

# Ammoniakwerk Merseburg

Gesellschaft mit beschränkter Haftung

23770

Firma: Bericht über Versuche zur

Ort: Bestimmung d. Füllungsgrades

Telegrammadresse: in Hochdrucköfen.

Branche:

Bemerkungen:

M-2

Das Fund Volumen in Liter

10

Verwahrungsmappe Nr

1 vom bis

2 „ „

3 „ „

4 „ „

5 „ „

6 „ „

7 „ „

8 „ „

9 „ „

10 „ „

Dipl.-Ing. Amon

Schriftstücke dürfen aus dem Heft  
nicht entnommen werden.

Versuche zur Bestimmung des Füllungsgrades in Hochdrucköfen.

Definition des Füllungsgrades.

Strömt Flüssigkeit und Gas gleichgerichtet durch ein Rohr, dann kann nur ein bestimmter Bruchteil des Rohrvolumens mit Flüssigkeit gefüllt sein. Dieser Flüssigkeitsanteil in % des Gesamtvolumens des Rohrs, Ofens oder dergl. sei mit Füllungsgrad bezeichnet.

Zweck der Versuche.

Bei der Hintereinanderschaltung mehrerer gleichgroßer Kohleöfen zur besseren Ausnutzung der Kohlekammern und der zugehörigen Apparaturen mit entsprechender Vergrößerung von Gas- und Flüssigkeits-(Kohlebrei)durchsatz zeigte sich im Betrieb, daß die Ausbeute und vor allem der Asphaltabbau, je oben Ofeninhalt gerechnet, erheblich hinter den Ergebnissen des Einfachofens zurückblieb. Die Zweifach-Kohlekammer brachte eine schlechtere Ausbeute als die Einfach-Kohlekammer, und eine noch schlechtere brachte die Vierfach-Kohlekammer.

Als Grund für diese Verschlechterung wird angenommen, daß in den hintereinandergeschalteten Öfen infolge der größeren durchgehenden Gasmenge der Füllungsgrad erheblich geringer ist als in den Einfachöfen, daß infolgedessen die Verweilzeit des Kohlebreies im Ofen kürzer und damit die Hydrierung bzw. der Kohle- und Asphaltabbau schlechter ist.

Durch die nachstehend beschriebenen Versuche soll bestimmt werden, welche Betriebs- und physikalischen Größen auf den Füllungsgrad Einfluß haben und in welchem Maße sich dieser Einfluß auswirkt. Die Versuchsergebnisse sollen zeigen, ob es möglich ist, durch irgendwelche baulichen oder betriebliche Veränderungen den Füllungsgrad und damit die Ausbeute der Kohleöfen zu verbessern.

Ergebnis früherer Versuche.

Von Herrn Dr. Schulze Me 870 wurden im Juli 1933 Modellversuche in Glasrohren durchgeführt zur Bestimmung des Einflusses

1. des hydraulischen Radius,
2. des geometrischen Radius,
3. verschiedener Einsätze in Versuchsrohren.

Der hydraulische Radius wurde verändert durch Einbau von Verdrängerrohren und dergl. Es zeigte sich, daß der hydraulische Radius keinen Einfluß auf den Füllungsgrad hat. Dagegen wurde gefunden, daß der Füllungsgrad sinkt, wenn man den Rohrdurchmesser auf weniger als 150 mm verkleinert und durch das mit Flüssigkeit gefüllte Rohr nur Gas leitet. Es macht sich nämlich bei engen Rohren eine gewisse Kolbenwirkung der Gasblasen bemerkbar. Die verschiedenen Einsätze hatten keinen wesentlichen Einfluß auf den Füllungsgrad, soweit sie nicht <sup>wieder</sup> aus engen Rohren bestanden.

Von Herrn Dipl.-Ing. Amon Me 870 wurden außerdem drucklose Versuche mit Luft und Wasser durchgeführt, die ähnliche Ergebnisse brachten, wie sie im Verlauf dieser Arbeit erzielt wurden, d.h. bei Gas- und Flüssigkeits-

belastungen, wie sie denen einer Vierfach-Kohlekammer entsprechen, Füllungsgrade von ungefähr 70 %.

Aus Versuchen der Kleinapparatur, Hochdruckversuche Ludwigshafen, ging aber hervor, daß der Füllungsgrad unter Druck weit geringer sein muß, als er bei den drucklosen Versuchen ermittelt wurde. Außerdem konnte mehrfach beim Anfahren von großen Kohlekammern aus der Breimenge, die beim Erscheinen des Standes im Abscheider in den Ofen eingedrückt war, errechnet werden, daß der Füllungsgrad bei den tatsächlichen Verhältnissen höchstens 30 % beträgt.

Daraufhin wurden von Herrn Dipl. Ing. Cron Nr. 870 an einer Hochdruckapparatur Versuche mit 200 at Kreislaufgas und Wasser und mit 50, 100 und 200 at Stickstoff und Wasser ausgeführt, die ebenfalls zeigten, daß der Füllungsgrad bei 200 at weniger als halbsog groß wie unter Niederdruck ist. Es ergab sich also die Aufgabe, diese Erscheinungen näher zu untersuchen, bzw. die Differenzen der Hoch- und Niederdruckmessungen zu klären.

#### Versuchsapparaturen.

Für die Versuche standen 2 Apparaturen zur Verfügung, die zum Teil übernommen werden konnten, zum Teil verbessert und ausgebaut wurden. Davon dient die Glasapparatur nach Abb. 1 für Vergleichsversuche und besonders zur Bestimmung des Einflusses der Flüssigkeitseigenschaften. Das Gas, hier immer Luft, tritt durch ein zentrales Rohr oder einen Schaumstein bzw. Glasfilter unten in das Versuchsrohr ein und entweicht oben ins Freie. Die Flüssigkeit wird durch die Pumpe entweder ebenfalls

3774

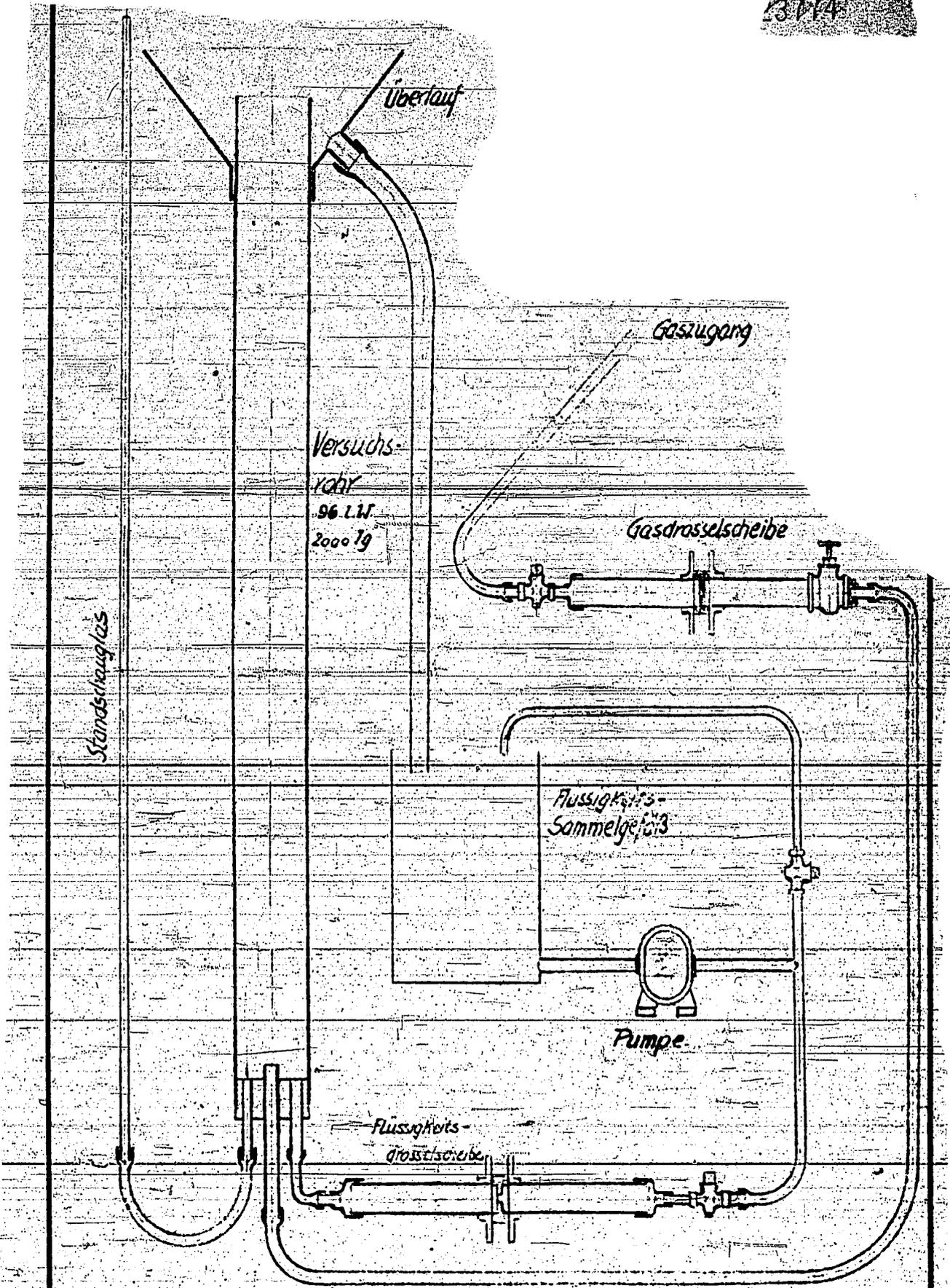


Abb. 1. Niederdruckapparatur zur Bestimmung von Ofenfüllungsgraden.

2.2.31.1001

7807 1927

Ammelwerk Merseburg G.m.b.H.

Ing.-Büro. Hyd. Me. 870.

2153

unten in das Versuchsrohr gedrückt oder schon vorher auf irgend eine Weise mit der Luft vereinigt und läuft oben, von einem Erichter aufgefangen, über ein Sammelgefäß der Pumpe wieder zu. An dem Standschauglas kann sofort der statische Druck der Flüssigkeit in der Säule, der auch bei Gasströmung dem Flüssigkeitsinhalt entspricht, abgelesen und daraus der Füllungsgrad berechnet werden.

In der Hochdruckapparatur nach Abb. 2 tritt das Gas, Kreislaufgas oder Stickstoff, gedrosselt durch das Ventil  $V_1$  gemeinsam mit der Flüssigkeit unten in das Versuchsrohr ein, trennt sich im Abscheider von der Flüssigkeit und wird entweder ins Freie entspannt oder in die Saugseite der Gasumlaufpumpe zurückgeführt. Die Flüssigkeit wird aus dem Abscheider von der Pumpe angesaugt und dem Versuchsrohr wieder zugedrückt. Da dabei immer die gleiche Menge Flüssigkeit in der Apparatur vorhanden ist, kann aus der an den Schaugläsern abgelesenen Standzunahme im Abscheider die im Versuchsrohr durch das Gas verdrängte Flüssigkeitsmenge und daraus wieder der Füllungsgrad berechnet werden. Zur Kontrolle kann an der Standwaage oder an einem Quecksilber-differentialmanometer die Verringerung des statischen Druckes der Flüssigkeitssäule abgelesen werden.

#### Gang der Versuche.

Einen Haupteinfluß auf den Füllungsgrad hat die durch den Ofen bzw. das Versuchsrohr gehende Gasmenge. Die Versuche wurden daher immer so durchgeführt, daß erst alle andern Betriebsgrößen, Gasart, Druck, Flüssigkeits-

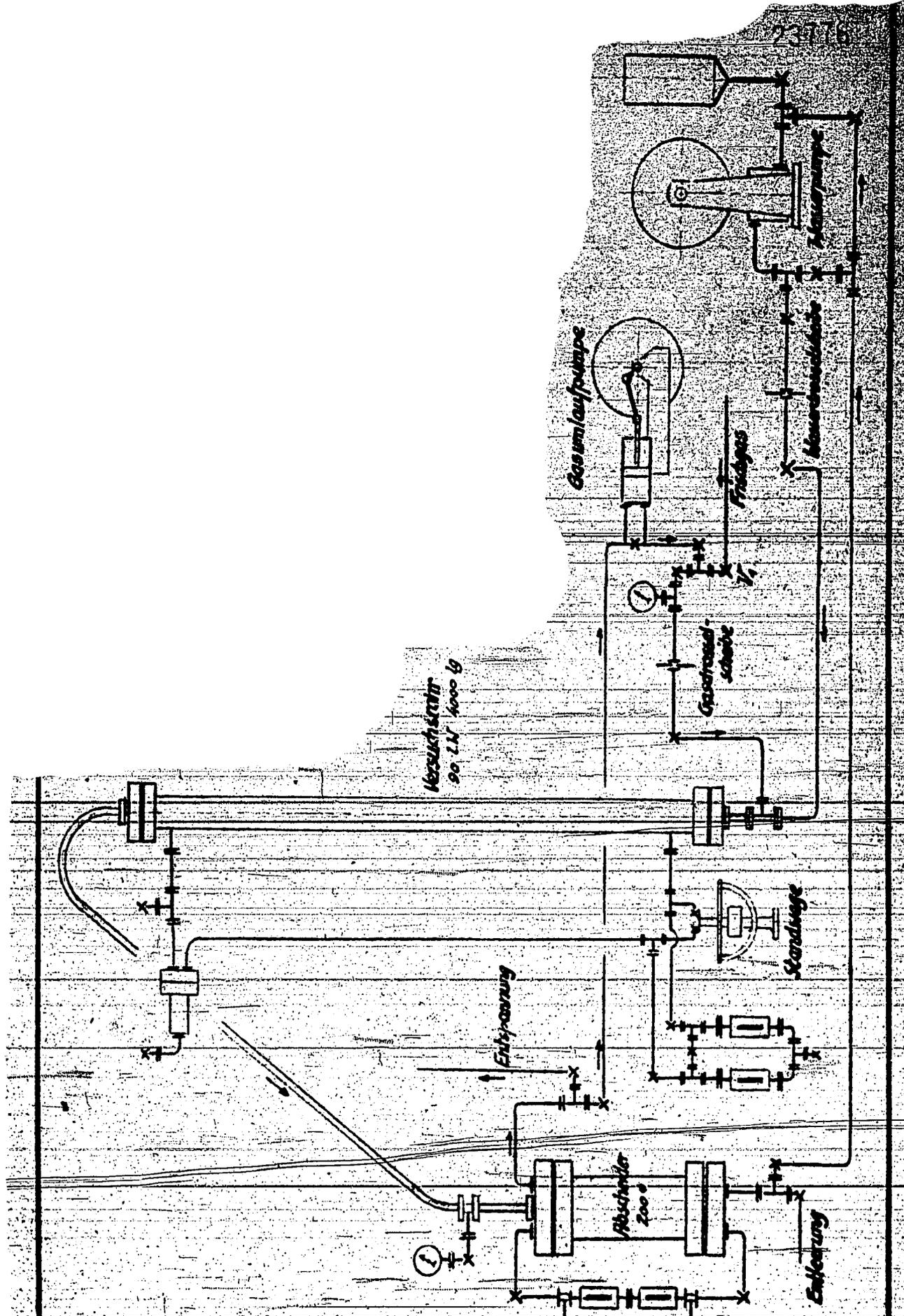


Abb. 2. Hochdruckapparat zur Bestimmung von Gasfüllungsgraden.

16.12.1933

Ammoniakwerk Merseburg G.m.b.H.

Ing.-Büro, Hyd. Ma. 870.

7.11.33. Aca

2154

art und -menge usw., eingestellt und konstant gehalten und dann der Füllungsgrad in Abhängigkeit von der Gasbelastung bestimmt wurde. Dementsprechend sind auch die Versuchsergebnisse auf den Kurvenblättern aufgezeichnet. Als vergleichbare Einheit für die Gas- und Flüssigkeitsbelastung der verschiedenen Ofentypen wird das je qcm Ofenquerschnitt und Stunde durchströmende tatsächliche (nicht auf den Normalzustand umgerechnete) Volumen angegeben. Zum Vergleich sind in der folgenden Tabelle für einige Kohlekammern die Gas- und Flüssigkeitsbelastungen bei 200 at und 450° C zusammengestellt.

Kammer 1				Kammer 4			
Ofen Nr.	lichter Ofen-durchm.	Gas-belastung	Flüssigkeits-belastung	Ofen Nr.	lichter Ofen-durchm.	Gas-belastung	Flüssigkeits-belastung
1	655 mm	74	5,2 ltr/cm <sup>2</sup> h	1	655 mm	91	5,2 ltr/cm <sup>2</sup> h
2	655 "	83,5	5,2 "	2	655 "	97,5	5,2 "
3	565 "	125	7,0 "	3	1055 "	41	2,0 "
4	565 "	130	7,0 "	4	1030 "	44	2,0 "

Kammer 2 und 3

Ofen Nr.	lichter Ofen-durchm.	Gas-belastung	Flüssigkeits-belastung
1	655 mm	54	2,6 ltr/cm <sup>2</sup> h
2	655 "	59	2,6 "

Ergebnisse der Versuche unter Niederdruck.

Bei dem Versuch mit der Glasapparatur, bei dem

Luft und Wasser getrennt dem Versuchsrohr zugeführt wurde konnte beobachtet werden (Fig. 1 der Abb. 3), zeigte es sich, daß sich Luftblasen verschiedener Größe, (von ca 3 bis 60 mm Durchmesser), von denen die kleinen (kugelförmigen) verhältnismäßig langsam, die großen (meist abgeplattet oder pilzförmig) schneller aufstiegen. Die dabei gemessenen Füllungsgrade sind in der ~~Abb. 4~~ ~~Abb. 4~~ wieder gegeben. Nach einer im Januar-Februar-Heft der "Forschung" 1933 veröffentlichten Arbeit T. Bryn, "Steiggeschwindigkeiten von Luftblasen in Flüssigkeiten" nimmt die Steiggeschwindigkeit von Luftblasen in Wasser bei Vergrößerung des Blasendurchmessers von 6 auf 26 mm linear von 22 auf 36 cm/sek zu. Aus einer rein theoretischen Überlegung geht auch hervor, daß die Steiggeschwindigkeit der <sup>durchmesser</sup> Blasengröße verhältnismäßig sein muß, denn die Auftriebskraft einer Gasblase wächst proportional ihrem Volumen, d.h. bei Kugelförmigkeit ~~proportional~~ proportional der 3 ten Potenz des Durchmessers, der sich dem Aufsteigen widersetzt und wächst dagegen nur proportional dem Querschnitt der Blase, also der 2 ten Potenz des Durchmessers. Es ist klar, daß bei geringerer Steiggeschwindigkeit der Gasblasen die gleiche Gasmenge mehr Flüssigkeit verdrängt als bei höherer Steiggeschwindigkeit, daß also bei geringerer Steiggeschwindigkeit auch der Füllungsgrad niedriger ist.

Bei gleichbleibender Blasengröße und damit konstanter Steiggeschwindigkeit müßte bei zunehmender Gasbelastung der Füllungsgrad linear abfallen, da dann z.B. die doppelte Gasmenge die doppelte Flüssigkeitsmenge verdrängt. Die bei getrennter Wasser- und Luftzuführung gefundene Füllungsgradkurve (kurve 1 der Abb. 4) zeigt dagegen, daß - wie man es auch beim Versuch beobachten kann - mit zunehmender Gasmenge die mittlere Blasengröße (Gasmenge/Blasenanzahl) wächst. Es ergibt sich dadurch eine nach oben gekrümmte Kurve. Es wurden verschiedene Vorrichtungen durchprobiert, um Gasblasen von einheitlich geringer Größe zu bilden. Aber nur mit einem Schaumstein (Gläsfalter) und auch nur bis zu einer Gasbelastung von ca 28 ltr/cm<sup>2</sup> h gelang es (Fig. 2 der Abb. 3), annähernd gleichgroße Blasen von

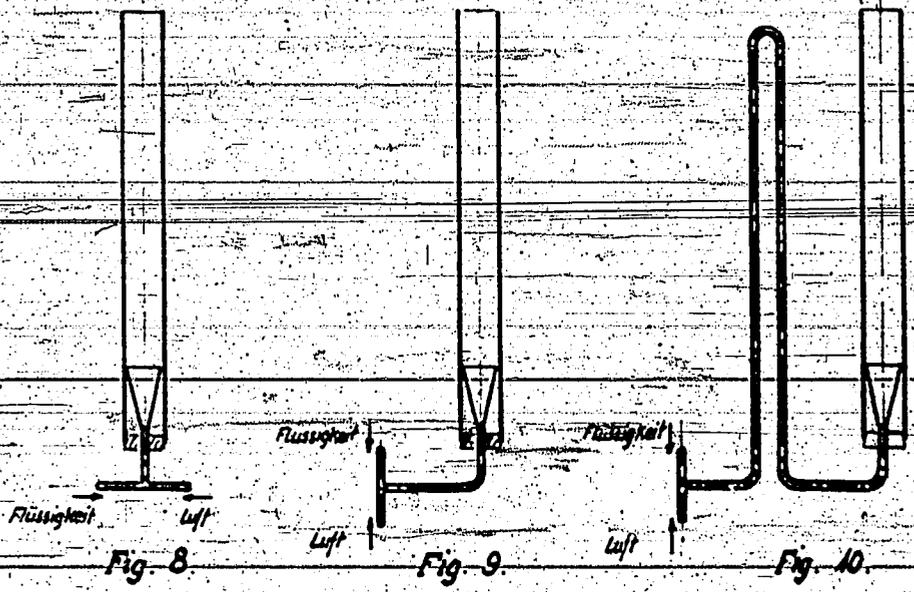
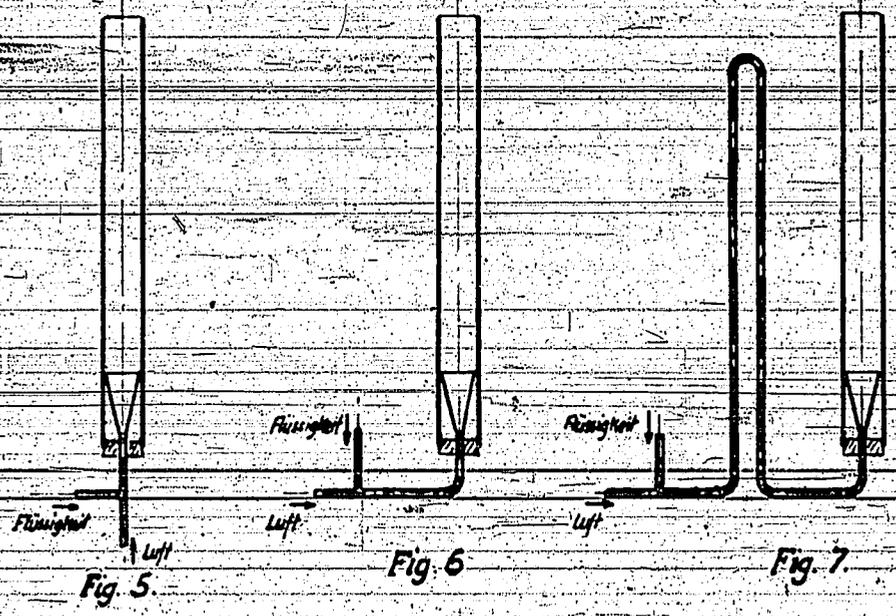
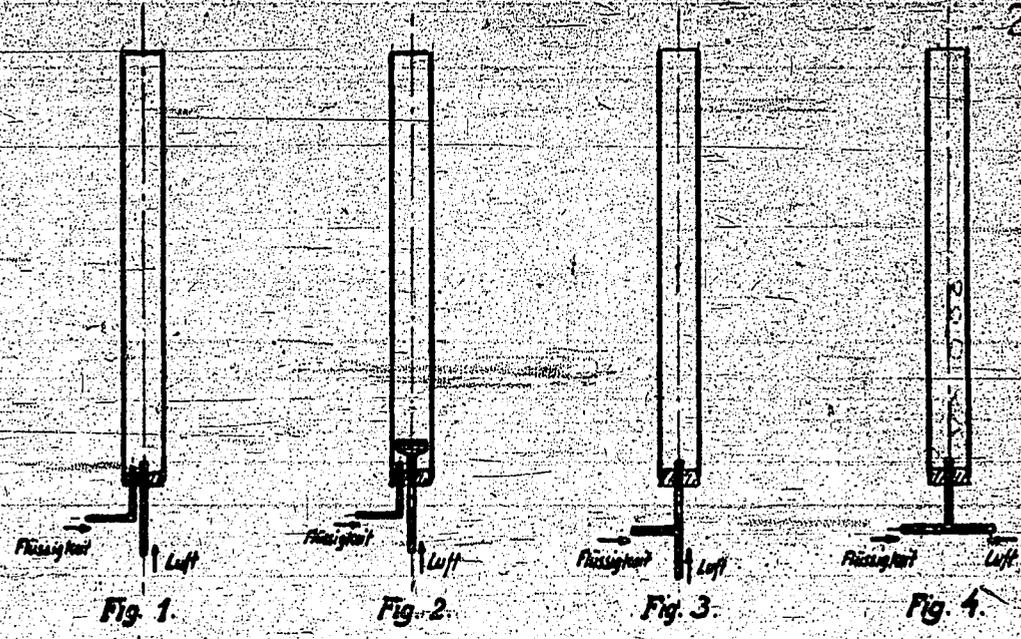
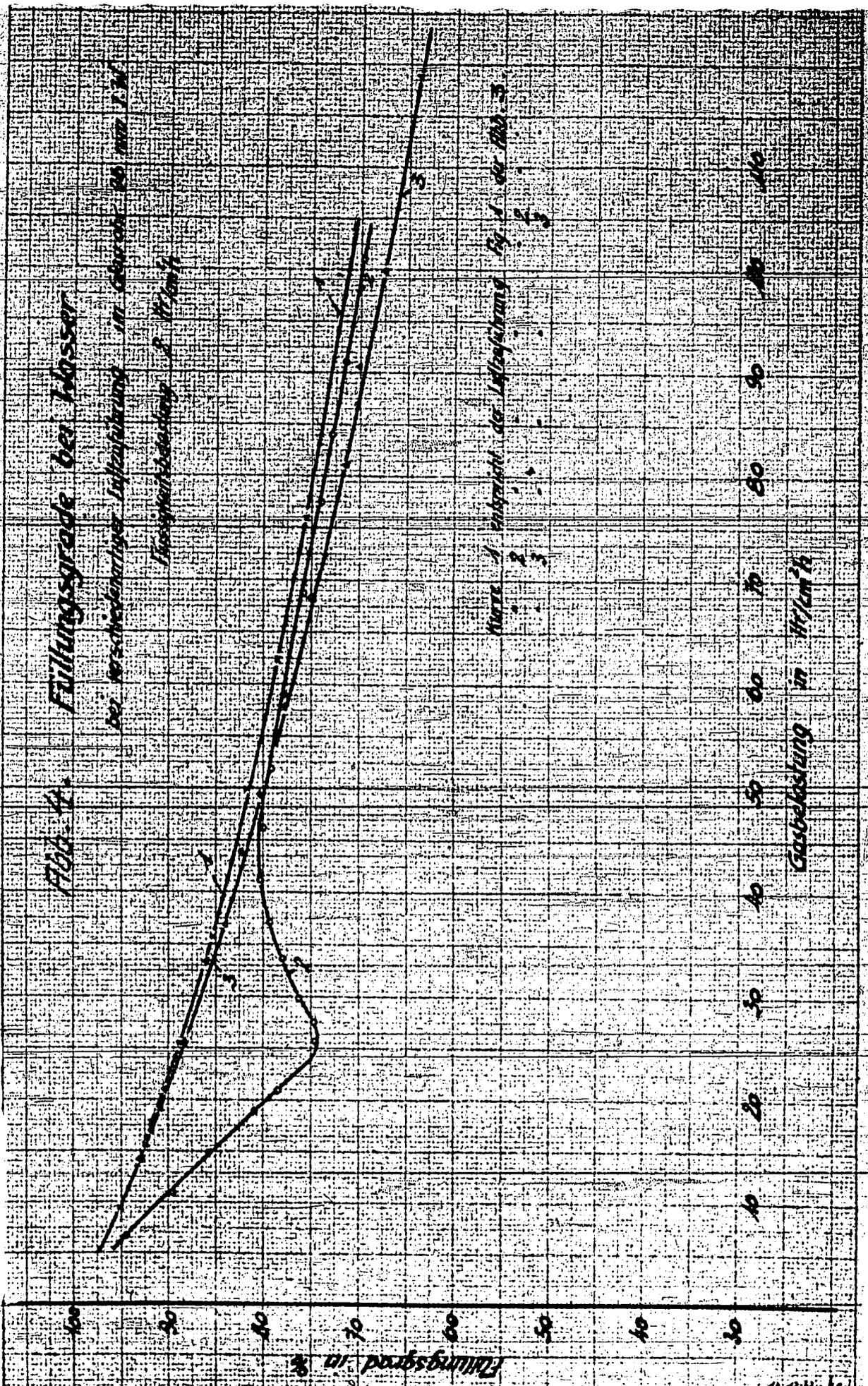


Abb. 3. Verschiedene Anordnungen zum Mischen von Gas und Flüssigkeit.

**Abb. 4. Füllungsgrade bei Wasser**

bei verschiedenen Temperaturen in Abhängigkeit von der  
 Füllungsgrad



Wasser 1 entspricht der Füllungsgrad bei 100°C

Temperatur in °C

18. DEZ. 1933

Ammoniakwerk Mersburg  
 Gesellschaft mit beschränkter Haftung  
 Leuna-Werke (Kraus Mersburg)

Ing.-Büro, Hyd. Me. 1933

2187

389.44 (210x202 mm)

4 - 6 mm zu bilden, die auch in dieser Größe beim Hochsteigen erhalten blieben. Der Füllungsgrad fällt daher bis zu dieser Gasbelastung annähernd linear auf ca. 74 % ab (Kurve 2 der Abb. 4). Bei weiterer Erhöhung des Gasdurchgangs zeigt sich, daß sich die kleinen Gasperlen immer mehr zu großen Blasen vereinigen, die dann mit entsprechend höherer Geschwindigkeit nach oben steigen. Infolgedessen nimmt trotz steigender Gasmenge der Füllungsgrad zu bis zu einem Maximum und verläuft dann ähnlich wie bei der Gaszuführung durch ein Rohr. Bei einer Anordnung, bei der Wasser und Luft in eine engen T-Stück unter dem Versuchsrohr zusammengeführt wurden (Fig. 3 der Abb. 3), wurden auch verhältnismäßig viel kleine Gasblasen gebildet. Außerdem entstand durch die hohe Eintrittsgeschwindigkeit des Gemisches eine starke Wirbelung und eine gewisse Abwärtsbewegung am Rande des Rohrs. Es zeigt sich dies in der Füllungsgradkurve (Kurve 3 der Abb. 4), die besonders bei höherer Gasbelastung merklich tiefer liegt als die entsprechenden Kurven bei getrennter Zuführung von Luft und Wasser. Hatten dagegen Wasser und Luft die Möglichkeit, sich vor Eintritt in das Versuchsrohr wieder zu entmischen, wie das im absteigenden Rohr des Vorheizmodells der Fall ist, (Fig. 7 der Abb. 3), dann bilden sich wieder große Luftblasen und es ergibt sich ein Verlauf der Füllungsgradkurve wie bei getrennter Zuführung. Die weiteren auf Abb. 3 angegebenen Anordnungen wurden im einzelnen, wie an anderer Stelle beschrieben, mit Öl genauer untersucht. Die nächste Aufgabe besteht darin, festzustellen, wie groß der Einfluß der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeit ist. Dazu wurden zunächst bei getrennter Zuführung von Gas und Flüssigkeit zum Versuchsrohr (Fig. 1

der Abb. 3) verglichen: Mehrere Glycerin-Wasser-Mischungen, Lösungen von Nektal in Wasser in verschiedener Konzentration, und Emulsionen von Gasbenzin in Wasser, ~~und~~ mehrere

Mittelöle. Die Ergebnisse sind in Abb. 5 zusammengestellt.

Die gleichen Flüssigkeiten wurden auch mit Gasverteilung durch das Glasfilter untersucht. Dabei ergaben sich noch größere Unterschiede in den Füllungsgraden. Aus den Ergebnissen ist zu ersehen, daß:

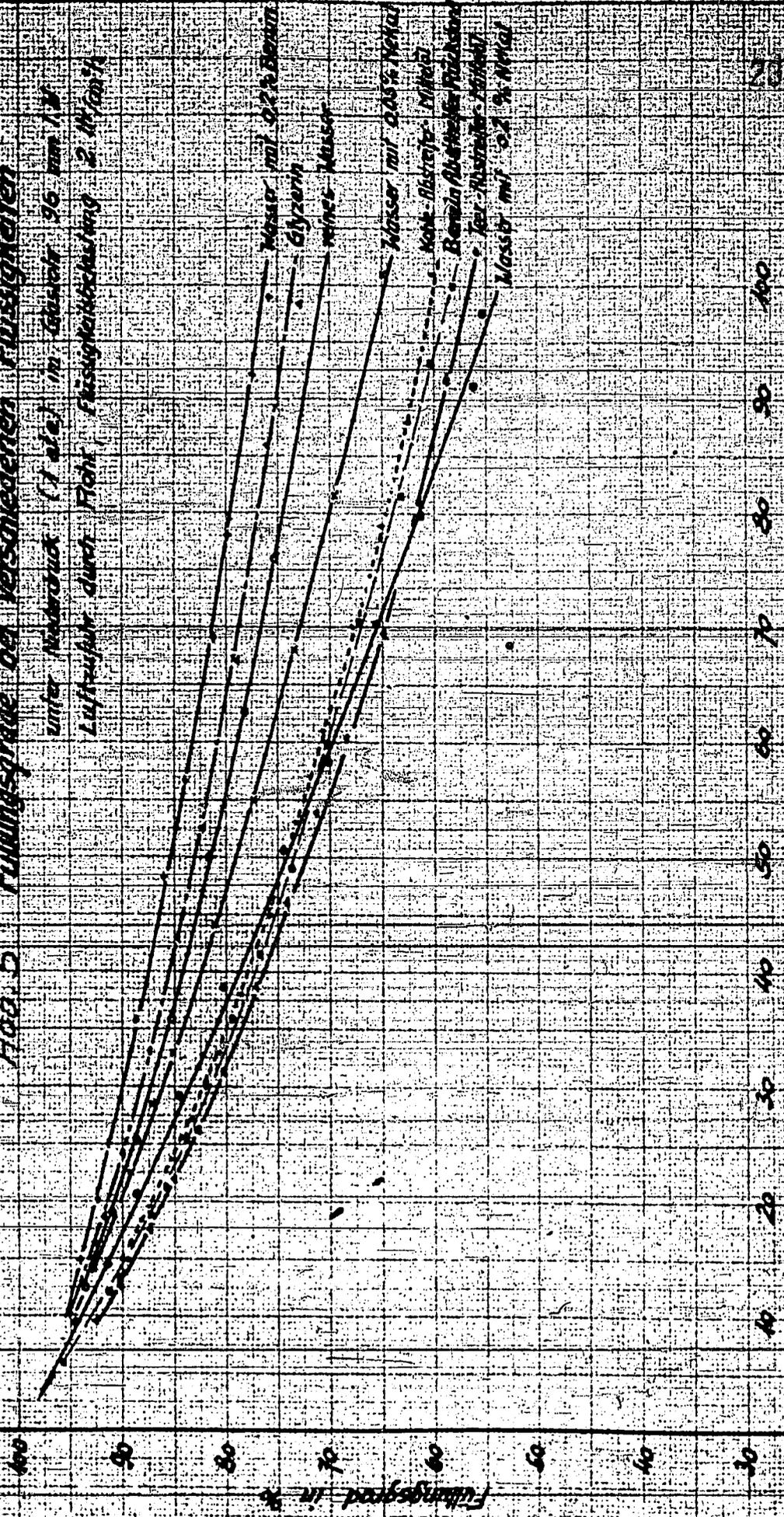
1.) das spezifischen Gewicht der Flüssigkeit einen gewissen Einfluß auf den Füllungsgrad hat, ~~und zwar~~ ~~deswegen~~, weil sich mit Veränderung des spez. Gewichts im gleichen Sinn auch die Auftriebskraft und damit die Steiggeschwindigkeit der Gasblasen ändert. Eine klare Abhängigkeit des Füllungsgrades von spez. Gewicht ist aber deswegen nicht festzustellen, weil sich bei gleichartigen Flüssigkeiten gewöhnlich mit dem spez. Gewicht ~~die Zähigkeit~~ ~~zu~~ ~~wächst~~ oder abnimmt.

2.) die Zähigkeit ebenfalls eine geringe Wirkung hat; bei erhöhter Zähigkeit wird die Steiggeschwindigkeit verlangsamt. Wie spez. Gewicht und Zähigkeit gegeneinanderwirken, zeigt sich bei Glycerin-Wasser-Mischungen aus nachstehender Tabelle

Flüssigkeit	spez. Gew.	Viskosität	Füllungsgrad bei		
			50	70	90 ltr Luft cm <sup>2</sup> h
Glycerin ca 87,5	1,225	16,19	83	78,6	74,8
" ca 82	1,213	7,3	84	79,8	76,2
" ca 71,5	1,165	3,3	82,1	77,7	74,2
Wasser	1,0	1,0	81,5	76,6	72,5

**Abb. 5 Füllungsgrade bei verschiedenen Flüssigkeiten**

unter Normaldruck (1 at.) in einem 96 mm l. H. Luftzylinder durch Fließ-Flüssigkeitsbeschleunigung 2. Wirkung



Gasbelastung in at.

1927

Ammoniakwerk Mersburg  
Gesellschaft mit beschränkter Haftung  
Leuna-Verke (Leuna-Mersburg)

Inst.-Büro. Hyd. Ms. 670.

2156

Beim Uebergang von 87,5 zu 82 %igem Glycerin nimmt die Viskosität sehr stark ab, das spez. Gewicht dagegen nur wenig, sodaß der Füllungsgrad etwas steigt. Bei weiterer Verdünnung verändert sich die Viskosität langsamer, das spez. Gewicht etwas mehr, sodaß der Füllungsgrad wieder kleiner wird.

Daß aber der Einfluß von spez. Gewicht und Viskosität nur gering sein kann, geht daraus hervor, daß durch geringe Zusätze <sup>zu</sup> von Wasser, die spez. Gewicht und Viskosität nicht ändern können, in einem Fall, durch Zusatz von etwas Gasbenzin, der Füllungsgrad merklich erhöht, im andern Fall, durch Zusatz von Nekal, stark erniedrigt wird, wie nachstehende Zahlen zeigen:

	Füllungsgrad bei			ltr Luft cm <sup>2</sup> h
	50	70	90	
Wasser mit 0,2% Gasbenzin	85,3	81,3	78	%
Trinkwasser	81,5	76,6	72,5	
Wasser mit 0,2% Nekal	74	65,5	57,5	

Auch die drei untersuchten Oele zeigen keinen eindeutigen Einfluß von spez. Gewicht und Viskosität.

Flüssigkeit	spez. Gew.	Viskosität	Füllungsgrad bei			ltr Luft cm <sup>2</sup> h
			50	70	90	
Benzin-Abstreifer-Rückst.	0,844	1,2 <sup>0</sup>	73,5	67	61,1	%
Teer-Abstreifer-Mittelöl	0,890	1,28	72,2	64,8	59,1	
Kohle-Abstreifer-Mittelöl	0,920	1,6	74	65,5	57,5	

Ausschlaggebend für den Füllungsgrad ist dagegen, ob sich in der Flüssigkeit kleine Gasblasen bilden und erhalten können, oder ob sich diese wieder zu großen Blasen zusammenballen, d.h. also die Fähigkeit der Flüssigkeit Schaum zu bilden. Für eine schäumende Flüssigkeit ist kennzeichnend, daß zwischen zwei Gasblasen ein Flüssigkeitsfilm bestehen bleibt, der der Vereinigung der Gasblasen einen gewissen Widerstand entgegensetzt, während bei nicht schäumenden Flüssigkeiten dieser Flüssigkeitsfilm leicht zerfällt.

Im allgemeinen gilt, daß reine Flüssigkeiten nicht schäumen und ebensowenig Emulsionen zweier ineinander unlöslicher Flüssigkeiten, sondern nur Lösungen wie z.B. solche von Salzen, Seifen oder dergl. in Wasser. P o u l k erklärt in seiner Gleichgewichts-Schicht-Theorie (Kolloid-Zeitschr. Aug. 1932 Heft 2) die Schaumbildung damit, daß sich in den Flüssigkeitsfilmen zwischen den Gasblasen ein Konzentrationsgefälle an gelöstem Stoff einstellt zwischen dem Kern des Films und seinen beiden Oberflächen einstellt, und daß ein derartiges System der Kraft, die die beiden Oberflächen, d.h. die zwei Gasblasen gegeneinanderdrückt, Widerstand leistet. Ein systematischer Zusammenhang zwischen den verschiedenartigen Lösungsmitteln und der Stärke ihrer Wirkung ist bisher nicht gefunden worden. Es kann sogar eintreten, daß Mischungen bestimmter Lösungen, die jede für sich stark schäumen, in bestimmtem Verhältnis plötzlich jede Schaumfähigkeit verlieren. Bei den schäumenden Oelen ist entsprechend anzunehmen, daß sich in den Flüssigkeitsfilmen ähnliche Konzentrationsunterschiede an leicht bzw. Hochsiedenden Anteilen einstellen. Es konnte beobachtet

23786

werden, daß die Öle der Gaswaschung -reine Mittelöle - durch übergerissene hochsiedende Teer- und Kohleabstreifer-tropfen mit der Zeit immer mehr zum Schäumen gebracht wurden.

Leider gibt es für die Schaumfähigkeit einer Flüssigkeit noch keine einheitliche Meßmethode oder eine Einheit; die Schaumbeständigkeit, gemessen durch die Schaumzerfallzeit von 25 ccm Öl in einem 100 ccm-Schüttelzylinder nach 5 Sekunden Schütteln, hängt direkt nicht mit der Schaumfähigkeit zusammen und gibt keinen Anhaltspunkt für den Füllungsgrad. Von den drei hier untersuchten Ölen hat Benzin-Abstreifer-Rückstand eine Schaumzerfallzeit von ungefähr 15 Sekunden, Teer-Abstreifer-Mittelöl 100 Sek. und Kohle-Abstreifer-Mittelöl ca 200 Sek. Die Unterschiede in den Füllungsgraden sind gering, doch zeigt Teer-Abstreifer-Mittelöl den niedrigsten Füllungsgrad, Benzin-Abstreifer-Rückstand liegt in der Mitte und Kohle-Abstreifer-Mittelöl zeigt den höchsten Füllungsgrad der drei Öle (Abb. 5). Nur in einem Fall machte sich ein gewisser Zusammenhang zwischen Schaumzerfallzeit und Füllungsgrad bemerkbar, nämlich bei der Luftverteilung durch einen Schaumstein in dem Unterschied zwischen Minimum und Maximum. Bei höherer Gasbelastung verschwindet aber auch hier der Zusammenhang mit der Schaumzerfallzeit wieder. (Abb. 6).

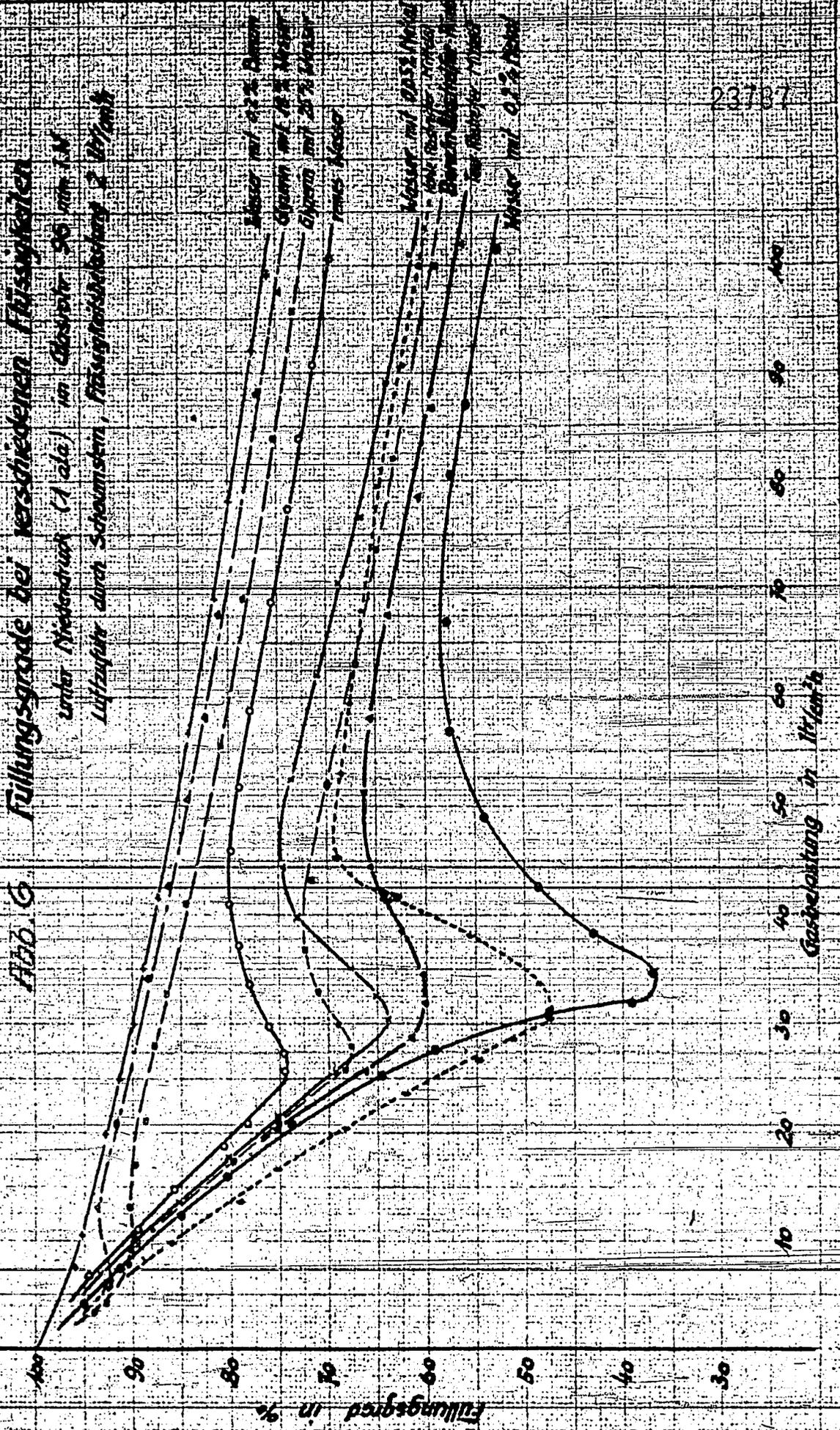
Für die weiteren Untersuchungen, vor allem die unter höherem Druck wurde das Benzin-Abstreifer-Rückstandsöl als ein Öl mittlerer Schaumfähigkeit verwendet, seine kurze Schaumzerfallzeit erleichterte besonders das Fahren des Öls im Kreislauf.

Aus der Erscheinung, daß der Füllungsgrad - abgesehen

16

**Abb. G** Füllungsgrade bei verschiedenen Flüssigkeiten

unter Niederdruck (1 at.) im Abstand 90 mm im  
 Luftrohr durch Scheumstein, Flüssigkeitshöhe 200 mm



Ammoniakwerk Merseburg  
 Chemisches Institut für beschleunigte Halbwert  
 der Verke (Kreis Merseburg)

Ing.-Büro, Hyd. Nr. 870

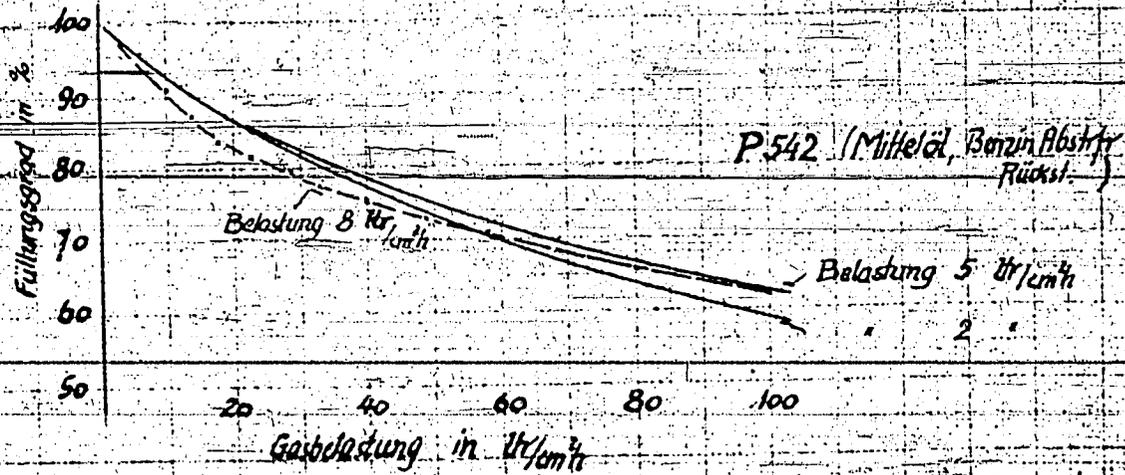
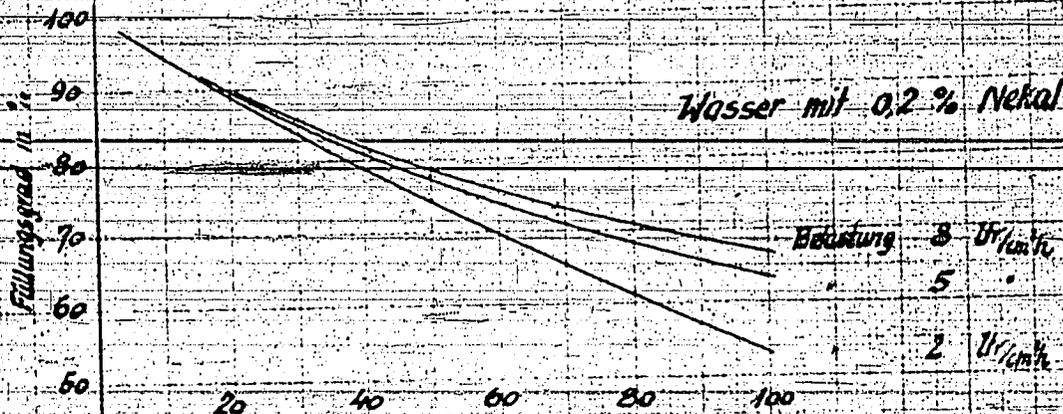
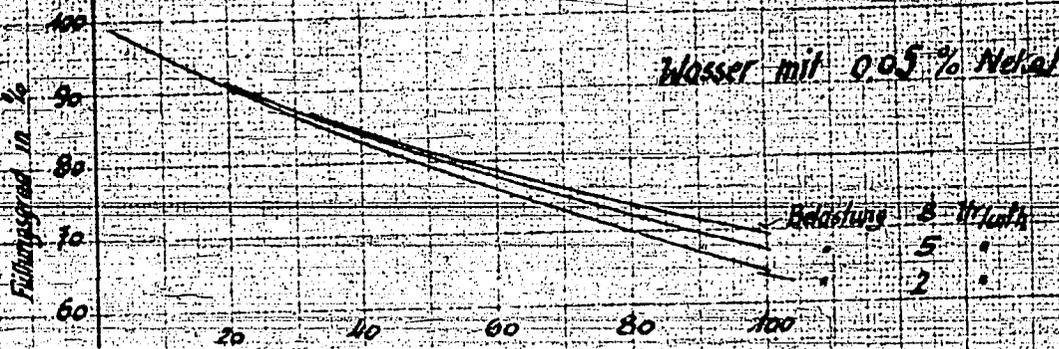
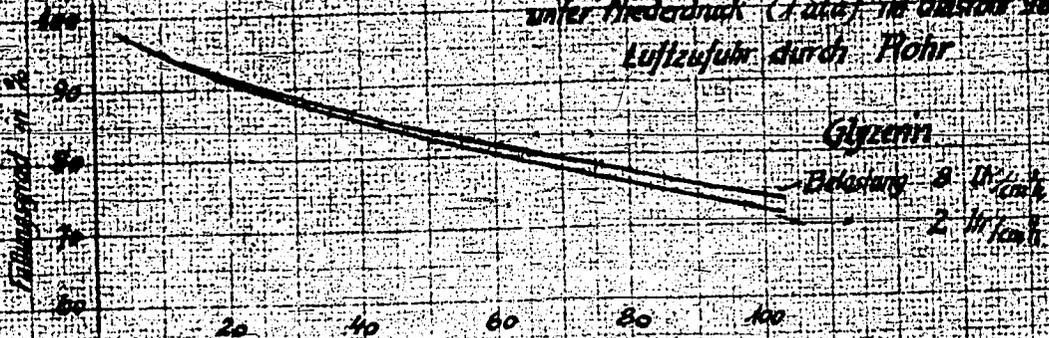
2157 12

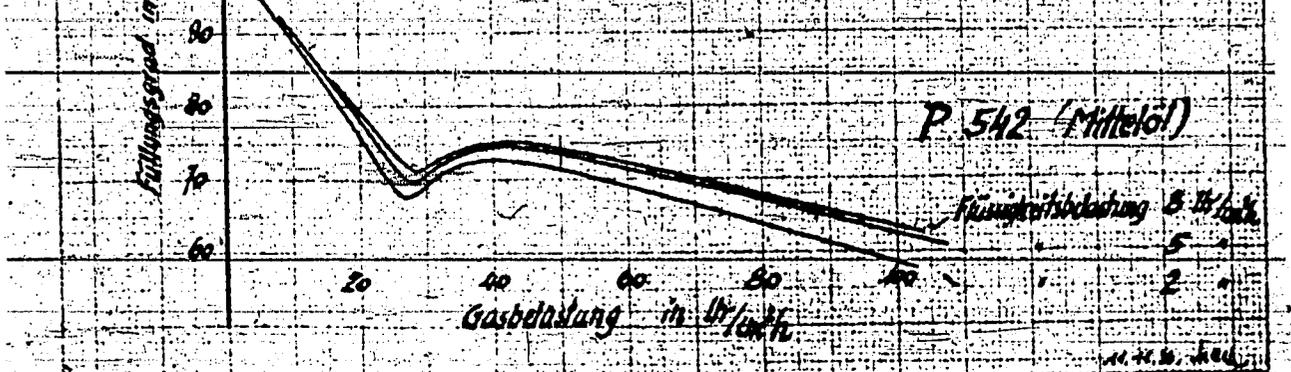
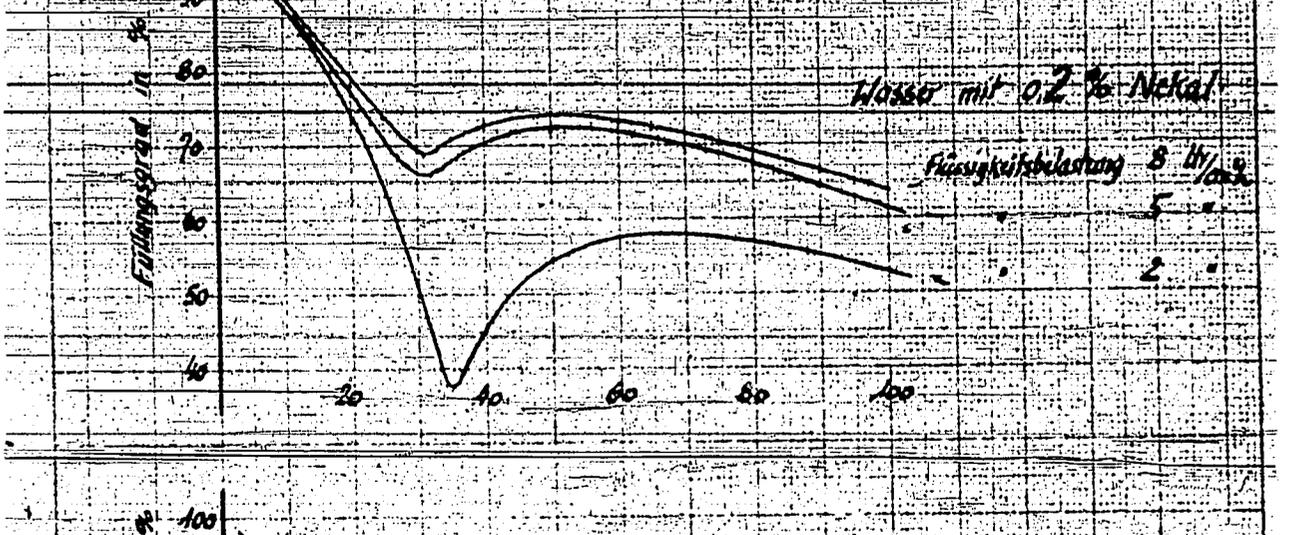
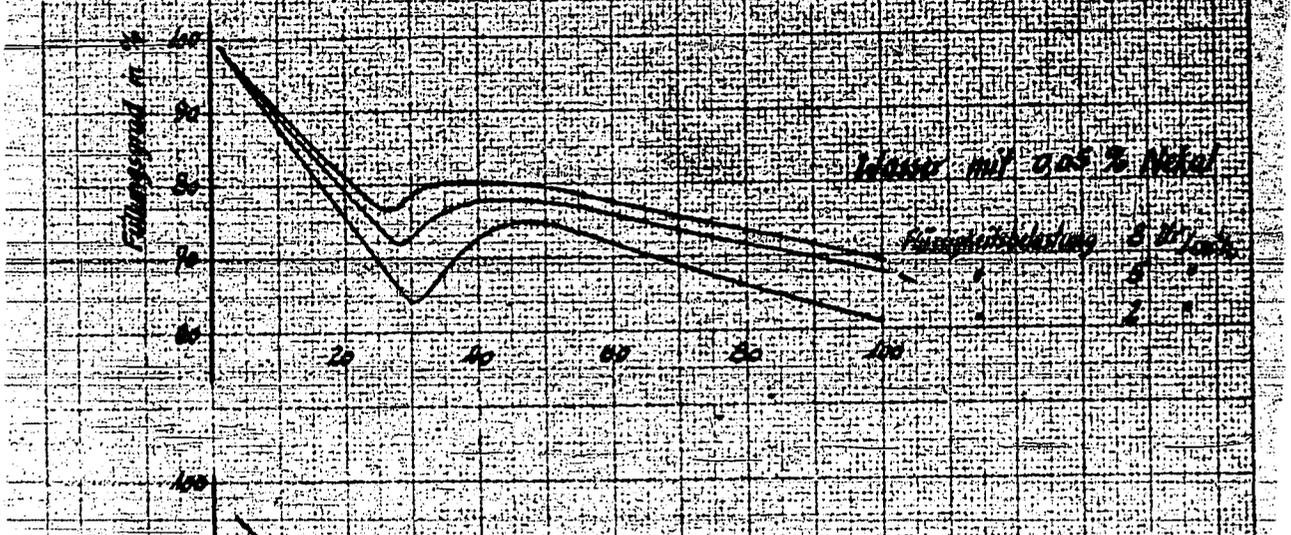
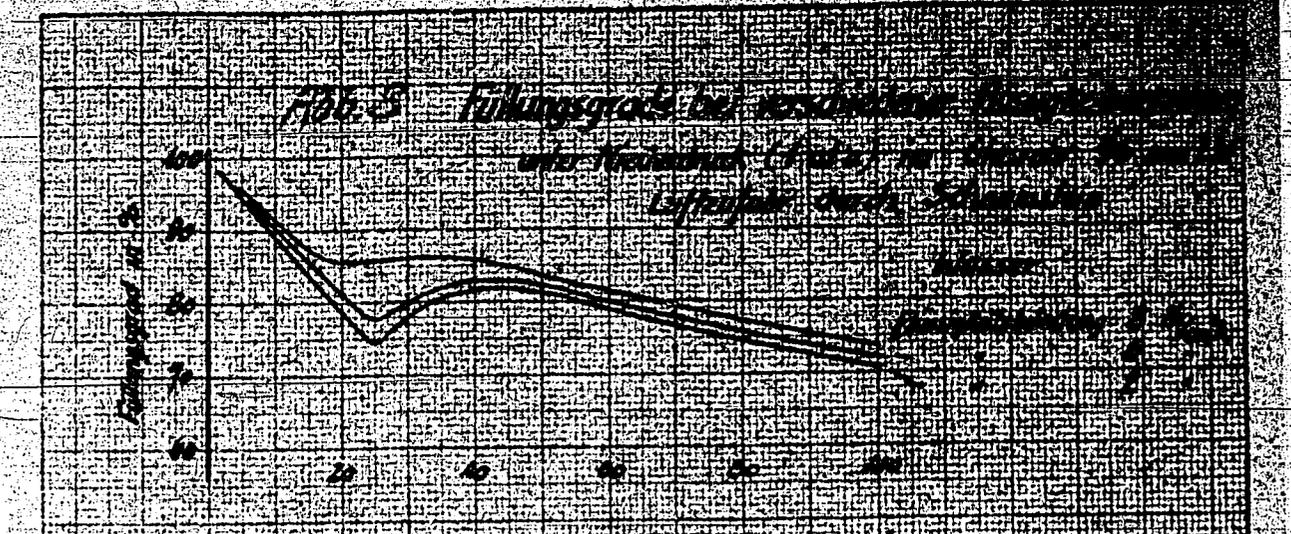
von der Gasmenge - von der Gasblasensteiggeschwindigkeit, diese von der Gasblasengröße und diese wieder <sup>z.T.</sup> von der Schaumfähigkeit der Flüssigkeit abhängt, erklärt sich, daß gerade bei schäumenden Flüssigkeiten die Art der Mischung von Gas und Flüssigkeit, d.h. die Verteilung der Gasblasen eine große Rolle spielt. Und aus der Art der Mischung ergibt sich erst, ob eine Steigerung der Flüssigkeitsbelastung den Füllungsgrad erhöht oder verkleinert.

Bei einer schlechten Mischung, wie sie bei getrennter Gas- und Flüssigkeitszuführung (Fig. 1 der Abb. 3) eintritt, bewirkt eine Steigerung der Flüssigkeitsmenge im allgemeinen eine kleine Erhöhung des Füllungsgrades, da hierbei die größere Flüssigkeitsströmung die absolute Steiggeschwindigkeit der Gasblasen erhöht (obere Kurve der Abb. 7). Es kann aber bei schäumenden Flüssigkeiten und bei der gleichen Anordnung vorkommen, daß z.B. mit der Steigerung der Flüssigkeitsbelastung von 2 auf 5 - 6 ltr/cm<sup>2</sup>h eine Erhöhung und bei weiterer Steigerung wieder eine Abnahme des Füllungsgrades eintritt, das letztere dann, wenn durch die Wirbelung der zuströmenden Flüssigkeit die Gasblasen teilweise zerschlagen werden (untere Kurve der Abb. 7). Bei Zuführung der Luft durch einen Schaumstein tritt bei Steigerung der Flüssigkeitsmenge eindeutig eine Erhöhung des Füllungsgrades ein, besonders auffallend im Bereich der ersten Senkung der Kurven (Abb. 8).

Dagegen zeigt sich bei allen Anordnungen, bei denen eine kräftige Durchwirbelung des Gases und der Flüssigkeit erreicht wird, daß eine Erhöhung der Flüssigkeitsmenge dazu beiträgt, die Gasblasen <sup>feiner zu</sup> mehr zu unterteilen und daß damit der Füllungsgrad sinkt.

Abb. 7 Füllungsgrade bei verschiedener Flüssigkeitsbelastung  
 unter Niederdruck (1 atm) in Glasrohr 26 mm Ø  
 Luftzufuhr durch Rohr





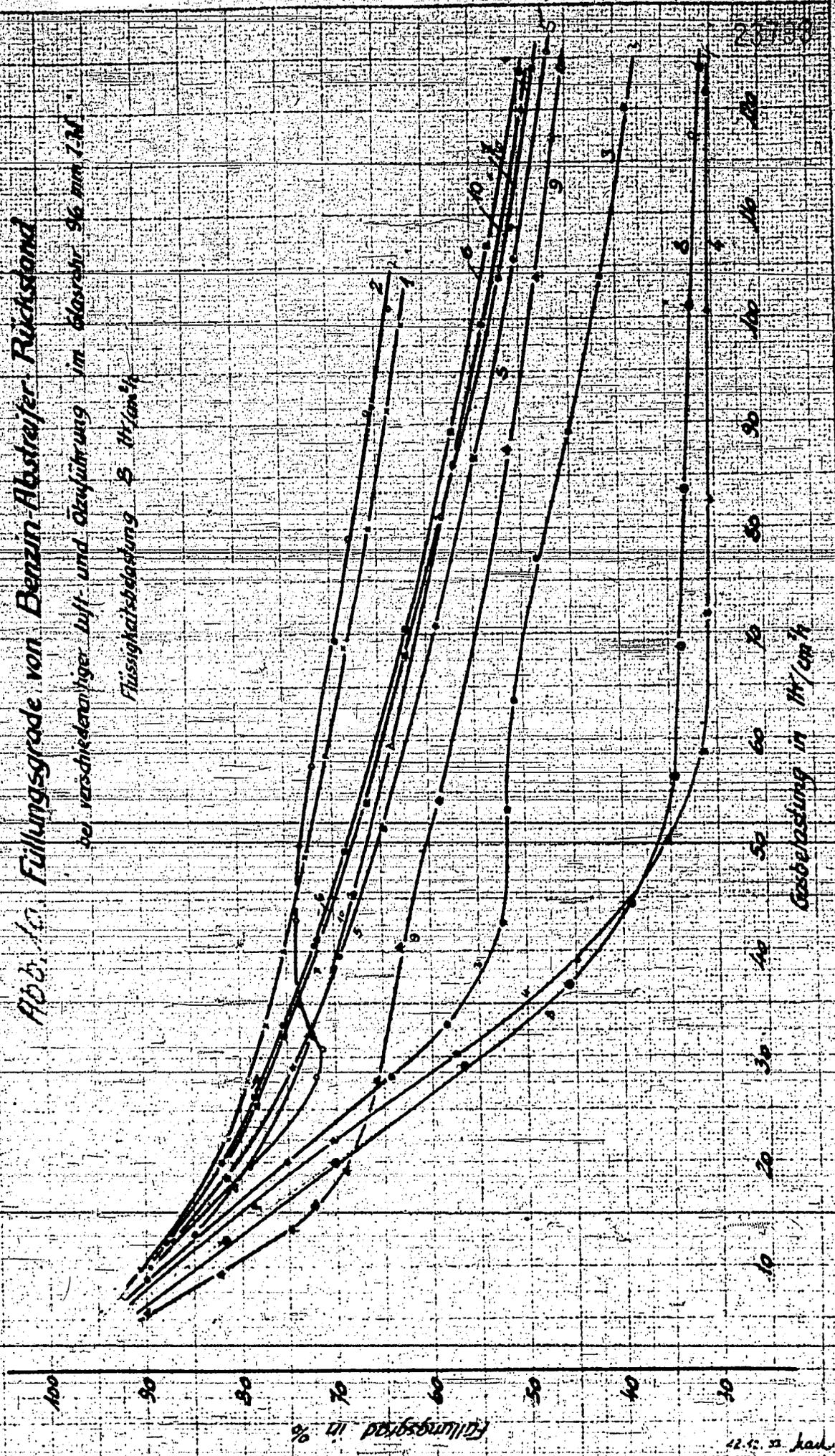
In Abb. 3 sind einige Anordnungen zusammengestellt, nach denen Gas und Flüssigkeit zusammengeführt und gemischt werden können. Alle Arten wurden mit Benzin-Abstreifer-Rückstand untersucht. Die Ergebnisse sind in Abb. 9 für eine Flüssigkeitsbelastung von  $2 \text{ ltr/cm}^2 \text{ h}$  und in Abb. 10 für eine solche von  $8 \text{ ltr/cm}^2 \text{ h}$  wiedergegeben. Die Ziffern an den Kurven entsprechen den Figur-Nummern der Abb. 3. Die Kurven zeigen, daß zwar bei geringer Flüssigkeitsbelastung der Einfluß der Mischungsart auf den Füllungsgrad gering ist. Abgesehen von dem herausfallenden Zweig der Kurve 2 (Luft durch Schaumstein) beträgt der größte Unterschied 3,5 %. Dagegen ergeben sich bei höherer Flüssigkeitsbelastung sehr große Abweichungen. Diese Erscheinung ist so zu erklären, daß die Oelmenge, die nötig ist, um die Gasblasen zu umschließen, umso größer sein muß, je kleiner die Gasblasen sind. Diese erforderliche Menge ist wieder abhängig von der Schaumfähigkeit der Flüssigkeit; bei der mittleren Schaumfähigkeit des hier verwendeten Oels kann selbst bei der stärksten Durchwirbelung in  $2 \text{ ltr/cm}^2 \text{ h}$  das Gas kaum feiner verteilt werden als bei roher Mischung.

Abb. 10 zeigt, daß die beste Mischung bzw. Gasverteilung erreicht wird, wenn Gas- und Flüssigkeitsstrom unmittelbar unter dem Versuchsrohr aufeinanderstoßen (Kurve 4 und 8). Die beiden Kurven zeigen weiter, daß (unter einem bestimmten Druck und mit einer bestimmten Flüssigkeit) der Füllungsgrad schon bei verhältnismäßig geringer Gasbelastung auf ein Minimum sinken kann,



Abb. 10. Füllungsgrade von Benzin-Absorber-Rückstand

bei verschiedener Luft- und Gasführung im Gasrohr 96 mm 1.2.21  
 Flüssigkeitsbelastung 8 ltr/cm<sup>2</sup>h



das auch bei weiterer Erhöhung der Gasmenge kaum mehr unterschritten wird.

Kurve 9 läßt erkennen, daß eine einfache Umlenkung - wohl durch Zentrifugalwirkung - eine weitgehende Entmischung verursacht.

Bei Anordnung 3 ist ebenfalls eine recht gute Gasverteilung zu beobachten, sie ist gegenüber der Anordnung 5, bei der noch ein Einführungstrichter im Versuchsrohr sitzt, dagegen besser, weil durch das Fehlen des Trichters beim Eintritt der Strömung in ~~das~~ Versuchsrohr eine stärkere Wirbelung und zum Teil sogar an der Rohrwand eine Abwärtsbewegung auftritt, während sich <sup>bei einem Trichter die</sup> ~~bei einem Trichter die~~ Strömung gleichmäßig ausbreitet.

Kurve 6 zeigt gegenüber der Kurve 5 wieder eine Mischungsver schlechterung durch die Umlenkung.

Die beiden Versuchsreihen, bei denen in Anlehnung an die tatsächliche Betriebseinrichtung ein Vorheizmodell vor das Versuchsrohr geschaltet war (7 und 9), ergaben nur bei geringer Gasbelastung einen kleinen Unterschied infolge der verschiedenartigen Zusammenführung. Eine solche Gas- und Oelführung kann also eine schlechte Gasverteilung etwas verbessern, eine gute Gasverteilung dagegen verschlechtern. Es ist noch festzustellen, daß bei dieser Anordnung der Füllungsgrad mit Steigerung der Flüssigkeitsbelastung nur wenig, <sup>z.B.</sup> bei 100 ltr Gasbelastung von 56,5 auf 53,5 %, sinkt.

Es ist ohne weiteres anzunehmen, daß da, wo durch Umlenkungen oder abwärtsgerichtete Leitungen eine Entmischung eintreten kann, die Schaumbeständigkeit bzw. die

Schaumzerfallzeit wieder eine gewisse Rolle spielt. Andererseits wird es schwer sein, Schaumfähigkeit und Schaumbeständigkeit des Kohlebreis im Ofen zu messen.

Zu erwähnen ist noch, daß auch die Weite des T-Stückes einen gewissen Einfluß auf die Mischung hat; es ist verständlich, daß die Mischung bei kräftiger Gegen-einanderströmung d.h. in einem engen T-Stück besser ist. Der zu beobachtende Unterschied zwischen einer Zusammenführung in engem und weitem T-Stück ist allerdings nicht groß, immerhin ist er zu bemerken.

Da also die Gasverteilung eine so ausschlaggebende Wirkung auf den Füllungsgrad hat, tritt dagegen der Einfluß des Rohrdurchmessers ganz zurück. Bei einigen Stichversuchen an einem Rohr von 54 mm l.W. konnte auch beobachtet werden, daß nur bei schlechter Gasverteilung der Füllungsgrad niedriger war als in dem Rohr von 96 mm l.W. und zwar nur dann, wenn durch Kolbenwirkung großer Gasblasen, die annähernd den Rohrquerschnitt ausfüllten, viel Flüssigkeit aus dem Rohr geworfen wurde. Bei guter Gasverteilung ergaben sich dagegen meist dieselben, oft sogar etwas höhere Füllungsgrade als im weitem Rohr. In der gleichen Weise <sup>wie im weitem Rohr</sup> wirkt sich auch eine Veränderung der Flüssigkeitsmenge aus. Umgekehrt kann daher eine Vergrößerung des Rohrdurchmessers nur bei ganz großen Gasblasen, dh. bei sehr schlechter Gasverteilung eine Erhöhung des Füllungsgrades und dann auch nur in geringem Maß <sup>bewirken.</sup> verursachen.

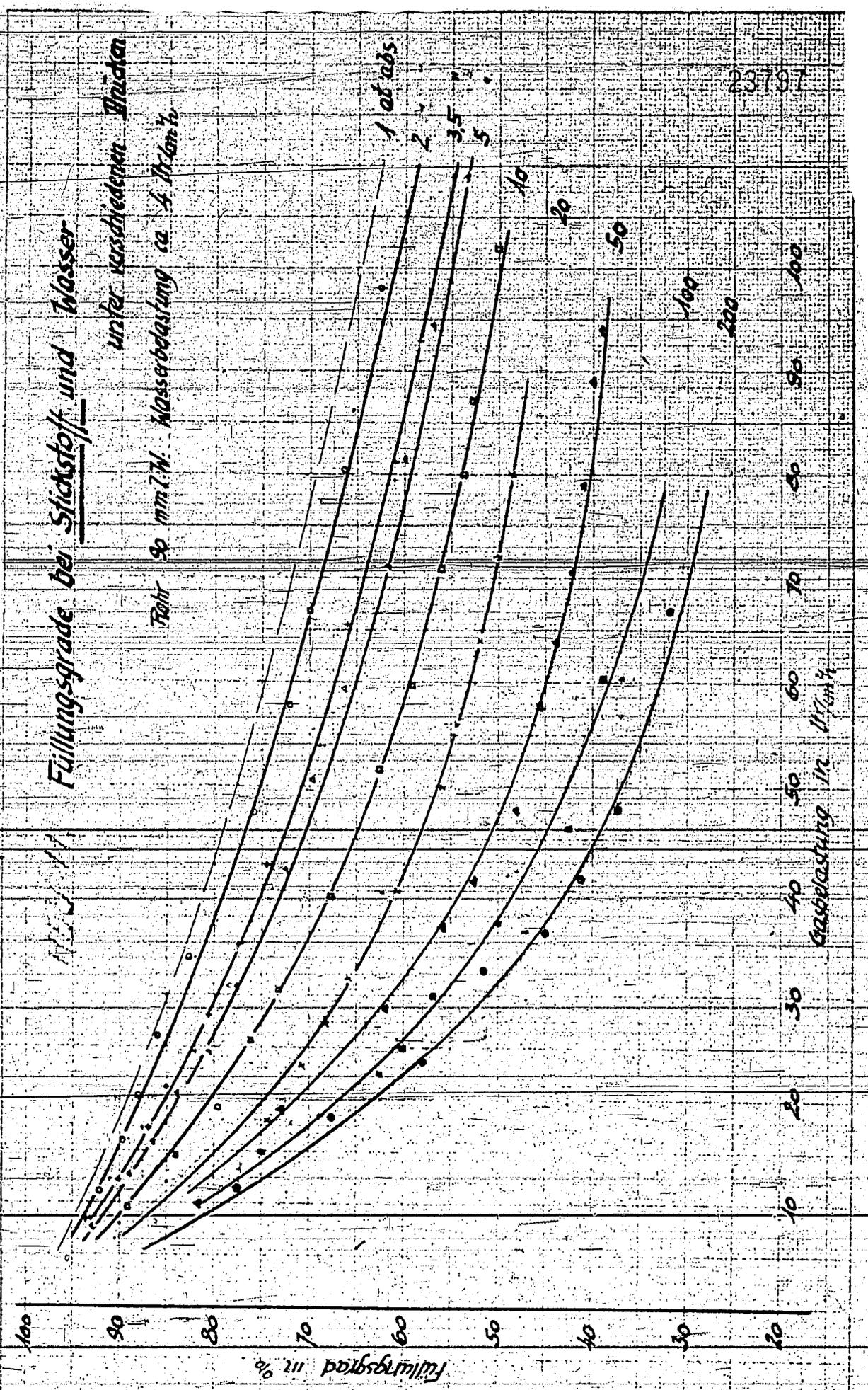
### Ergebnisse der Versuche unter Hochdruck.

Parallel zu den Niederdruck-Versuchen wurden in bestimmter Auswahl Versuche unter höheren Drücken durchgeführt. Zunächst wurden die Füllungsgrade von Stickstoff in Wasser und Kreislaufgas<sup>in Wasser</sup> mit der Anordnung der Abb. 2 bei wachsendem Druck gemessen. Die Versuche wurden dadurch etwas erschwert, daß beide Gase nicht in reinem Zustand zur Verfügung standen, sondern Öl und andere Verunreinigungen, das Kreislaufgas speziell Ammoncarbonat, mit sich führten, die die physikalischen Eigenschaften des Wassers, besonders die Schaumfähigkeit veränderten.

Bestimmt wurden die Füllungsgrade bei 2, 3, 5, 10, 25, 50, 100 und 200 at abs<sub>x</sub> bei einer konstanten Flüssigkeitsbelastung von ca 4 ltr/cm<sup>2</sup> h. Die mit Stickstoff und Wasser gefundenen Werte sind in Abb. 11, die für Kreislaufgas und Wasser in Abb. 12 zusammengestellt. Wie nicht anders zu erwarten nimmt der Füllungsgrad mit steigendem Druck erheblich ab. Die treibende Kraft für das Aufsteigen der Gasblasen ist der Unterschied im spez. Gewicht zwischen Gas und Flüssigkeit; mit zunehmendem Druck d.h. geringerem Auftrieb muß die Steiggeschwindigkeit der Gasblasen und damit der Füllungsgrad kleiner werden. In Abb. 13 sind die Füllungsgrade bei 25, 50 und 75 ltr/cm<sup>2</sup> h Gasbelastung für beide Gase über dem durch den Druck sich ergebenden Auftrieb aufgetragen. Es ergibt sich wenigstens bei den beiden oberen Kurven bis herab zu einem Auftrieb von 970 kg/m<sup>3</sup> eine ganz gute Uebereinstimmung der beiden Gase.

Füllungsgrade bei Stickstoff und Wasser

unter verschiedenen Drücken  
 Rohr 90 mm i. N. Wasserbelastung ca. 4. Norm m<sup>2</sup>



23787

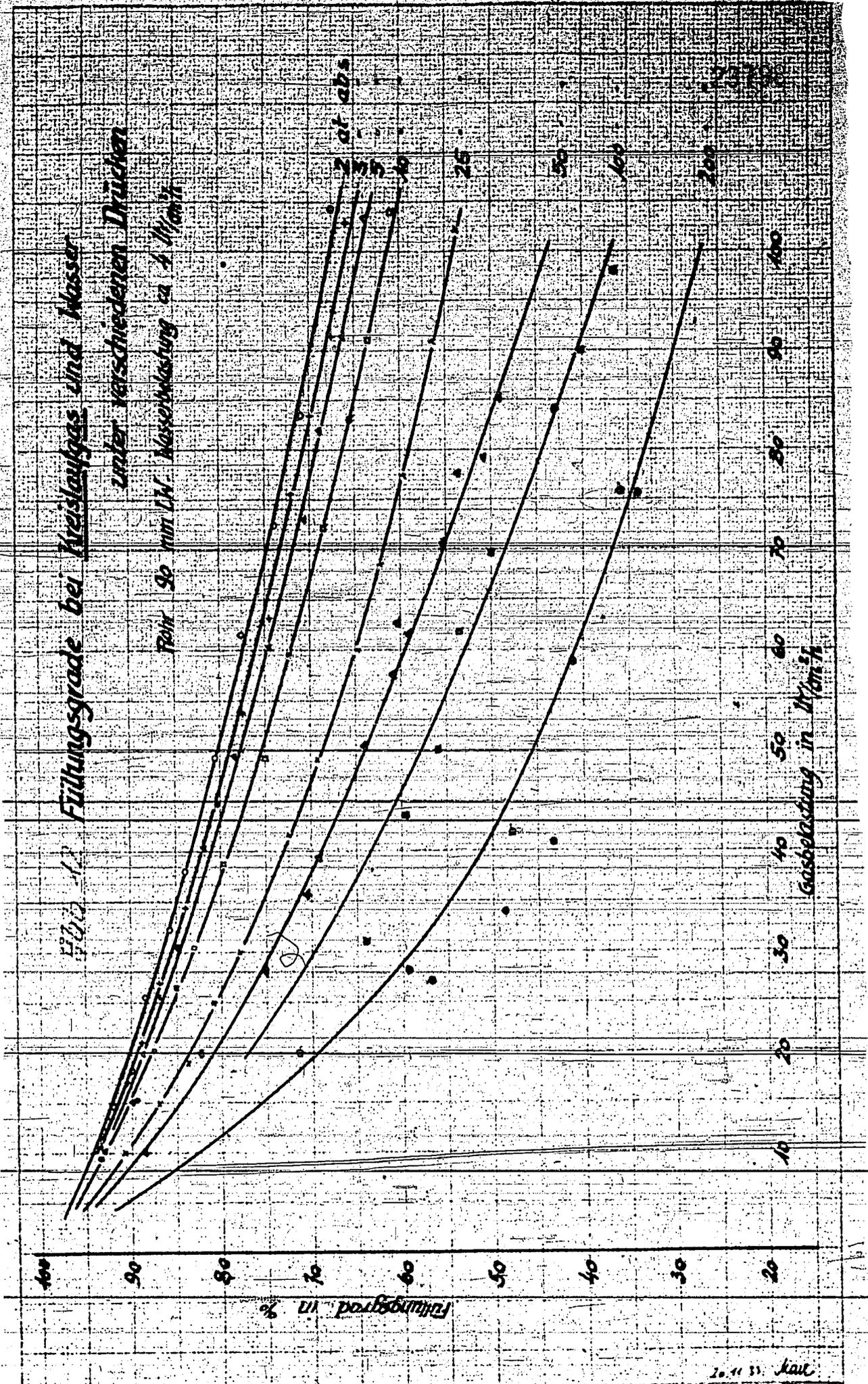
20.11.37. Hall

2184<sup>27</sup>

**Fig. 11 Füllungsgrade bei Kreislaufgas und Wasser**

unter verschiedenen Drücken

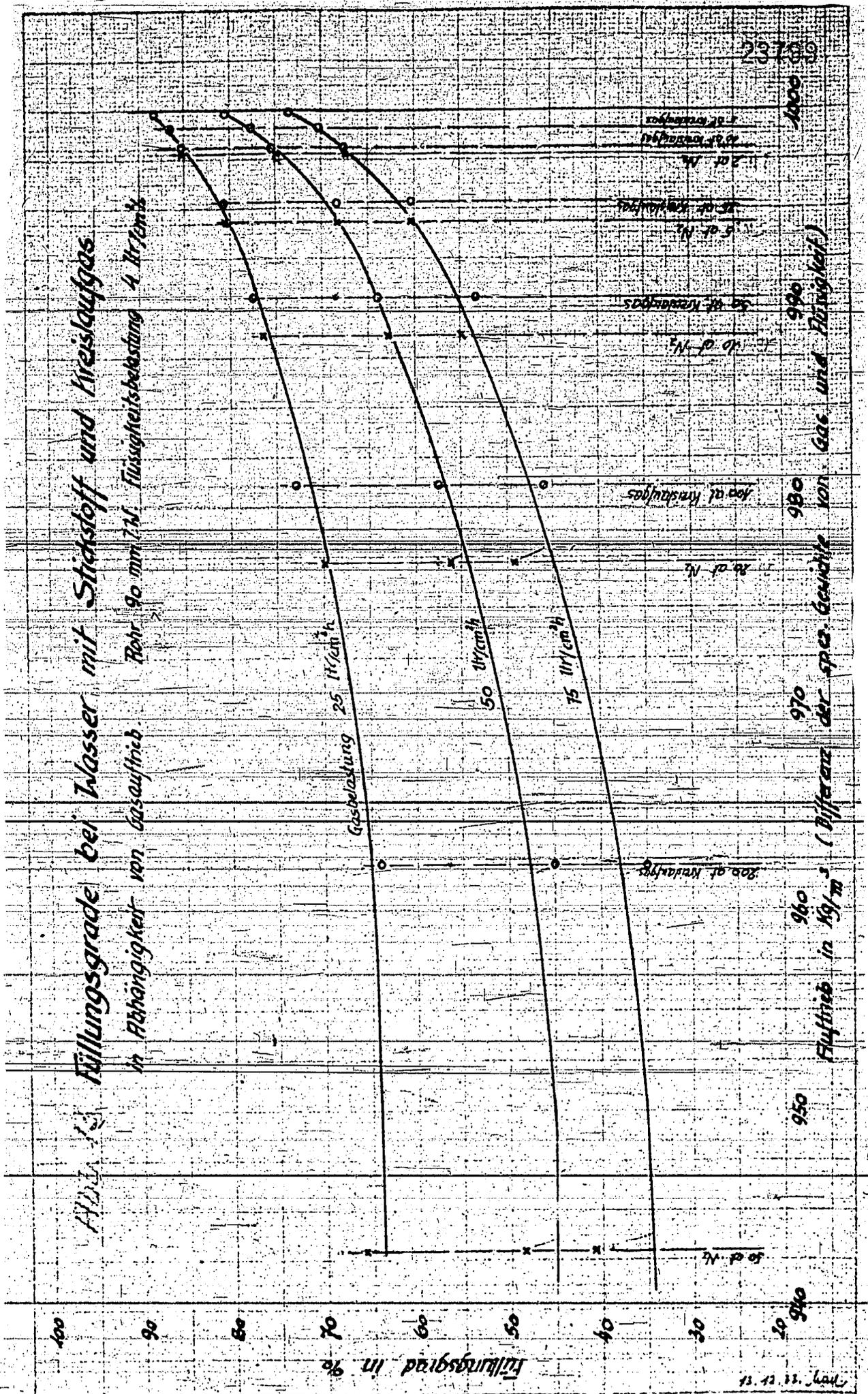
Rein 90 min DW Wasserbelastung ca 1 l/min



Ammoniakwerk, Meuselburg  
 Betrieb der Kälte- und Trocknung  
 (Dona-Werke, ca. 1930)

20.11.31. Kaut.

11.11.31



Antonias Werk Merseburg  
 Leuna-Werke Kassel Merseburg

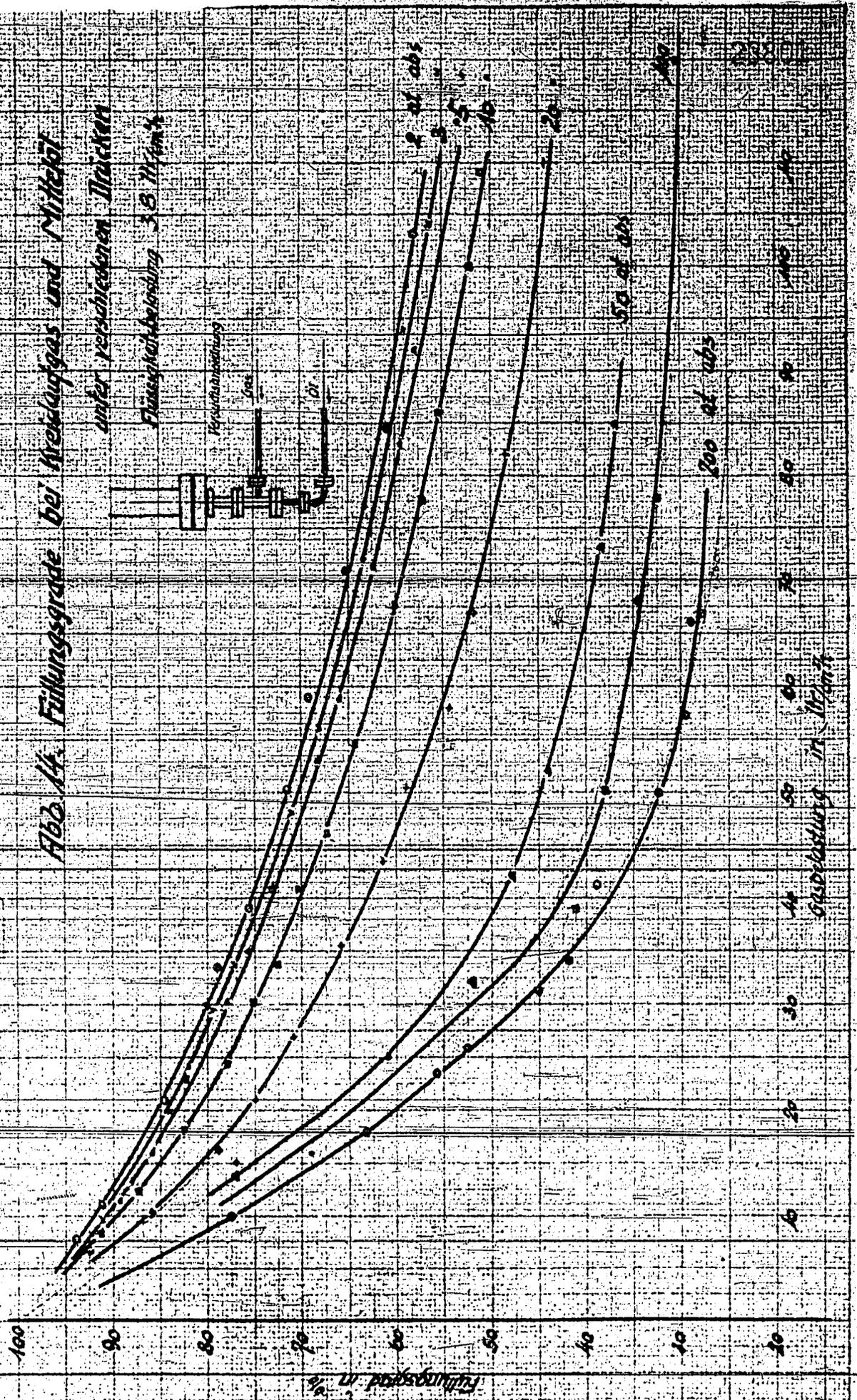
13. 12. 33. 1001

Daß bei höheren Drücken die Füllungsgrade von Kreislaufgas kleiner sind als die von Stickstoff, kann wohl damit erklärt werden, das Wasser durch die höhere Gasaufnahme von Wasserstoff spezifisch etwas leichter wird und mehr zum Schäumen neigt. Ein allgemein gültiger funktioneller Zusammenhang von Füllungsgrad und Auftrieb bzw. Druck konnte nicht gefunden werden, weil sich bei der Drucksteigerung anscheinend auch die Schaumfähigkeit und die Gasverteilung d.h. die Gasblasengröße ändert. Es müßte nämlich sonst erwartet werden, daß die Steiggeschwindigkeit und mit ihr der Füllungsgrad direkt proportional dem Auftrieb abnimmt.

Da die Mischungsverhältnisse denen der Fig. 1 der Abb. 3 ähnlich sind - das weite T-Stück (24 Ø) unter dem Versuchsrohr bringt keine starke Durchwirbelung - so konnte auch bei Steigerung der Flüssigkeitsbelastung eine geringe Zunahme des Füllungsgrades beobachtet werden. Größere Versuchsreihen mit veränderter Flüssigkeitsbelastung wurden nicht durchgeführt, immerhin wurde festgestellt, daß der Füllungsgrad, der bei einer Flüssigkeitsbelastung von 2 ltr/cm<sup>2</sup> z.B. 43 % betrug, bei 4 ltr/cm<sup>2</sup> h auf ca 44 % und bei 8 ltr/cm<sup>2</sup> h auf ca 45 % stieg. Die Unterschiede waren bei absolut niedrigerem Füllungsgrad noch etwas kleiner größer, bei absolut höherem etwas kleiner, blieben aber in dieser Größenordnung.

Mit derselben Versuchsanordnung wurden dann die entsprechenden Versuchsreihen mit Benzin-Abstreifer-Rückstand durchgeführt. Die Ergebnisse (Abb. 14) zeigen,

Abb. 14. Füllungsgrade bei Weisungsges und Mittelwert  
 unter verschiedenen Marken  
 Flüssigkeitsbehandlung 3,8 Prozent



Aminonikwerk Merseburg  
 Gesellschaft mit beschränkter Haftung  
 Leuna-Werke (Leuna-Merseburg)

10. 10. 1930

218131

1000-376

daß die Füllungsgrade entsprechend der höheren Schaumfähigkeit des Oels im selben Maß wie bei den Niederdruck-Versuchen tiefer liegen.

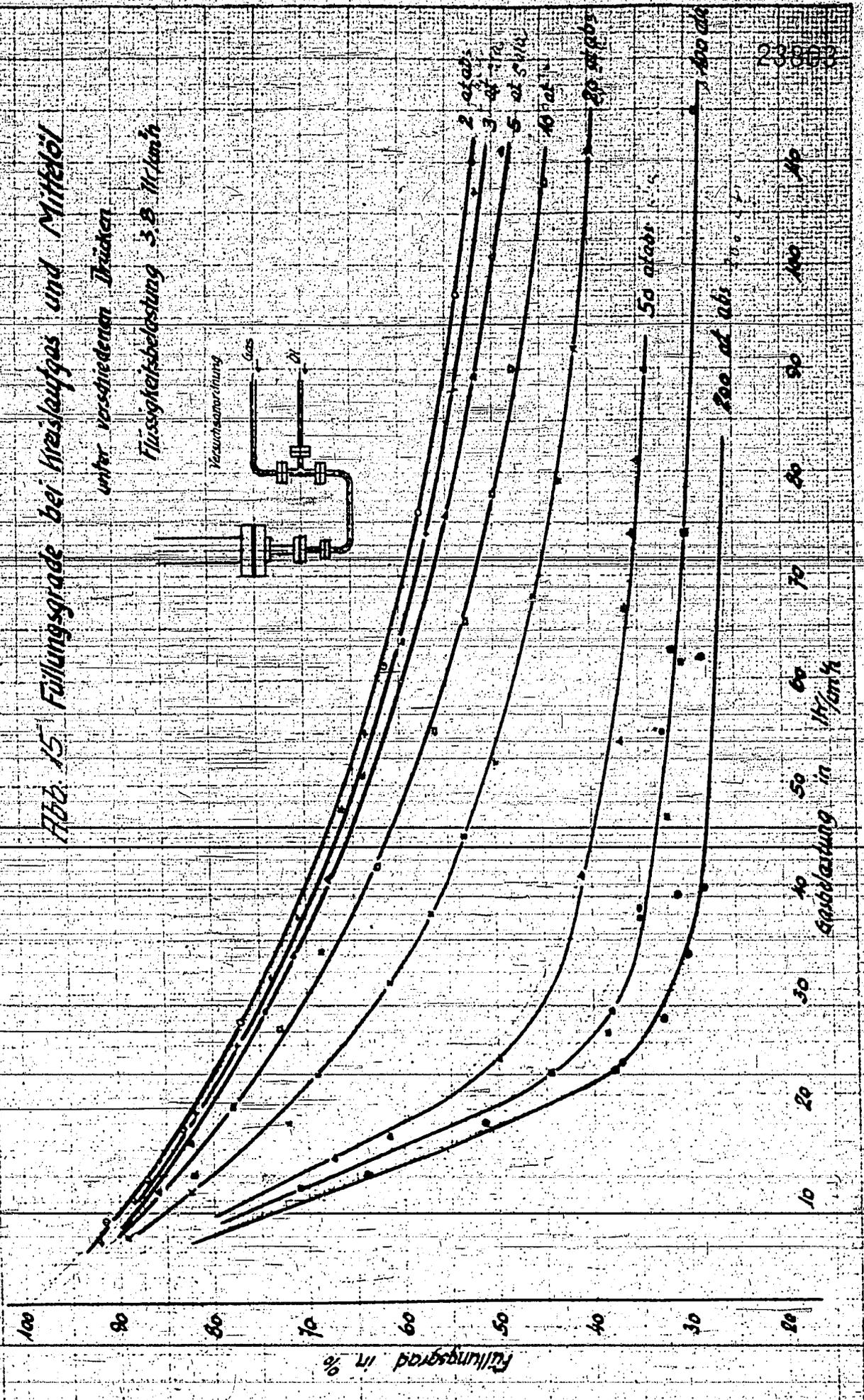
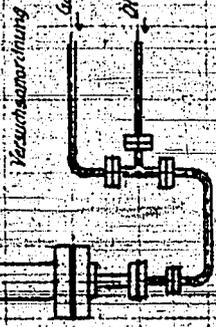
Da inzwischen bei den Versuchen an der Glasapparatur festgestellt war, wie groß der Einfluß der Gas- und Oelverteilung sein kann, wurden dieselben Versuchsreihen noch einmal mit einer Anordnung durchgeführt, bei der Gas und Oel in einem besonders engen T-Stück in einem gewissen Abstand vom Versuchsrohr vereinigt wurde. Die dabei gefundenen Kurven (Abb. 15) zeigen, daß die Füllungsgrade hier tatsächlich merklich niedriger sind. Weiter ist aus den Kurven für 100 und 200 at zu ersehen, daß ganz ähnlich wie bei den Kurven 4 und 8 der Abb. 10 sich schon bei verhältnismäßig niedriger Gasbelastung das Füllungsgrad-Minimum einstellen kann, aus dem es kann daraus entnommen werden, daß die bei den 800 er Oefen der Kohle-Vierfachkammern übliche Gasbelastung von ca  $90 \text{ ltr/cm}^2 \text{ h}$  auf weniger als die Hälfte gesenkt werden muß, ehe eine merkliche Erhöhung des Füllungsgrades eintritt.

Ebenso wie bei den gleichartigen Versuchen unter Niederdruck konnte gefunden werden, daß hier mit Erhöhung der Flüssigkeitsbelastung der Füllungsgrad erheblich abnimmt, allerdings zeigten sich größere Unterschiede bei 200 at nur in dem Bereich zwischen Gasbelastungen von 10 und 30  $\text{ltr/cm}^2 \text{ h}$ . In dem flach-verlaufenden Teil der Kurve waren die Unterschiede nur wenige %.

Um den Verhältnissen an den großen Oefen noch näher zu kommen, wurde auch an der Hochdruckapparatur

**Abb. 15 Füllungsgrade bei Kreislaufgas und Mittelöl**

unter verschiedenen Drücken  
 Flüssigkeitsbelastung 3,3 l/min/h



Ammonerwer, M...  
 ...  
 ...

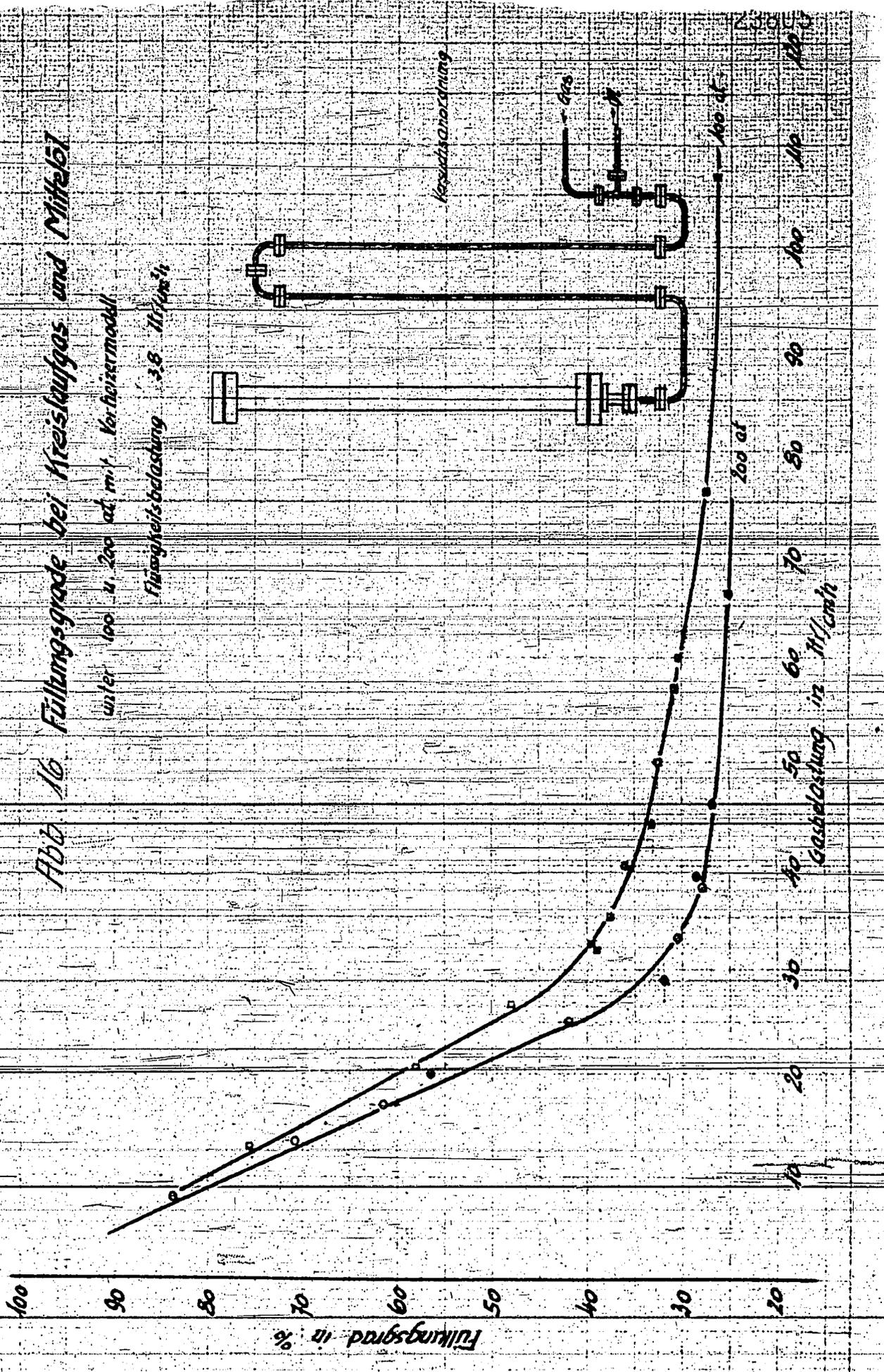
18033

Zwischen Mischungsstelle und Versuchsrohr noch ein Vorheizermodell geschaltet, dessen Weite ungefähr die gleiche Strömungsgeschwindigkeit wie am großen Ofen brachte. Versuchsreihen wurden mit 100 und 200 at durchgeführt (Abb.16). Die Kurvenäste für Gasbelastungen bis zu ca 55 bzw. 40 ltr/cm<sup>2</sup> h liegen - wieder wie bei den Niederdruckversuchen - zwischen denen der beiden vorher beschriebenen Versuchsreihen. Bei höherer Gasbelastung ergaben sich etwas niedrigere Füllungsgrade, vielleicht dadurch verursacht, daß an dem Tage des Versuchs die Oeltemperatur besonders niedrig und damit die Gasaufnahme und Schaumfähigkeit höher war. Bemerkenswert ist, daß bei dieser Anordnung eine Steigerung der Flüssigkeitsmenge eine Abnahme des Füllungsgrades zur Folge hatte, aber diese Abnahme war ähnlich dem Versuch mit dem Vorheizermodell unter Niederdruck nicht beträchtlich. z.B. sank der Füllungsgrad in einem Fall bei Erhöhung der Flüssigkeitsbelastung von 2,5 auf 3,7 ltr/cm<sup>2</sup> h von 61,5 auf 60 % und bei weiterer Erhöhung auf 7,6 ltr/cm<sup>2</sup> h auf 59 %. Es stellt sich demnach in einem solchen Vorheizermodell ein Mittelwert zwischen besonders guter und schlechter Gas- und Oelverteilung ein. Es kann allerdings nicht ohne weiteres beurteilt werden, wie weit sich diese Anordnung mit den tatsächlichen Vorheizern vergleichen läßt, bei denen zu der viel verwickelteren Strömung noch eine Schaumentwicklung durch das Verdampfen eines Teils der Oele hinzukommt.

Abb. 16 Füllungsgrade bei Kreislaufgas und Mittelöl

unter 100 u. 200 at mit Verfeinermodell

Flüssigkeitsbelastung 3.8  $\frac{kg}{m^2 \cdot h}$



15.11.33. Kad.

35

Zusammenfassung.

Die Versuche zur Bestimmung des Füllungsgrades in Hochdrucköfen haben ergeben, daß hauptsächlich vier Größen Einfluß auf den Füllungsgrad haben: Gasbelastung, Druck, Schaumfähigkeit der Flüssigkeit und Gasverteilung in der Flüssigkeit. Maßgebend ist neben der Gasmenge die Steiggeschwindigkeit der Gasblasen, denn mit ihr wächst der Füllungsgrad. Erhöhter Druck bringt geringen Unterschied im spez. Gewicht von Gas und Flüssigkeit und damit geringeren Auftrieb der Gasblasen. Da weiter die Steiggeschwindigkeit proportional der Gasblasengröße zunimmt, so wird auch der Füllungsgrad umso niedriger, je mehr die Gasblasen verkleinert werden, d.h. hoher Füllungsgrad und gute Gasverteilung schließen sich aus. Schließlich haben die Gasblasen in einer Flüssigkeit <sup>mit guter Schaumfähigkeit</sup> das Bestreben, sich zu unterteilen und in geringerer Größe aufzusteigen, dagegen suchen sie sich in einer Flüssigkeit mit schlechter Schaumfähigkeit zu großen Blasen zusammenzuballen.

Jedenfalls muß aus den Ergebnissen entnommen werden, daß eine merkliche Verbesserung der Füllungsgrades in den Kohleöfen nur dann erreicht wird, wenn der Ofenquerschnitt auf mehr als das Doppelte vergrößert, bzw. die Querschnittsbelastung auf weniger als die Hälfte gesenkt wird. Sonst könnte der Füllungsgrad nur auf Kosten der Gasverteilung verbessert werden, d.h. dadurch daß die Gasblasen künstlich vergrößert werden.

15. XII. 33.

Mach