier gewählt, weil sie einfach herzustellen ist und bis zu 3 m ϕ (Bahnmaß) noch im Herstellwerk vollständig zusammengebaut werden kann. Die Einzelheiten des Filters sind aus Abschnitt 2d und Bild 6 zu ersehen.

b) Saargasspaltanlage Op. 631.

Bild 10. In dieser Anlage wird aus Kokereigas durch eine Methan-Konvertierung und anschließende Kohlenoxyd-Konvertierung Stickstoff-Synthesegas gewonnen. Zwischen beiden Stufen muß aus dem 73° warmen, mit Wasserdampf gesättigten Gas der Ruß soweit entfernt werden, daß er für die Kohlenoxyd-Konvertierung nicht stört. Eine Abkühlung des Gases unter den Taupunkt soll weitgehend vermieden werden, damit der aus der ersten Stufe verhandene Wasserdampf für die zweite Stufe nutzbringend verwendet werden kann. Bei Anwendung runder Filter von 3 m ϕ wären im vorliegenden Fall 4 Filter bei einem Methan- bzw. CO-Konverter erforderlich gewesen. Um die Anlage meß- und bedienungsgemäß möglichst einfach zu gestalten, wurden statt dessen rechteckige Filter gewählt, die sich in Bezug auf Herstellung, Ausmaße und Antrieb des Rostes bis zu einer Größe von etwa 3 x 9 m entsprechend rund 25 m² Filterquerschnitt noch gut ausführen lassen. Um den Koksaustrag und die Aufgabe von oben möglichst gleichmäßig zu gestalten, wurde der ganze Schachtquerschnitt in annähernd quadratische Flächen von 3 x 3 m aufgeteilt (Zellen), die jede einen Sammeltrichter, Förderpumpe und 1 Aufgabesieb haben. Die Koks- und Gasräume unterhalb und oberhalb des Rostes sind nicht getrennt. Lediglich zur Entlastung der Träger an den Längswänden sind zwischen den Zellen Zughänder aus Blech eingepanzt. Der Rost ist auch in 3 Felder ge-

T a b e l l e 7.

	II. V. Synthesegas-Anlage Op. 648		Vorgasespalt- Anlage Op. 631		Stickstoff- werke Ostmark	I. G. Walzen- murg	I. G. Heyde- breck
Zu reinigende Gasart	N-Synthesegas	O ₂ H ₂ Spaltgas	N-Synthesegas	N-Synthesegas	N-Synthesegas	Methanol- Synthesegas	Methanol u. N-Synthesegas
Betriebstemperatur °C	25	03	73	73	73	25	25
Zahl der Einheiten	2	4	1	3	3	3	5
Schachtfiltertyp	Rundfilter	Rundfilter	3-Zellenfilter	3-Zellenfilter	3-Zellenfilter	2-Zellenfilter	3-Zellenfilter
Filterquerschnitt/ Einheit, m	7	7	25	25	25	16,6	25
Filterquerschnitt insgesamt, m	14	28	75	75	75	50	125
Leistung, m ³ Gas + Dampf/h (800 m ³ /m)	11 200	22 400	20 000	60 000	60 000	40 000	100 000
Leistung m ³ Gas/h	11 200	10 200	14 000	43 200	43 200	40 000	100 000
Vorgesehene Betriebs- belastung Gas + Dampf/h	11 200	15 800	20 000	37 000	37 000	26 200	75 000
m ³ Gas + Dampf/m ² /h	800	565	800	494	494	525	600
m ³ Gas/h	11 200	17 200	14 000	26 600	26 600	26 200	75 000

teilt, die von einer außenliegenden Welle mittels Stoßstange bewegt werden. Die Stoßstangen werden durch Stopfbüchsen gasdicht ins Filtergehäuse geführt. Der Antrieb kann durch Drucköl, Erösluft oder Getriebemotor erfolgen. Die ganze Anlage ist mit einer Wärmeisolation versehen.

c) Anlage in Linz.

Die Anlage Linz ist genau in der gleichen Weise ausgeführt wie die in Op. 531. Aus Gründen der Reservehaltung wurde die Anlage so ausgelegt, daß 2 Einheiten bequem die gesamte Gasmenge bewältigen können. Es sollen im normalen Betrieb jedoch alle 3 Einheiten gefahren werden, da bei geringerer Belastung der Druckverlust kleiner und der Reinigungsgrad besser ist.

d) Anlage Waldenburg.

Bild 11. Im I.G.-Werk Waldenburg wird aus Kokereigas mit dem Sauerstoff-Verfahren Methanol-Synthesegas hergestellt. Das Gas wird gekühlt und durchströmt die Filter in kaltem, gesättigtem Zustand. Auch hier ist die Anlage 2 - 1 ausgelegt, es sollen jedoch im Normalzustand alle 3 Einheiten parallel gefahren werden. Aus Gründen der Reservehaltung war es unvorteilhaft, zu große Einheiten zu wählen, so daß in Waldenburg Filter mit 2 Zellen pro Einheit und dementsprechend 17 m^2 Filterquerschnitt angewendet wurden. Um die Gesamtgasmenge auf alle im Betrieb befindlichen Filter zu verteilen, sind in den Ausgangsleitungen jedes Filters Meßblenden angeordnet.

Da in Waldenburg kein genügend großer Vorfluter zur Aufnahme des Rußwassers vorhanden ist, wird das Förder- und Spülwasser mit dem Kühlwasser der Gaskühler im Kreislauf über ein Rückkühlwerk geführt, wobei nach Erreichung genügender Rußkonzentration ein Teilstrom des Wassers zur Rußabscheidung durch Filterpressen gedrückt wird.

4) Anlage Heydebreck.

Bild 12. In der Anlage Heydebreck sind 2 Synthesegassorten zu reinigen, für die je 2 dreifache Schichtfilter aufgestellt werden. Hierzu kommt ein Reservefilter, das auf beide Gassorten umgeschaltet werden kann. Die Anlage, die zunächst 5 Filter umfaßt, kann auf 12 Filter erweitert werden. Die Filter sind im einzelnen wie in Op. 631 gestaltet. Mit Rücksicht auf das kältere östliche Klima wird der Unterbau

als geschlossener Eisenstabenbau ausgeführt, der die eiserne Tragkonstruktion für den Filterschacht ersetzt und zugleich alle wassergefüllten Leitungen, Trichter, Förderbunker und Abflusstauchungen aufnimmt und so deren besondere Isolierung erübrigt. Die Verteilung der Gasbelastung erfolgt wie in der Anlage Waldenburg.

5.) Anwendungsbereich des Schachtfilters

Das Schachtfilter kann in all den Fällen mit Erfolg angewendet werden, wo es sich darum handelt, ruß- oder staubhaltige Gase, die gleichzeitig einen hohen Wasserdampfgehalt haben, in der Wärme zu reinigen. Wir haben unsere Versuche in der Regel am Taupunkt durchgeführt; es ist jedoch möglich, auf diese Weise überhitzte Gase zu reinigen. Versuche in kleinerem Maßstab haben gezeigt, daß man bei 400 - 500° noch störungsfrei arbeiten kann.

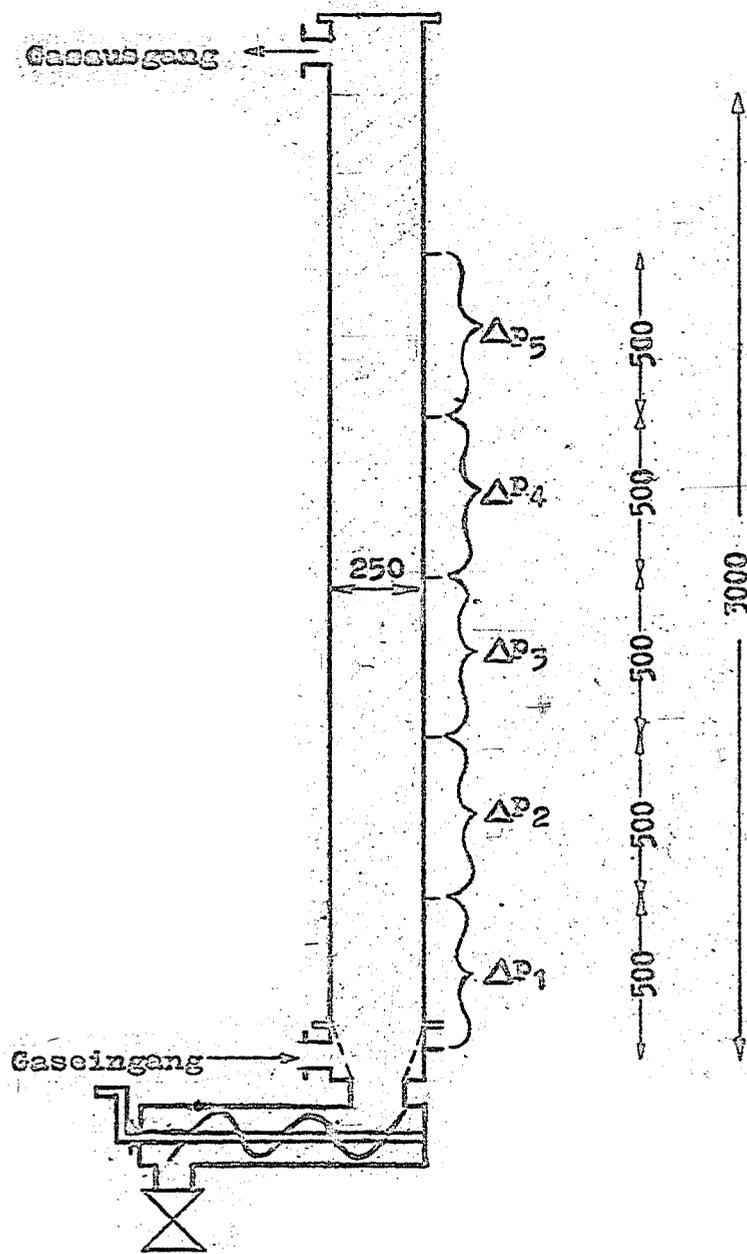
Handelt es sich darum, kalte Gase von Ruß und Staub zu befreien, so kommen als weitere Möglichkeit die Wollschlauchfilteranlagen, wie sie z.B. von den Firmen Bath und Intensiv geliefert werden, in Betracht. Die Schlauchfilteranlagen haben den Vorteil, daß sie (wenn keiner der Schläuche beschädigt ist) einen sehr guten Reinheitsgrad von unter 1 mg/m^3 ergeben. Sie ermöglichen es ferner, den abfiltrierten Ruß in trockenem und sauerem Zustand zu gewinnen. Dagegen ist das Schachtfilter in der Anordnung primitiver und betriebssicherer. Schließlich sind die Anlagekosten und der Platzbedarf für das Schachtfilter geringer. Ein großes, dreizelliges Schachtfilter vom Typ der N-Anlage Oppau hat 25 m^2 Filterquerschnitt und kann dementsprechend $20\,000 \text{ m}^3$ Gas/h reinigen. Ein normaler Filterschlauch hat $2,2 \text{ m}^2$ Fläche, so daß er bei einer Belastung von $17 \text{ m}^3/\text{m}^2$ $37,5 \text{ m}^3$ Gas in der Stunde reinigt. Einem Schachtfilter entsprechen also rund 530 Wollschläuche im Betrieb und 100 weitere, die gerade ausgespült werden. Alle 6 bis 10 Minuten muß der Gasstrom automatisch umgesteuert werden und eine Schlauchgruppe ausgespült werden. Das zu reinigende Gas muß trocken sein und es darf keine Wasserdampfcondensation im Filter stattfinden, da sonst die Filter verkleben. Bei schlechtem Schlauchmaterial und bei angreifenden Gasen ist die Haltbarkeit der Schläuche begrenzt. Diese Überlegungen hatten uns veranlaßt, auch in den Fällen, in denen kaltes Gas gereinigt wird, wie bei der Heydebreyer und Waldenburger Anlage, die Schachtfilter zur Gasreinigung zu verwenden.

Betrachtet man die Entwicklungsarbeit, die diesem Gegenstand gewidmet wurde, so bedauert man, daß es sich nicht darum gehandelt hat, ein wertvolles neues Produkt zu erzeugen, sondern daß die Aufgabe nur darin bestand, das Gas von einer in geringen Konzentrationen auftretenden lästigen Verunreinigung zu befreien. Eine klare und betriebsreife Lösung dieser Aufgabe war für uns jedoch deshalb nicht weniger wichtig, sie ermöglichte vielmehr erst die technische Anwendung des neuen entwickelten Gaserzeugungsverfahrens.

Zusammenfassung.

Es wird ein Verfahren zur Entfernung von Staub und Ruß aus Gasen beschrieben. Die Gase strömen durch einen mit Schüttgut beschickten Schacht, in dem der Ruß abgestreift wird. Das Schüttgut wird kontinuierlich am unteren Ende des Schachtes abgezogen, gewaschen und oben wieder zugegeben. Es findet eine Reinigung des Gases bis auf 1 - 2 mg/m³ statt. Die Ergebnisse von Versuchen in verschiedenem Maßstab und von der betrieblichen Anwendung des Schachtfilters werden mitgeteilt. Einzelheiten, siehe im Inhaltsverzeichnis und Text. Die Versuche wurden in den Jahren 1939, 1940 und 1941 ausgeführt.

J. K. K.



VersuchsfILTER Op. 462.

Schachtquerschnitt: $0,049 \text{ m}^2$

Gasdurchsatz: $14 \text{ m}^3/\text{h}$

Füllung: Bimsstein $3/6 \text{ mm}$

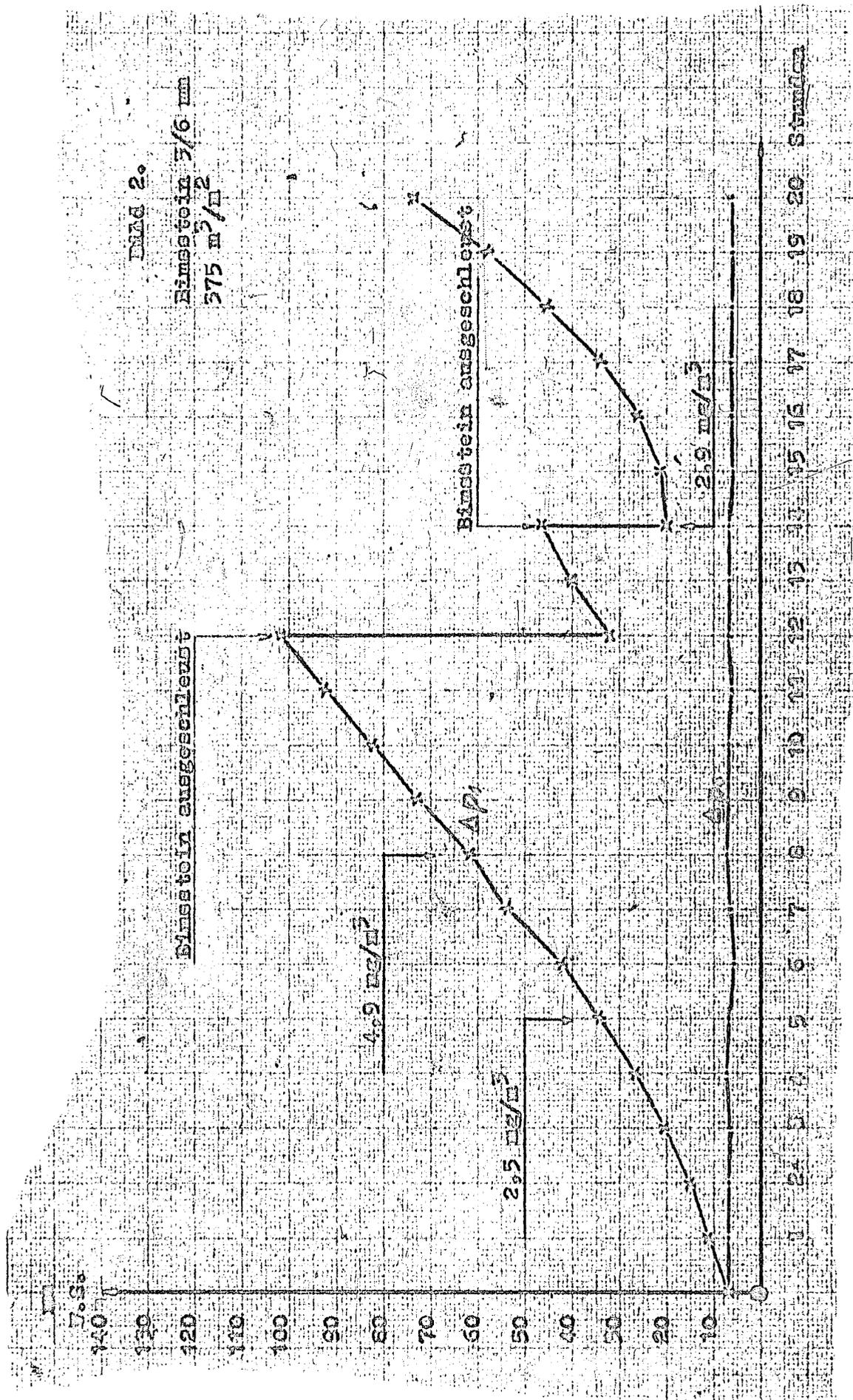
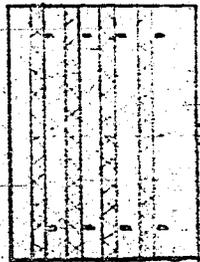
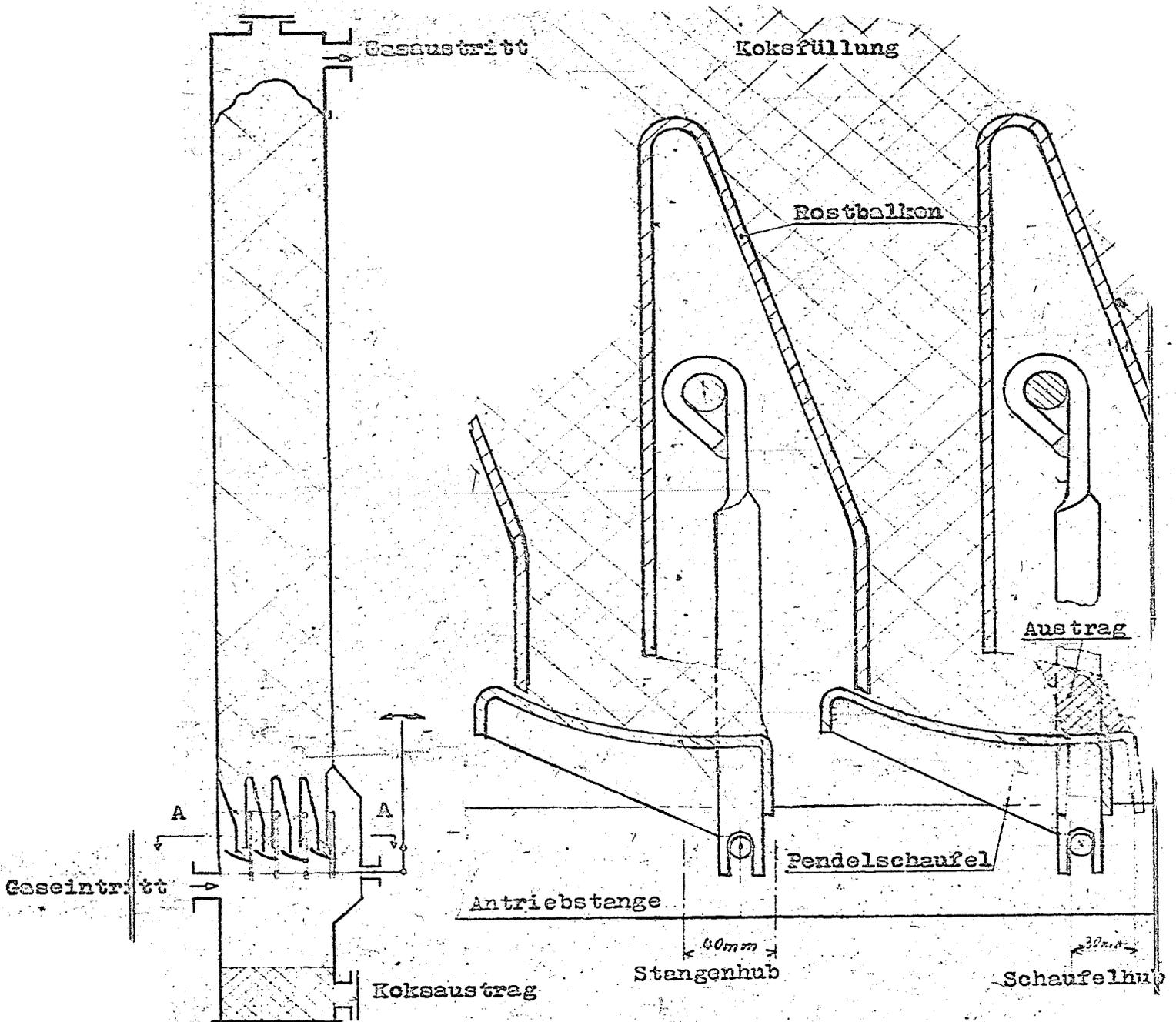
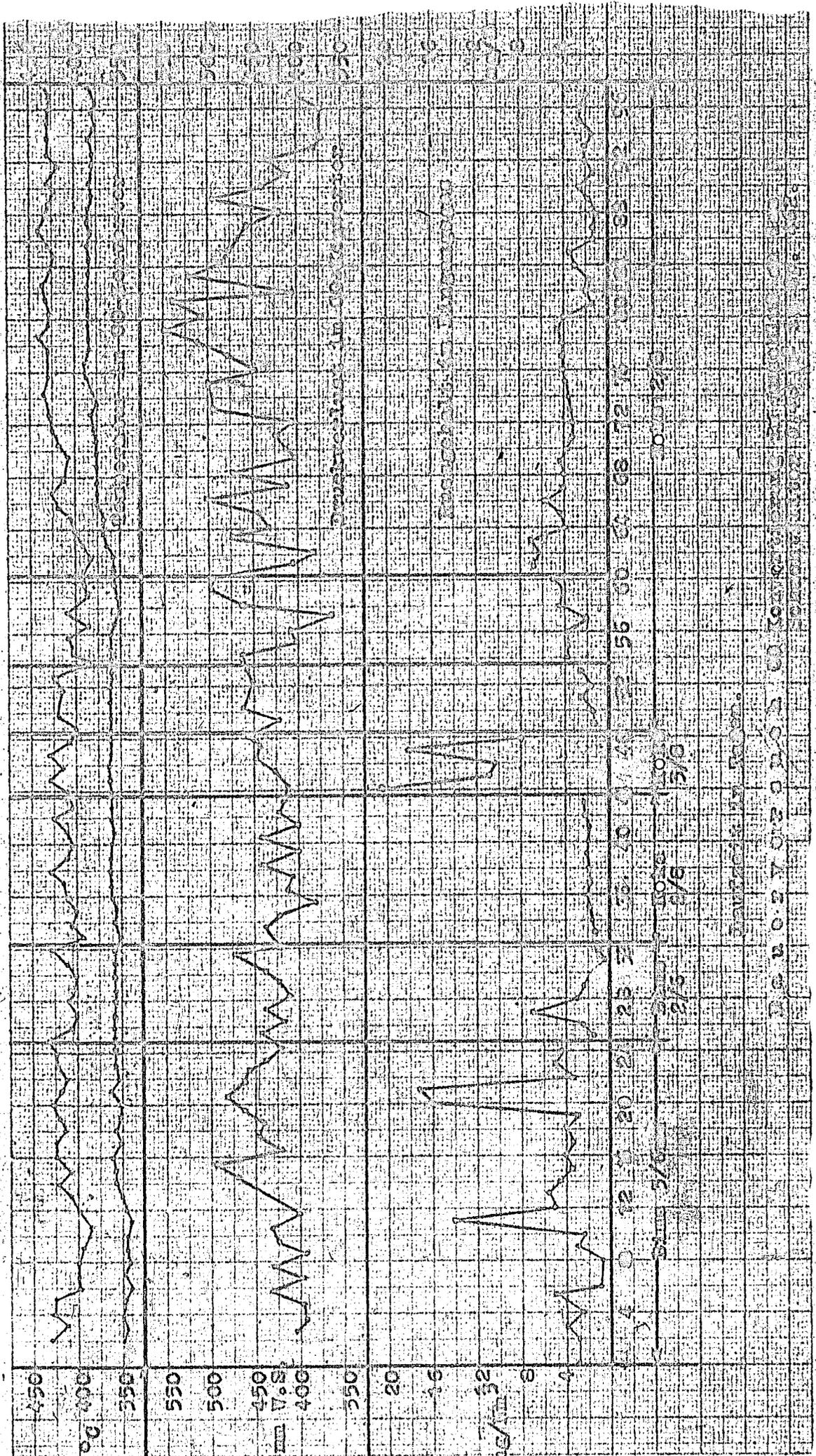


Bild 2.



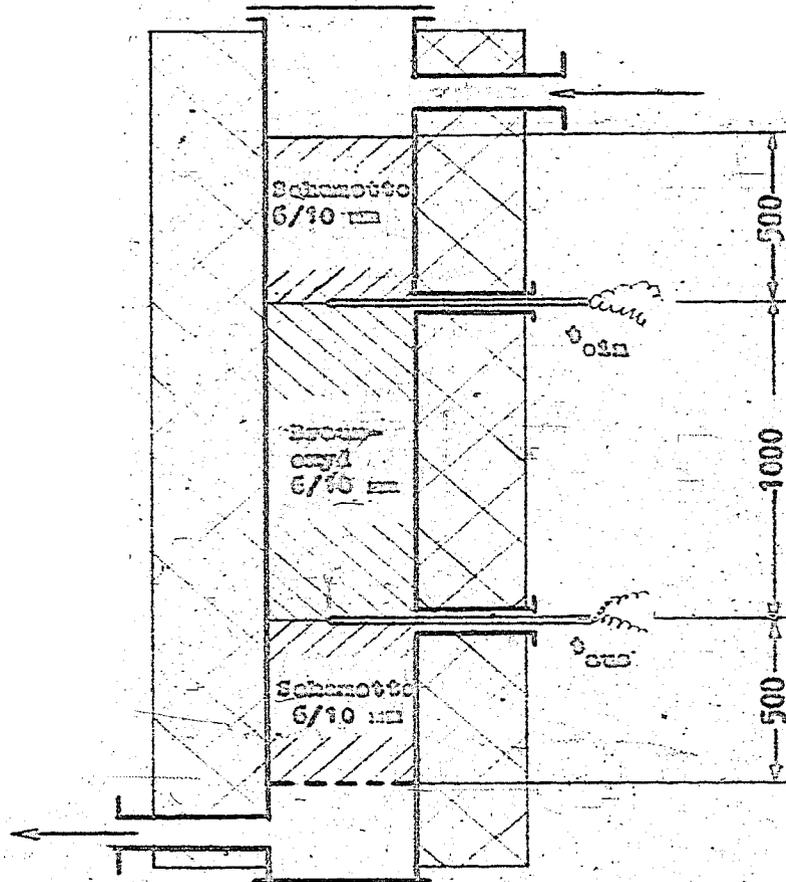
Schnitt A-A

Versuchsfiler Op. 462
 Schachtquerschnitt 0,48 m².



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft,
Ludwigshafen a. Rhein.

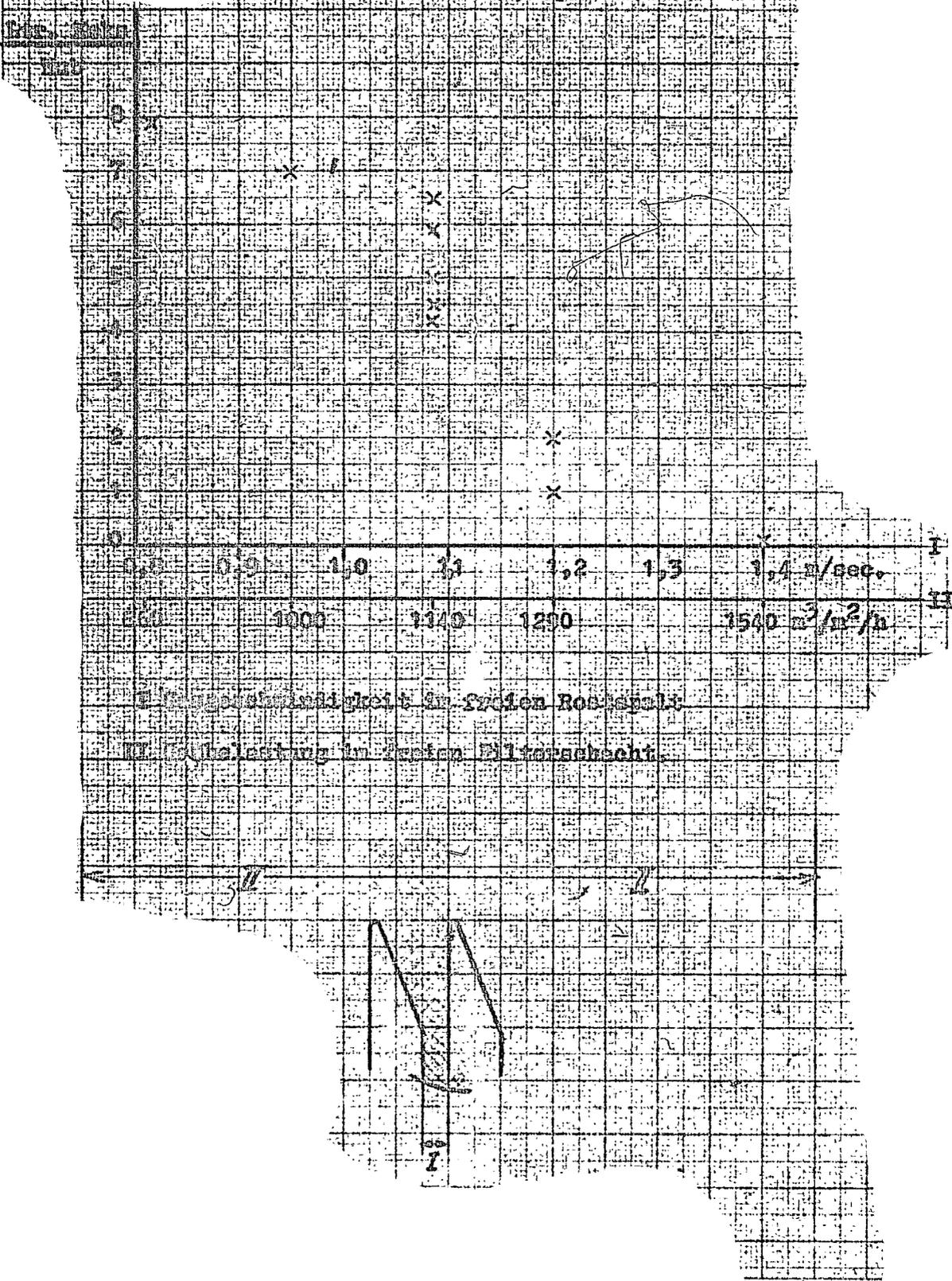
Bild 4.



CG - Konverter, Op. 462.

Belastung: $340 \text{ m}^3 \text{ Gas+Dampf/m}^2$
 $= 2700 \text{ m}^3 \text{ Gas+Dampf/m}^2$
 $= 6300 \text{ m}^3 \text{ effektiv/m}^2$

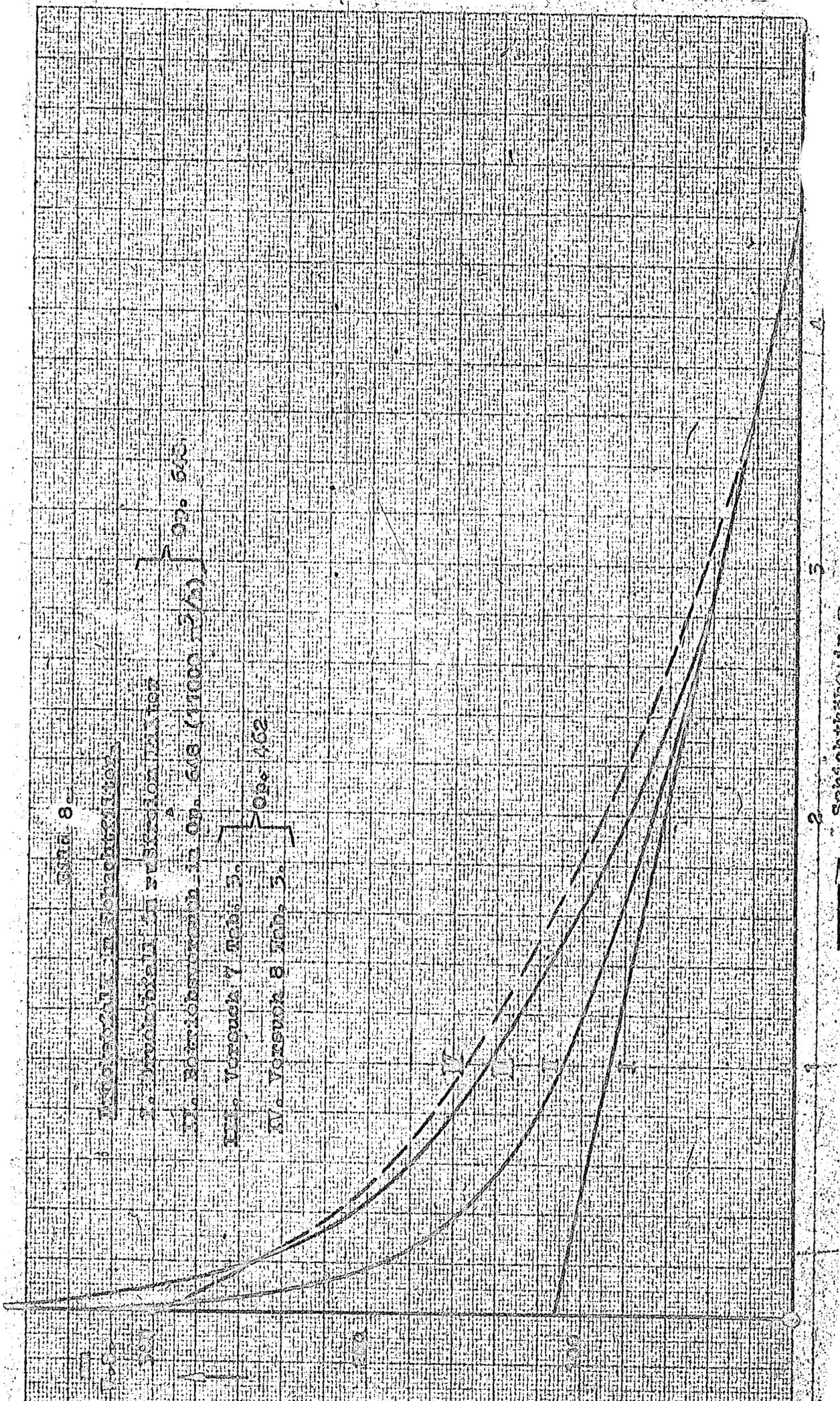
Kalkulation in Abhängigkeit von der
 Gasbelastung bei räumlicher Gas im
 Durchfluss, Nr. 640.



I. Gasgeschwindigkeit im freien Rohrschnitt

II. Gasbelastung im freien Filtersecht.

Bild 7



Stab 8

IV. Versuch 7 Tab. 3.

IV. Versuch 8 Tab. 3.

IV. Versuch 9 Tab. 3.

IV. Versuch 10 Tab. 3.

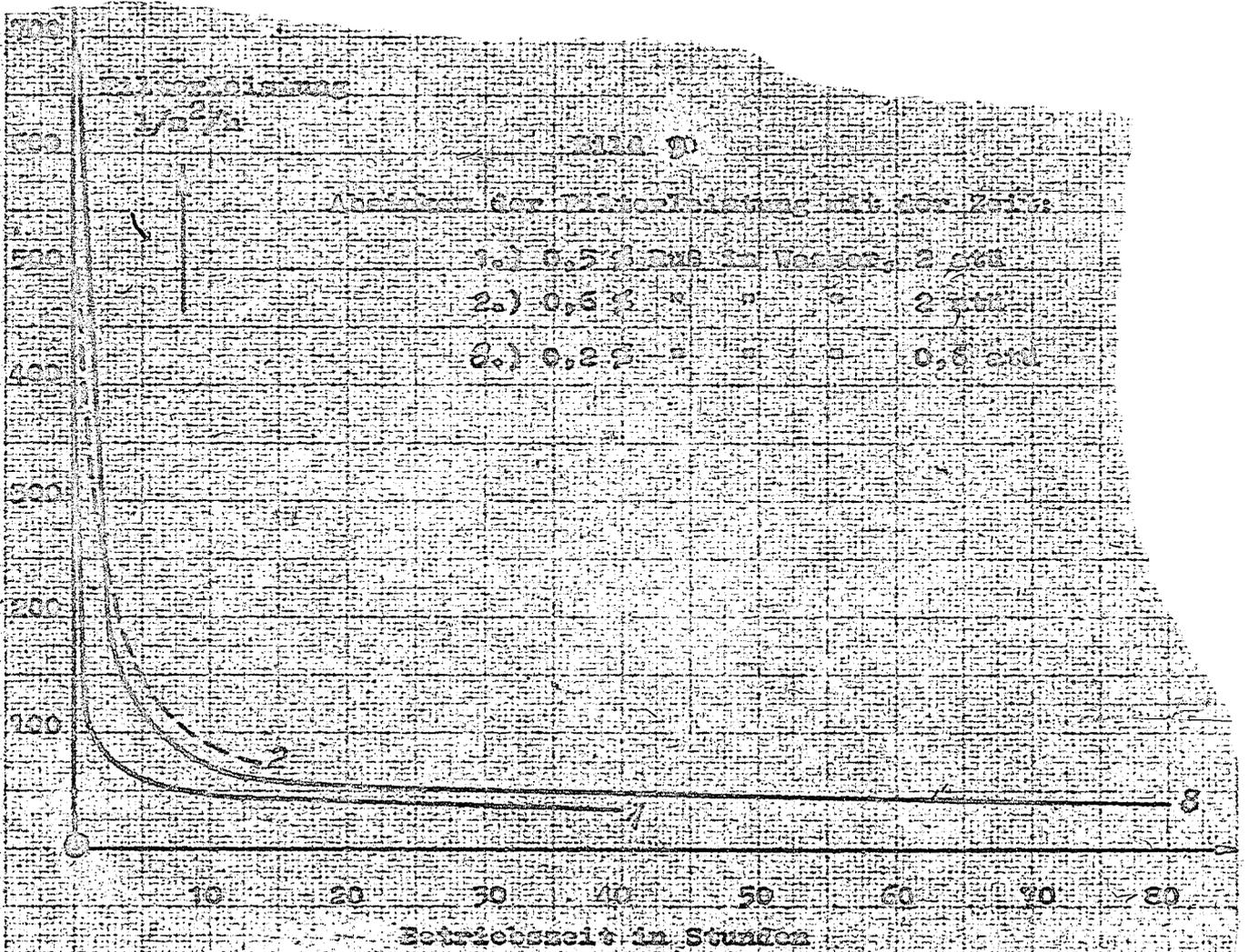
IV. Versuch 11 Tab. 3.

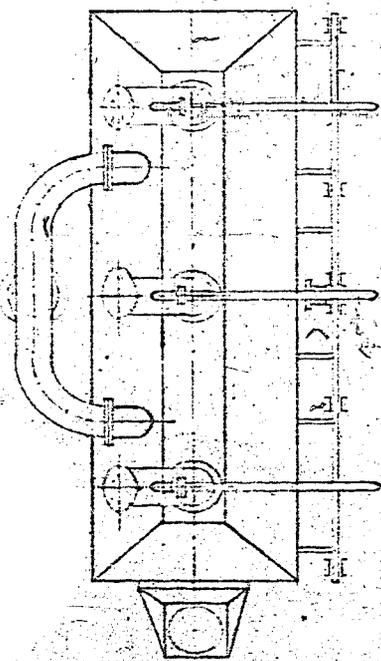
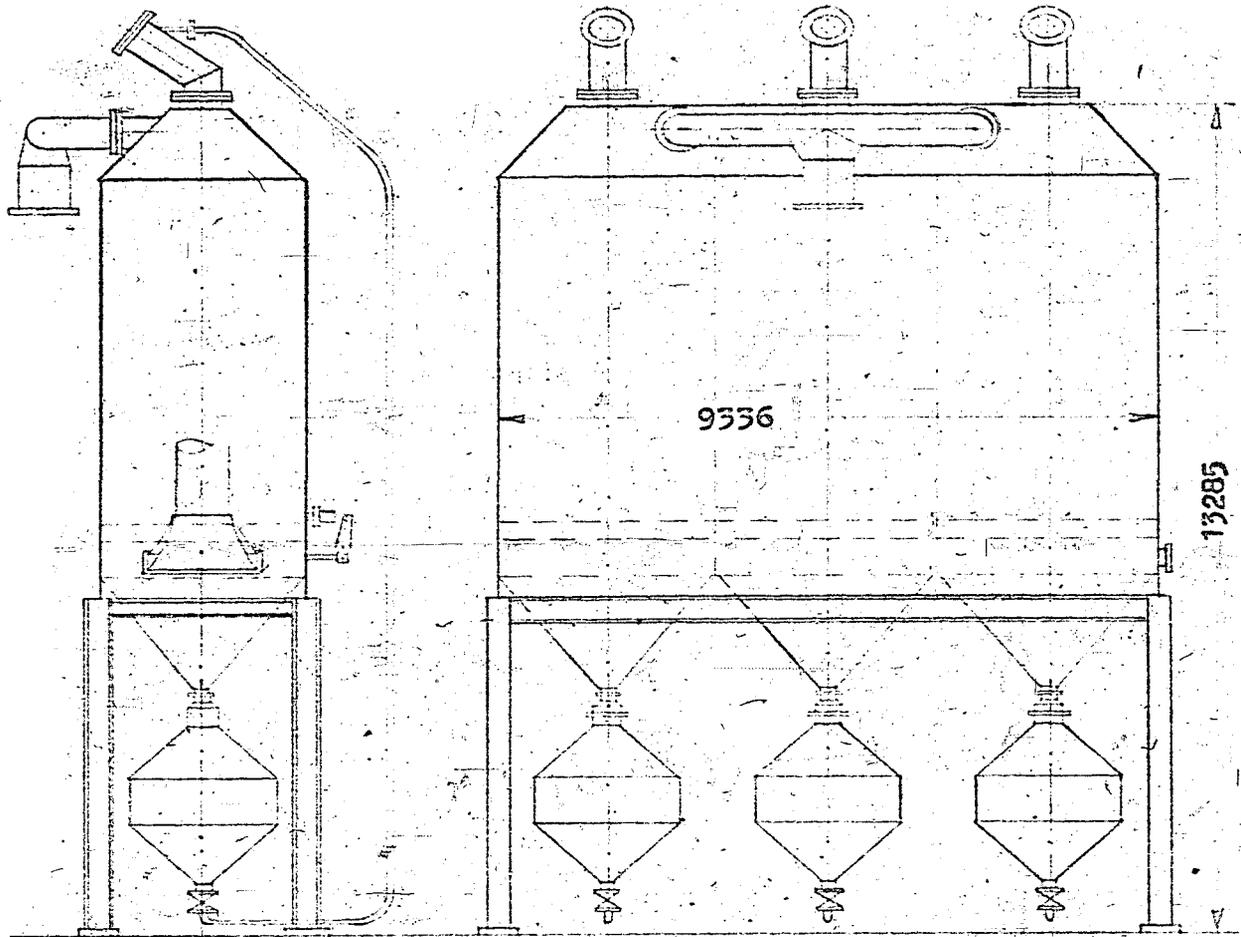
IV. Versuch 12 Tab. 3.

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rhein.

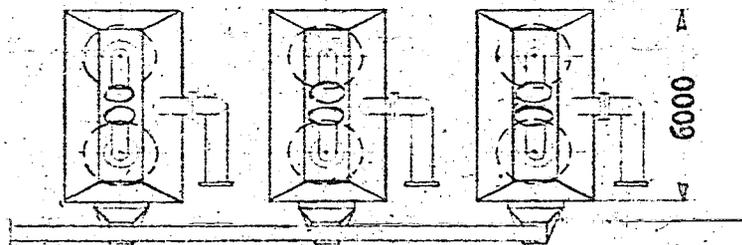
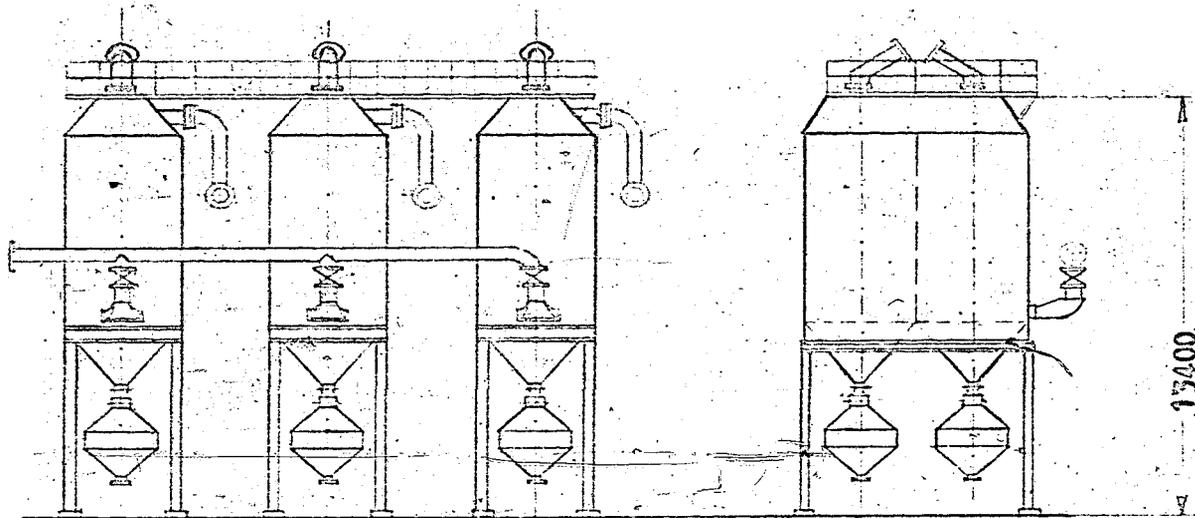
Blatt 0.

DIN-Format A 4 (210 x 297 mm)

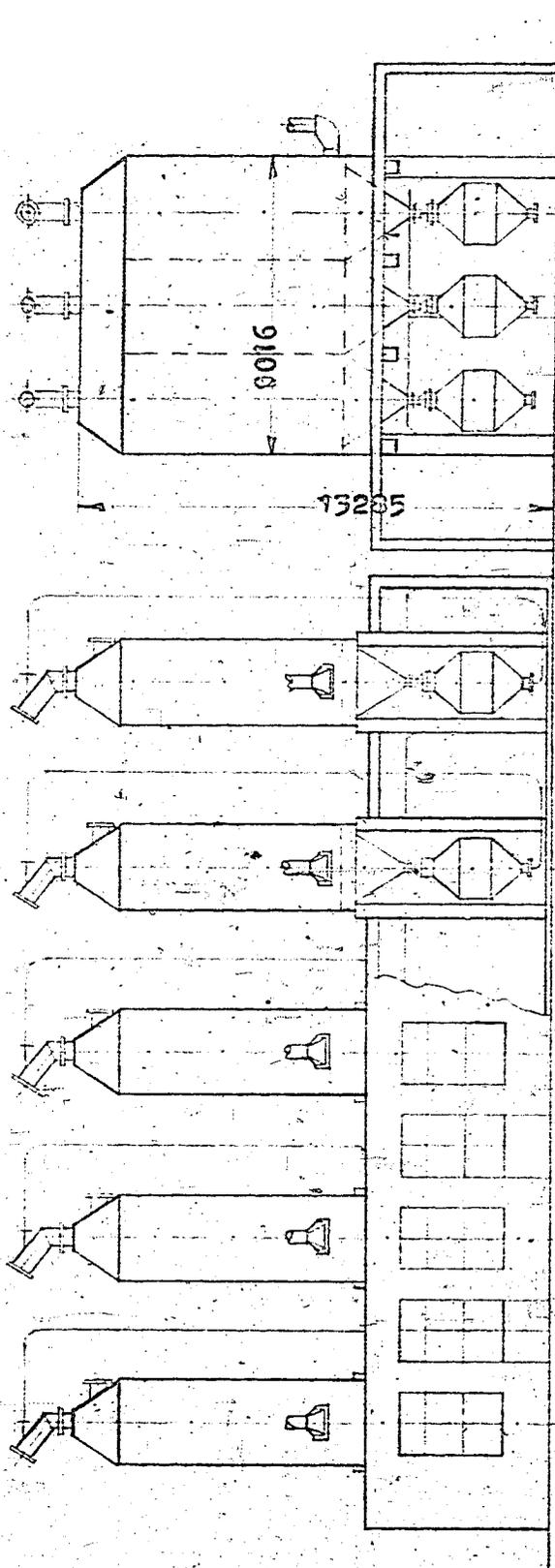




Schachtfilter Op. 631 und Linz
 Op. 631: 1 Filter; Linz: 3 Filter
 mit je 25 m² Schachtfläche.



Schachtfilteranlage Waldenburg
 für rd. 26000 m³/h Synthesegas (15°, 1atü)
 3-Stück 2 zellige Filter
 (2 Betrieb, 1 Reserve)
 mit je 17 m² Schachtfläche.



Schachtfiltranlage Heydebrock.
 5 Stück 3 gellige Filter
 Erweiterung vorgesehen für 12 Filter.

