

V.S.S.B.S.
Team 46
du

I. G. Ludwigshafen

Technische Versuchsgruppe

Lu 104 a

BETRIEBSMESSUNGEN AN DER WASSERGAS-
ANLAGE VT 114 DER ANORGANA GENDORF.

Lu II 72

Bericht Nr. 231

Dr.-Ing. Meier.

Sein oberes Leinwand

direktor des. Eyndelgen

Lit 10



Alp
Hof

IG. LUDWIGSHAFEN
Technische Versuchsgruppe
Lu 104a

Bericht Nr. 231/1

BETRIEBSMESSUNGEN AN DER WASSERGASANLAGE VT 114
DER ANORGANA GENDORF.

Die untersuchte Anlage wurde von Francke-Werke A.G., Bremen, 1940/41 erbaut und dient zur Erzeugung von Wasserstoff in einer Menge von $2600 \text{ Nm}^3/\text{Stunde}$. Sie besteht aus drei Teilen, die auch räumlich voneinander getrennt sind, nämlich Wassergaserzeugung, Wasserstofferzeugung und Wasserstoffreinigung (vergl. Bild 1).

Das Wassergas wird in fünf Generatoren nach dem üblichen, periodischen Verfahren erzeugt. Die Betriebsweise eines Generators ist kurz folgende: Während 1 Minute wird die glühende Koksfüllung durch den Gebläsewind warmgeblasen und hierauf dem Generator 4 Minuten lang Wasserdampf zugeführt. Durch dessen Spaltung und durch die unvollkommene Verbrennung des Kohlenstoffes mit dem freigewordenen Sauerstoff wird das im wesentlichen aus Wasserstoff und Kohlenmonoxyd bestehende Wassergas gebildet. In der durch Kühlwasser berieselten Koksfüllung des nachgeschalteten Wäschers wird der im Ueberschuss zugeführte Wasserdampf auskondensiert und die staubförmigen Verunreinigungen zum grossen Teil zurückgehalten. Das gereinigte Gas wird über Sammelleitung, Gasometer und Wassergasgebläse den 10 Wasserstofferzeugern zugeleitet. Die Wasserstofferzeuger, die ebenfalls periodisch arbeiten, enthalten eine Füllung aus Raseneisenerz in glühendem Zustand. Das von unten in diese Füllung während 10 Minuten eintretende Wassergas verbrennt unter gleichzeitiger Reduktion des Eisenerzes. Die heißen Verbrennungsgase, deren noch unverbrannter Wassergasanteil mit der oben am Erzeuger zugeführten Luft verbrannt wird, durchströmen den zentral angeordneten Regenerator sowie den Wassergasvorwärmer. Bei der nun folgenden Gasung von 5 Minuten Dauer wird dem Erzeuger in umgekehrter Richtung Wasserdampf zugeführt. Der Dampf wird zunächst im Regenerator hoch erhitzt und in der reduzierten Erzfüllung gespalten, wobei sie wieder oxydiert wird. Der durch Kohlendioxyd und Schwefelverbindungen noch verunreinigte Wasserstoff wird im Wäscher von dem überschüssigen Wasserdampf und den mitgeführten Staubteilchen befreit und der Reinigeranlage zugeleitet. Im ersten koksgefüllten Kasten dieser Anlage wird eine Feinreinigung von Staub und grober Feuchtigkeit vorgenommen, während in der Luxmasse des zweiten Kastens die Schwefelverbindungen und in der Kalkfüllung des dritten Kastens das Kohlendioxyd entfernt werden. Ueber einen Drehkolbenmesser strömt der Wasserstoff schliesslich dem Wasserstoffgasometer zu.

Die vorliegenden Messungen wurden vorgenommen, um für die geplante Erweiterung der Anlage Unterlagen zu gewinnen. Hierzu ist vor allem die genaue Kenntnis der in dem ausgedehnten Rohrleitungsnetz auftretenden Drucke und Druckverluste erforderlich, auf Grund derer die neu aufzustellenden Wassergasgebläse bemessen werden können. Die bestehende Anlage weist zudem in strömungstechnischer Hinsicht Mängel auf,

deren Auswirkung erst aus den Meßergebnissen klar zu ersehen ist, um gegebenenfalls Abhilfe zu schaffen. Die Untersuchung umfasst sowohl je einen Wassergasgenerator und Wasserstofferzeuger mit ihren Wäschern, als auch die Tauchungen, das Wassergasgebläse und die Rohrleitungen. Die Druckmessungen an den Apparaturen und Rohrleitungen ergeben jedoch nur bei bekannten durchgesetzten Gasmengen einen sicheren Anhalt für die bei der vorgesehenen Verbesserung und Vergrößerung der Anlage vorzunehmenden Änderungen. Es erwies sich daher als notwendig, wenigstens die von einem Generator gelieferte und von einem Wasserstofferzeuger verarbeitete Gasmenge mittels Meßblenden zu messen. Hierzu zwangen auch die durch die periodische Arbeitsweise der Apparaturen verursachten starken Schwankungen der Drucke und Mengen, damit eine Zuordnung der Meßgrößen möglich wurde. Der Einbau von Meßblenden gestattete auch die Aufnahme von Druck/Mengen-Kennlinien im Bereich der durch wahlweises Zusammenarbeiten der Generatoren und Erzeuger veränderlichen Gasmenge. Es war weiter beabsichtigt, durch die Messung der während der Gasungszeiten verbrauchten Dampfmenge die Wirtschaftlichkeit der Anlage etwas zu beleuchten. Schließlich bestand noch das Bedürfnis nach einer Kontrollmöglichkeit der einzustellenden Dampf- bzw. Gasmengen der Apparaturen, um ein dauernd gleichmässiges und günstigstes Arbeiten der Anlage sicherzustellen. Zu diesem Zweck bleiben die betreffenden Blenden eingebaut und die übrigen Generatoren und Erzeuger werden mit ebensolchen Blenden versehen. Da die Druckschwankungen des Wassergases im Verhältnis zum absoluten Druck nur gering sind, sind sie auf die Meßgenauigkeit der Betriebsmessungen ohne wesentlichen Einfluss. Die gemessenen Wassergas- und Wasserstoffmengen wurden zur Aufzeichnung der Schaubilder stets in Normalkubikmeter (0° , 760 mm QS) umgerechnet.

Die zu ermittelnden Drucke wurden im allgemeinen als Ueberdrucke gegen Atmosphärendruck gemessen. Nur in jenen Fällen, in denen die Druckunterschiede an aufeinanderfolgenden Meßstellen zu gering waren, um sie mittelbar aus den Ueberdrucken zu bestimmen, wurde die Differenzmessung vorgezogen. Das Schema der Anlage, in dem sämtliche Meßstellen eingetragen sind, zeigt Bild 1.

A. Messungen am Wassergasgenerator und -wäscher.

Die Untersuchung wurde am Generator 2 während des Gasens vorgenommen. Die Blende zur Messung der erzeugten Wassergasmenge war in der geraden Sammelleitung nach dem Eintrittsstutzen des Wassergases eingebaut. Der Generator 1 war z.Zt. der Messungen wegen Instandsetzungsarbeiten ausser Betrieb. Die Lage der Dampfblende und der Druckmeßstellen ist aus dem Schema der Anlage ersichtlich. Es wurden gemessen:

P_1 Druck unten am Generator

- P_2 Druck oben am Generator
 - P_3 Druck vor der Tauchung des Wäschers
 - P_4 Druck nach der Tauchung des Wäschers
 - P_5 Druck nach dem Wäscher (nach Krümmer und Schieber)
 - P_{DI} Frischdampfdruck vor Ventil
 - D_I Dampfmenge
 - V_1 Wassergasmenge in Betriebskubikmeter/h (V_{10} in Normalkubikmeter, 0°C , 760 mm QS)
 - t_1 Temperatur des Wassergases nach Wäscher (vor Meßblende)
- Zusammensetzung des Wassergases während einer Gasung.

Die Betriebsweise der Generatoren ist derart, dass während des eine Minute dauernden Blasens die Koksfüllung durch die von unten eintretende Gebläseluft auf die notwendige Temperatur aufgeheizt wird. Bei der darauf folgenden Gasung von 4 Minuten Dauer wird der Dampf bei zwei Perioden von unten und bei einer Periode von oben dem Generator zugeführt. Dadurch soll erreicht werden, dass einerseits die Füllung in ihrem unteren Teil nicht zu sehr auskühlt, andererseits der Rost aber auch keiner zu hohen Wärmebelastung ausgesetzt ist. Es war zu erwarten, dass durch den schwankenden Frischdampfdruck, durch die aus dem Zusammenspiel der Generatoren sich ergebenden Druckschwankungen und des durch die Handbedienung der Generatoren nicht völlig auszuschaltenden individuellen Einflusses des Bedienungspersonals sich keine reproduzierbaren Arbeitsspiele ergeben konnten. Für die Ermittlung von Druckverlusten ist dies zwar keineswegs erforderlich, es entfällt aber damit die Möglichkeit einer Mittelwertbildung für den Verlauf der während der Gasungszeit gemessenen Drucke und Mengen.

In Bild 2 und 3 ist der Verlauf der gemessenen Drucke und Wassergasmenge wiedergegeben und zwar wurde bei Bild 2 der Dampf von unten, bei Bild 3 von oben eingeblasen. Der steile Anfang sämtlicher Kurven während des Öffnens des Dampfventils, der sich mit einfachen Mitteln nicht bestimmen lässt, ist ohne wesentliche Bedeutung. Die Höchstwerte der Ausschläge sämtlicher Manometer wurden stets abgewartet und ermittelt. Die Kurve der je Zeiteinheit erzeugten Wassergasmenge zeigt deutlich durch ihren abfallenden Verlauf den Einfluss der absinkenden Temperatur der Koksfüllung. Während der zeitlich mit nahezu konstanter Menge eingeblasene Dampf bei Beginn der Gasung zum grossen Teil umgesetzt wird, nimmt dieser Anteil mit fortschreitender Zeit rasch ab. Dieser charakteristische Verlauf des augenblicklichen Gasanfalls muss sich auch sämtlichen Druckkurven aufprägen.

Der Druckabfall in der Generatorfüllung lässt sich nur ermitteln, wenn der Dampf dem Generator unten zugeführt wird, da bei umgekehrter Strömungsrichtung ein nega-

tiver Druckverlust gemessen wurde. Die Ursache dieser Erscheinung kann nur darin liegen, dass ein dynamischer Unterdruck mitgemessen wurde. Die bereits bei der Montage der Anlage verlegte Leitung für die Druckmessung oben am Generator (P_2) ist in unmittelbarer Nähe des Dampfeintritts an ein Formstück angeschlossen, in dem nicht übersehbare Strömungsverhältnisse herrschen, wenn der Dampf dem Generator oben zugeführt wird. Der während der Gasungszeit veränderliche Druckabfall in der Koksfüllung kann nicht zwanglos der augenblicklich erzeugten Gasmenge zugeordnet werden, da er nicht allein von dieser, sondern auch von dem längs des Strömungsweges veränderlichen Dampfanteil und dem Zustand des Generators - Abbrand der Koksfüllung, zunehmende Verschlackung - abhängig ist. Dagegen lässt sich für die übrigen Druckverluste die Abhängigkeit von der jeweiligen Gasmenge bestimmen. Bild 4 zeigt den aus mehreren Meßreihen ermittelten Verlauf der unmittelbar gemessenen Druckverluste in Tauchung und Wäscher über der Gasmenge. Wie ersichtlich, wird der Druckabfall beim Durchtritt der Gase durch die Tauchung des Wäschers von der Menge praktisch nicht beeinflusst. Er beträgt $\Delta P_{3-4} \approx 310$ mm WS und ist grösser als die Eintauchtiefe des Tauchrohrs (einschliesslich gezahntem Rand) von 175 mm. Die Nachprüfung dieses Maßes war leider nicht möglich. Vielleicht ist der hohe Druckverlust auch in einer teilweisen Verstopfung der Austrittsöffnung mit Koksstücken zu suchen, die der Wassergasstrom aus dem Generator mitreißt, sowie in dem zusätzlichen Ueberdruck, der zur Ueberwindung der Oberflächenspannung bei der Blasenbildung notwendig ist. In der geringen Neigung scheint sich die mit wachsender Gasmenge zunehmende Durchsetzung des Wassers mit Gasblasen bemerkbar zu machen, deren Einfluss durch den steigenden Druckverlust in den zwischen den Meßstellen liegenden Krümmern nahezu kompensiert wird. Die Temperatur des Wassergases nach dem Wäscher lag stets zwischen 12 und 16°C.

In welchem hohem Maße die während der Gasung augenblicklich und insgesamt erzeugte Wassergasmenge Änderungen unterworfen ist, geht aus Bild 5 hervor. Ihr Zustandekommen ist sowohl der nicht immer gleich hohen Anfangstemperatur, infolge der Schwankungen des Winddruckes durch Zu- und Abschalten anderer Generatoren, als auch der veränderlichen Dampfmenge und dem jeweiligen Zustand des Generators zuzuschreiben. Die Untersuchung über die Auswirkung dieser Einflussgrößen fiel nicht in den Rahmen der auszuführenden Messungen und hätte einer weit grösseren Zahl von Versuchen bedurft. Es konnte lediglich die Abhängigkeit der Wassergasmenge vom aufgewendeten Dampfgewicht in groben Zügen festgestellt werden. In der folgenden Tabelle finden sich hierüber einige Zahlenwerte:

Nr.	Zugeführte Dampfmenge kg/4 min	Erzeugte Wassergasmenge Nm ³ /4 min	Dampfmenge Wassergasmenge kg/Nm ³
1	69,7	136	0,512
2	84,8	156	0,544
3	89,0	178	0,500
4	93,1	175	0,532
5	99,0	126	0,785
6	103,5	118	0,876.

Der Vergleich zwischen zugeführter Dampfmenge und erzeugtem Wassergasvolumen zeigt, dass bei einer gewissen Dampfmenge die Wassergasmenge einen Höchstwert erreicht. Bei zu geringem Dampfgewicht wird die Kapazität des Generators nicht erschöpft, während der nicht umsetzbare Anteil einer über den stets notwendigen Dampfüberschuss hinausgehenden Dampfmenge die Füllung unnötig abkühlt und das anschliessende, eine Minute dauernde Blasen zum Aufheizen u.U. nicht ausreicht. Ob das auf das erzeugte Wassergas bezogene Dampfgewicht tatsächlich ein Minimum durchläuft, scheint etwas fragwürdig, weil eher anzunehmen ist, dass dieser spez. Dampfverbrauch vom theoretischen Mindestwert von $0,4 \text{ kg/Nm}^3$ mit wachsender Dampfmenge zunimmt. Der zu geringe Druckunterschied an der Dampfmeßblende in diesem Belastungsbereich des Generators und die daraus sich ergebende Unsicherheit in der Bestimmung der Menge dürfte wohl die Ursache hierfür sein. Ueberraschend ist, dass der spezifische Dampfverbrauch des Generators bei der höchsten erzeugten Wassergasmenge von $175 - 178 \text{ Nm}^3/\text{Gasung}$ mit $0,5 - 0,53$ niedriger liegt als der an zahlreichen anderen Anlagen gemessene Wert von $0,65 - 0,75 \text{ kg Dampf/Nm}^3$. Als unbeabsichtigtes Ergebnis dieser Untersuchung wurde anhand der Mengenmessung der Einbau zweier Lochscheiben in die oben und unten am Generator angeschlossenen Dampfleitungen festgestellt, die dem Bedienungspersonal ein vollständiges Öffnen der Dampfventile erlaubten. Das Vorhandensein dieser Scheiben war dem Betrieb nicht bekannt. Der Einbau derartiger Lochscheiben ist zwar zur bequemeren Bedienung der Dampfventile durchaus angebracht, solange der Frischdampfdruck sich nicht ändert. Bei dem oft beobachteten starken Absinken dieses Druckes wurde damit aber die Gaserzeugung mitunter merklich verringert.

Um bei der Mengenmessung eine etwaige Änderung der Gasdichte berücksichtigen zu können und zur weiteren Beurteilung des Generators wurden schliesslich noch Analysen des Wassergases ausgeführt. Zur Entnahme der Proben nach dem Wäscher diente die im Bild 6 aufgezeichnete Vorrichtung. Insgesamt wurden 7 Proben entnommen mit je 40 Sekunden zeitlichem Abstand; die erste bei Beginn der Gasung. Jeder Kolben von 250 cm^3 Inhalt wurde während 40 Sekunden vom Wassergas durchströmt und im Zeitpunkt der Probeentnahme mittels Schlauchklemme abgesperrt, worauf der

nächste Kolben geöffnet wurde. Ein ausreichendes Durchspülen der Kolben war gesichert, da währenddessen etwa 10 l Wassergas, d.h. der 40fache Kolbeninhalt hindurchströmten. Die Tabelle auf Seite 7 enthält die ermittelten Analysenwerte.^{+) Die Probenreihen wurden nach dem Entschlacken, nach 3 1/2stündiger Fahrzeit (halbe Fahrzeit) und kurz vor dem Entschlacken entnommen. Leider liessen sich mit den vorhandenen Schlauchklemmen die Probekolben nicht immer dicht verschliessen, was meist erst am Ergebnis der Analyse sichtbar wurde. Hierin liegt der Grund für die oft sehr hohen Sauerstoff- und Stickstoffgehalte. Bei den nicht eingetragenen Zahlenwerten war die Undichtheit schon vor Beginn der Analyse erkannt worden. Die Berechnung der Gasdichte ergab, dass deren Wert während der Gasungsdauer sich nur wenig änderte und als Mittelwert $\gamma = 0,71 \text{ kg/Nm}^3$ gesetzt werden kann. Wenn auch die Zahl der ausgeführten Analysenreihen nicht ausreicht um die Änderung der verschiedenen Gehalte mit fortschreitender Gasungszeit einwandfrei zu beurteilen, so ist doch mit einiger Wahrscheinlichkeit ein Einfluss des Generatorzustandes anzunehmen. Die höchsten Werte an reduzierenden Bestandteilen finden sich meist bei frisch geschlacktem Generator und in einigen Fällen ist sogar der erfahrungsgemäss höchstmögliche Wert von 92 % erreicht worden. Erwähnt sei noch, dass sich die eingeblasene Dampfmenge, die anfängliche Temperatur der Füllung und die Beschickung nicht nur auf die Menge, sondern auch auf die Zusammensetzung des Wassergases auswirken muss. Die vielleicht hoch erscheinenden Sauerstoffgehalte um 1 % sind nicht auf mangelhaften Abschluss oder unzureichendes Durchspülen der Kolben zurückzuführen, da nach Angabe von Herrn Dr. Böttcher solche Sauerstoffgehalte auch gemessen worden sind, wenn die Kolben vor der Probeentnahme mit Wasser gefüllt waren, das durch das Wassergas verdrängt wurde.}

B. Druckverlust in der Wassergassammelleitung zwischen Wäscher und Gasometer.

Der Druckabfall im T-Stück, durch welches das Wassergas vom Wäscher der Sammelleitung zuströmt (Bild 7), wurde zwischen den Meßstellen P_5 und P_6 unter Berücksichtigung des bleibenden Druckverlustes in der dazwischenliegenden Wassergasblende gemessen. Es ergaben sich beim größten Gasdurchsatz am Anfang der Gasung nur Druckunterschiede von höchstens 10 mm WS, also von vernachlässigbar kleinem Betrag. Von derselben Größenordnung ist der Druckverlust zwischen den Meßstellen P_6 und P_7 , die das T-Stück des Generators 3 einschlossen und im Abstand zweier Generatoren auseinander lagen.

^{+) Die Analyse der Wassergasproben übernahm Herr Dr. Böttcher, Anorgana Gendorf.}

Änderung der Zusammensetzung des Wassergases in Abhängigkeit von der Zeit.

Sekunden	O ₂			CO ₂			CO			H ₂			N ₂			
0	A	3.4	1.0	2.0	5.1	6.0	4.2	36.3	34.2	36.6	20.6	30.6	48.0	34.6	10.2	9.2
	B	1.4	1.6	1.0	9.3	11.9	8.6	29.7	24.9	25.8	49.8	54.4	51.2	9.8	27.2	13.4
	C	6.2	1.5	1.0	7.9	1.1	7.6	23.9	37.9	28.9	22.5	50.7	54.2	39.5	11.8	8.3
40	A	0.7	0.2	0.6	1.6	1.2	3.4	44.0	43.2	45.6	47.9	48.8	44.2	5.8	6.6	6.2
	B	1.2	0.6	1.0	4.0	2.3	3.8	39.0	39.8	40.5	46.0	40.8	44.0	9.8	16.5	10.7
	C	—	2.4	1.2	—	4.8	4.2	—	44.0	38.9	—	46.2	45.1	—	2.6	10.6
80	A	1.1	0.8	0.5	1.7	1.5	1.2	43.0	43.8	43.1	48.7	48.1	49.2	5.5	5.8	6.0
	B	0.5	0.4	0.3	3.3	4.5	4.1	41.6	37.7	40.9	49.5	49.8	50.2	5.1	7.6	4.5
	C	1.2	1.0	0.3	6.2	2.9	2.5	38.2	40.3	37.8	47.8	46.0	49.9	6.6	9.8	9.5
120	A	0.0	0.4	1.0	2.0	2.1	3.6	42.7	43.4	40.4	47.6	48.2	40.4	7.7	5.9	14.6
	B	1.9	0.8	1.6	4.0	5.5	5.1	38.8	37.9	38.5	46.4	50.2	48.0	8.9	5.0	6.8
	C	1.3	1.2	0.9	5.1	5.8	1.8	37.4	32.2	41.6	47.0	52.2	45.1	9.2	8.6	10.6
160	A	0.8	0.6	0.4	2.9	2.7	3.4	43.5	43.1	39.8	42.4	48.8	49.6	10.4	4.8	6.8
	B	—	1.6	1.9	—	6.5	6.9	—	31.2	33.0	—	44.5	49.0	—	16.2	9.2
	C	2.5	2.3	1.1	7.1	9.0	3.4	33.2	31.1	39.5	50.8	47.2	46.7	6.4	10.4	9.3
200	A	1.2	0.8	0.7	3.3	3.5	4.1	39.3	40.8	38.0	49.5	48.5	48.6	6.7	6.4	8.6
	B	2.5	2.0	2.2	8.6	8.9	7.9	28.9	26.2	28.0	50.9	48.2	48.9	9.1	14.7	12.0
	C	—	—	1.5	—	—	4.0	—	—	37.1	—	—	48.2	—	—	9.2
240	A	1.2	1.4	1.2	4.0	4.1	6.2	39.1	41.0	36.8	48.6	48.2	47.6	7.1	5.3	8.2
	B	—	1.7	2.0	—	11.4	10.1	—	28.2	28.1	—	51.4	49.8	—	7.3	10.0
	C	3.2	3.1	1.3	9.4	8.9	6.1	28.6	24.1	38.4	49.2	52.9	47.7	9.6	9.0	6.5

gez. Böttcher.

A = frisch geschlackter Generator
 B = Generator nach 3 1/2 Fahrstunden
 C = Generator kurz vor dem Schlacken

Erheblich grösser ist der Widerstand der Wassergasleitung, die das insgesamt erzeugte Wassergas dem Gasometer zuführt. Gemessen wurden die Drucke an den Stellen P_7 und P_8 . Letztere lag unmittelbar vor dem Absperrschieber und Schnellverschluss am Gasometer, deren gesamter Widerstand wiederum aus P_8 und dem bekannten Gasometerdruck von 134 mm WS ermittelt werden konnte. Um möglichst viele Meßpunkte in möglichst weitem Bereich der je Zeiteinheit durch die Leitung strömenden Wassergasmenge zu erhalten, wurden die Messungen in der Weise durchgeführt, dass jeweils ein, zwei und drei Generatoren gleichzeitig gasten. Da nur die vom Generator 2 gelieferte Teilmenge meßbar war und für den Generator 3 bzw. 4 derselbe Verlauf der während einer Gasung erzeugten Menge angenommen werden musste, ergaben sich hieraus unsichere Werte für die Gesamtmenge. Bild 8 zeigt die Kennlinien für die Wassergasleitung und die Absperrorgane vor dem Gasometer. Auffallend ist deren grosser Druckverlust, der zum überwiegenden Teil auf den Schnellverschluss entfällt. Die Druckverluste jener Strömungen, bei denen der Dampfdruck treibende Kraft ist, sind jedoch von geringerer Bedeutung, da sie sich ohne Schwierigkeiten überwinden lassen. Für noch grössere Gasmengen waren die Druckverluste nicht zu messen, weil stets ein Generator wegen der Entschlackung ausfiel und der Generator 1 ausser Betrieb war.

C. Druckverluste in der Wassergasleitung vom Gasometer zu den Wasserstofferzeugern.

Diese Messungen erforderten eine Änderung der gewohnten Betriebsweise der Wasserstoff-erzeuger, damit die dem Gasometer entnommene Wassergasmenge in möglichst weiten Grenzen geändert werden konnte. Die sieben betriebsfähigen Erzeuger wurden nach folgender Anordnung gruppenweise gefahren:

Messung	Arbeitende Erzeuger
1	6
2	1 5 6 7 8 9 10
3	8 9
4	1 5 6 7 8 9
5	7 8 9
6	5 6 7 8 9
7	6 7 8 9

Hierdurch wurde erreicht, dass die Wasserstofferzeugung mit Rücksicht auf die Abnehmerbetriebe im Mittel gleich gross blieb, die verbrauchte Wassergasmenge aber bei anderer Reihenfolge der Messungen sich immer nur um den Bedarf eines Erzeugers erhöhte. Es war darauf zu achten, dass die gleichzeitig betriebenen Erzeuger im Ablauf ihrer Arbeitsspiele - Reduzieren und Gasen - zeitlich miteinander übereinstimmten.

In Bild 9 ist der untersuchte Teil der Anlage mit den Meßstellen aufgezeichnet. Zur Messung der gesamten Wassergasmenge war nach dem Gebläse eine Meßblende eingebaut, deren Bohrung zur genauen Ermittlung der Menge leider zu gross war. Nur die vom Erzeuger 6 verbrauchte Wassergasmenge konnte mittels einer besonderen Meßblende gemessen werden. In der Verteilleitung, an die die Erzeuger angeschlossen sind, lagen die beiden Druckmeßstellen P_{11a} und P_{11} im Abstand zweier Erzeuger. Der gemessene Druckabfall längs dieser Meßstrecke bei verschiedener durchgesetzter Gasmenge erlaubt dann, den Widerstand für ein ganzzahliges Vielfache dieser Länge auch bei streckenweise beliebig abnehmender Durchsatzmenge additiv daraus zusammenzusetzen. Gemessen wurden

P_9	Druck in der Wassergasleitung vor dem Gebläse
P_{10}	Druck in der Wassergasleitung nach dem Gebläse
ΔP_{11a-11}	Druckabfall längs der Meßstrecke in der Verteilleitung
P_{11}	Druck in der Verteilleitung am Ende der Meßstrecke
V_2	Gesamte Wassergasmenge nach Gebläse
V_3	Wassergasmenge zum Erzeuger 6
V_H	Erzeugte Wasserstoffmenge (gemessen mit Aerzener Drehkolbenmesser).

In Bild 10 ist der Verlauf der gemessenen Drucke in Abhängigkeit von der Gasmenge dargestellt. Wie die Kurve für ΔP_{10-11} zeigt, stieg beim Zuschalten der Erzeuger 1 und 10 der Druckverlust nicht mehr weiter, sondern sank eher um einen geringen Betrag. Diese Tatsache führte zu dem Schluss, dass dieser Druckverlust zum überwiegenden Teil im T-Stück beim Einströmen des Wassergases in die Verteilleitung zustande kommt. Der Druck P_9 vor dem Gebläse sinkt stark ab und eine weitere Steigerung der Menge ist wegen der Gefahr der Unterdruckbildung nicht möglich. Der Unterschied der Drucke P_9 und P_{10} ergibt unmittelbar die äussere Charakteristik (mit Einschluss der Absperrschieber und Krümmer) des Gebläses. Bild 11 zeigt sie im Bereich der geförderten Gasmenge sowie die durch die Lieferfirma ermittelte Kennlinie. Der Verlauf des Druckabfalls ΔP_{11a-11} längs der Meßstrecke ist in Bild 12 über der Wassergasmenge aufgetragen. Das Zuschalten der Erzeuger 1 und 10 (Messung 4 und 2) ändert den Druckverlust gegenüber Messung 6 nicht, weil sie am andern Ast der Verteilleitung liegen. Diese beiden Messungen sind daher lediglich als Kontrollmessungen zu bewerten.

D. Messungen an den Wasserstoffherzeugern.

An der stufenweise erhöhten Wassergasmenge (Bild 12) fällt auf, dass sie nicht um den gleichen Betrag für jeden mitgeführten Erzeuger zunahm. Da bei allen Erzeugern die Verstellhebel des Wassergashahns auf denselben Skalenwert einge-

stellt wurden, zeigt sich hieraus, dass damit noch keine Gewähr für gleiche Hahnstellungen und gleiche Wassergasmengen gegeben ist, Ausserdem macht sich der mit zunehmender Menge stark absinkende Druck P_{11} (Bild 10) auf die je Erzeuger entfallende Wassergasmenge deutlich bemerkbar. Beide genannten Gründe zwingen zum Anbau eines Meßgerätes an jeden Erzeuger, um die während des Reduzierens zu-
zuführende Wassergasmenge auf einen vorgeschriebenen Wert regeln zu können.

Diese unterschiedliche Wassergasaufnahme je Erzeuger muss sich zwangsläufig auch in der Wasserstofferzeugung bemerkbar machen. Die anfallende Wasserstoffmenge wurde während der unmittelbar auf das gruppenweise Reduzieren der Erzeuger folgenden Gasung am Drehkolbenmesser (nach der Reinigeranlage) gemessen. Ihr Verlauf ist in Bild 13 wiedergegeben. Bei der zu erzeugenden Wasserstoffmenge von $2600 \text{ Nm}^3/\text{h}$, für die die Anlage gebaut wurde, entfällt auf die Arbeitsperiode (10 Minuten Reduzieren + 5 Minuten Gasen = 15 Minuten) eines Erzeugers eine Wasserstoffmenge von 65 Nm^3 oder rund 71 Nm^3 . Nach Bild 13 hat der Erzeuger 6 beim alleinigen Betrieb (Messung 1) diese Menge auch erreicht. Dagegen ist bei sieben gleichzeitig gefahrenen Erzeugern im Mittel die je Erzeuger gelieferte Wasserstoffmenge nur noch $40,5 \text{ Nm}^3$, d.h. dass im Durchschnitt jeder Erzeuger nur zu 62 % ausgenutzt war. Bei der üblichen Betriebsweise sind die Arbeitsspiele der einzelnen Erzeuger zwar gegeneinander zeitlich verschoben, aber es fallen trotzdem zeitweise sechs oder sieben gleichzeitig reduzierende Erzeuger zusammen (bei 10 arbeitenden Erzeugern), was somit eine erhebliche Minderleistung der Anlage bedingt. Der Verlauf der gelieferten Wasserstoffmenge aus Bild 13 lässt bei mehreren gleichzeitig arbeitenden Erzeugern deutlich erkennen, dass während der üblichen Gasungszeit von 5 Minuten die Erzeuger noch keineswegs erschöpft waren. Es fällt auf, dass die für einen Erzeuger charakteristische Kurve der Messung 1 bei mehreren zusammenarbeitenden Erzeugern nicht lediglich vergrössert erscheint. Wird aus Bild 12 und 13 die je Nm^3 erzeugten Wasserstoffs verbrauchte Wassergasmenge ermittelt, so ergibt sich bei 7 gleichzeitig arbeitenden Erzeugern ein Mittelwert von $2,4 \text{ Nm}^3$ Wassergas pro Nm^3 Wasserstoff. Mit einem Gehalt des Wassergases von nur 85 % an reduzierenden Bestandteilen ^{+) müssst} dieser spez. Wassergasverbrauch bei völlig reinem Wasserstoff den Wert 1,18 haben. Wie weit die Beimengungen im Wasserstoff diesen Wert erhöhen, kann hier nicht beurteilt werden. Ein spez. Wassergasverbrauch von 2,4 würde einem Reingehalt des Wasserstoffs von nur rund 50 % entsprechen. Der tatsächliche Gehalt wird sicher viel höher liegen, und die Ursache des hohen spez. Wassergasverbrauches dürfte allein in der verhältnismässig zu langen Reduzier- bzw. zu kurzen Gasungszeit zu suchen sein.

^{+) Aus den Analysenwerten S. 7 würde sich ein etwas höherer Gehalt ergeben.}

Eine Ueberprüfung der Reduzier- und Gasungszeiten erscheint daher im Hinblick auf eine wirtschaftlichere und ergiebigere Betriebsweise notwendig. Hier sei noch ein Ergebnis der erst nachfolgend beschriebenen Messungen vorweggenommen. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang noch die verbrauchte Dampfmenge. Sie wurde nur am Erzeuger 6 gemessen, da dieser zur eingehenderen Untersuchung mit Meßblenden versehen war. Der aus mehreren Messungen ermittelte Dampfverbrauch betrug im Mittel $3,4 \text{ kg/Nm}^3$ Wasserstoff. Mit dem früher gefundenen spez. Dampfverbrauch bei der Wassergaserzeugung von etwa $0,50 - 0,87 \text{ kg Dampf/Nm}^3$ Wassergas und einem spez. Wassergasverbrauch von $2,4 \text{ Nm}^3 \text{ Wassergas/Nm}^3$ Wasserstoff ergibt sich ein gesamter Dampfverbrauch von $4,6 - 5,5 \text{ kg Dampf/Nm}^3$ Wasserstoff, mit dem der von Francke-Werke angegebene Wert von $5,3 \text{ kg Dampf/Nm}^3$ Wasserstoff in Uebereinstimmung steht. Es muss hierbei noch berücksichtigt werden, dass die Lieferfirma für diesen Wert Dampf von $3,5 \text{ atü}$ und 200° Ueberhitzung voraussetzt, während der Dampf im Betrieb zwar den vorgeschriebenen Druck hat, aber nur wenig überhitzt ist. Hinsichtlich des gesamten Dampfverbrauches sind die Garantiebedingungen somit erfüllt.

Zur Ermittlung der interessierenden Drucke und Druckverluste in den Wasserstofferzeugern wurde der Erzeuger 6 gewählt, da er am einen Ende der Wassergasverteilung lag, in die sich die Blende zur Messung der Wassergasmenge am einfachsten einbauen liess.

Es wurde gemessen:

- P₁₂ Wassergasdruck in der Verteilleitung vor Erzeuger
- P₁₃ Wassergasdruck vor Rückschlagklappe
- P₁₄ Wassergasdruck zwischen Rückschlagklappe und Tauchung
- P₁₅ Wassergasdruck nach der Tauchung
- P₁₆ Wassergasdruck vor Vorwärmer
- P₁₇ Wassergasdruck vor Absperrklappe
- P₁₈ Druck am Eingang des Erzeugers (beim Gasen)
- P₁₉ Druck oben im Erzeuger
- P₂₀ Druck am Ausgang des Erzeugers
- P₂₁ Wasserstoffdruck nach der Tauchung
- P₂₂ Wasserstoffdruck unten im Wäscher
- P₂₃ Wasserstoffdruck oben im Wäscher
- P₂₄ Wasserstoffdruck in der Sammelleitung
- P_L Luftdruck vor Blende
- V_L Luftmenge
- V₃ Wassergasmenge vor Erzeuger
- V₅ Wasserstoffmenge nach Wäscher
- D_{II} Dampfmenge.

Bild 14 zeigt als Beispiel den Verlauf der Drucke und Mengen während einer Arbeitsperiode des Wasserstofferzeugers. Obwohl der Wassergashahn auf einen festen Skalenwert eingestellt war, schwankt die zugeführte Wassergasmenge sowie die Drucke infolge der schon früher erwähnten Druckänderungen in der Verteilleitung durch das Zu- und Abschalten anderer Erzeuger. Ebenso wirkt sich beim Gasen die Regelung der Dampfmenge, insbesondere am Anfang, sowie der anfänglich sehr grosse und schnell absinkende Anfall an Wasserstoff auf die von diesen Mengen beeinflussbaren Drucke aus. Da die Änderungen der Wassergasmenge verhältnismässig gering sind, lassen sich aus Messungen nach Bild 14 keine Kennlinien für Teilstücke der Rohrleitungen und für Drossel- und Absperrorgane gewinnen. Diese Druckverläufe in Abhängigkeit von der Menge wurden daher aus besonderen Messungen ermittelt. Der Gesamtdruckverlust im Erzeuger für verschiedene Hahnstellungen ist in Bild 15a aufgetragen. Bild 15 b enthält den Druckverlust des Wassergashahnes ΔP_{15-16} sowohl bei voller Öffnung als auch für verschiedene Drosselstellungen. Der bleibende Druckverlust der zwischen Hahn und Meßstelle P_{16} eingebauten Meßblende wurde dabei berücksichtigt. Die beigeschriebenen Zahlen bedeuten die den Hahnstellungen zugeordneten Skalenwerte am Verstellhebel. Beim Wert 0,25 war der Hahn gerade geschlossen. Die Kurven wurden in der Weise aufgenommen, dass bei unveränderter Hahnstellung der Druck vor dem Hahn durch Drosselung der Wassergasmenge mittels des vor dem Erzeuger liegenden Ventils (vergl. Bild 1) auf verschiedene Beträge eingestellt wurde. Bild 16 zeigt in anschaulicher Weise die Aufteilung des gesamten Druckverlustes des Erzeugers bei stets ganz geöffnetem Wassergashahn. Bei der Messung des Druckabfalls P_{12-13} in der Zweigleitung zum Erzeuger war das Ventil stets ganz geöffnet und die Wassergasmenge wurde durch Verstellen des Hahns gedrosselt. Die Drucksenkung in der Tauchung vor dem Erzeuger erweist sich auch hier wieder als praktisch unabhängig von der Menge, und ist mit rund 150 mm wiederum grösser als die geometrische Eintauchtiefe von 50 mm bzw. 100 mm mit Zacken.

Wasserstoffseitig wäre vielleicht der Druckverlust in der Tauchung von Interesse gewesen. Zufolge der schnell veränderlichen Wasserstoffmenge ergaben sich jedoch hierfür keine zuverlässigen Meßergebnisse. Der Unterschied der Drucke P_{20} und P_{21} im Bild 14 lässt aber auch für diese Tauchung keinen wesentlichen Einfluss der Durchsatzmenge erkennen. Dagegen ist der Druckunterschied $P_{21} - P_{22}$ ohne ersichtlichen Grund von einer beachtlichen Grösse. Der Druckverlust des Wäschers ist mit wenigen Millimetern Wassersäule äusserst gering und vernachlässigbar, ebenso der Widerstand in der Wasserstoffsammelleitung, der wiederum längs einer

dem Wäscherabstand gleichen Rohrlänge gemessen wurde. Aus Bild 14 war der Widerstand des Wäschers nicht zu ermitteln, er wurde daher durch unmittelbare Differenzmessung bestimmt.

In Bild 17 sind für mehrere Messungen die während des Reduzierens dem Erzeuger zugeführten Wassergas- und Luftmengen aufgezeichnet. Die letztere ist notwendig, um das in der Eisenerzfüllung nicht verbrannte Gas zu verbrennen. Bild 18 enthält für dieselben Messungen die während des folgenden Gasens zuströmende Dampf-, sowie die erzeugte Wasserstoffmenge. Das Dampfventil wurde stets soweit geöffnet, dass das am Meßschrank befindliche Manometer für den Druck am Erzeugerausgang seinen grössten ablesbaren Ausschlag erreichte (ca. 850 mm WS). Die Mengemessung des Wasserstoffs ist ungenau, weil die Wasserstoffblende wegen ihres zu grossen Durchmessers nur geringe Druckunterschiede (wenige Millimeter) ergab und das spez. Gewicht des unreinen Wasserstoffes nicht bekannt war. Es wurde dafür die Dichte eingesetzt, die der Dichteschreiber nach der Reinigeranlage anzeigte ($d \approx 0,135 \text{ kg/Nm}^3$). Durch Planimetrieren der Flächen unter den Kurven wurden daraus die über den jeweiligen Zeitabschnitt zugeführten Wassergas, Luft- und Dampfmen gen, sowie die erzeugten Wasserstoffmengen errechnet, aus denen wiederum folgende Mittelwerte gebildet wurden:

Wassergasmenge	pro Periode	V_{WG}	=	135	Nm^3
Luftmenge	" "	V_L	=	118	Nm^3
Dampfmenge	" "	D_{II}	=	205	kg
Wasserstoffmenge	" "	V_H	=	60,7	Nm^3

Daraus ergibt sich ein spezifischer Wassergasverbrauch von $2,23 \text{ Nm}^3 \text{ Wassergas/Nm}^3 \text{ Wasserstoff}$, der mit dem auf Seite 10 für die gesamte Anlage bestimmte Wert von 2,4 nahezu übereinstimmt, sowie der schon früher verwertete spez. Dampfverbrauch von $3,4 \text{ kg Dampf pro Nm}^3 \text{ Wasserstoff}$. Die Menge der Verbrennungsluft von $118 \text{ Nm}^3/\text{Periode}$ lässt sich ohne Analyse des Abgases nicht überprüfen. Da 1 Vol. Wassergas (mit 85 % reduzierenden Bestandteilen) zur Verbrennung 0,425 Vol. O_2 oder 2,0 Vol. Luft benötigen, würde die Luftmenge ausreichen, um theoretisch (ohne Luftüberschuss) 59 Nm^3 Wassergas zu verbrennen. Die zugeführte Luftmenge dürfte somit nicht wesentlich zu gross sein. Die geringe Wärmeaufnahme des Wassergases im Vorwärmer bei einer Austrittstemperatur von $t_3 \approx 160^\circ$ wird daher nicht in einer zu starken Abkühlung der Verbrennungsgase durch zu grossen Luftüberschuss die Ursache haben, sondern in der mit Rücksicht auf den Druckverlust kleinen gehaltenen Wärmeaustauschfläche.

Auf die Notwendigkeit, die den einzelnen Erzeugern zugeführte Wassergasmenge messen zu können, wurde wiederholt hingewiesen. Ausser bei den an den Enden der

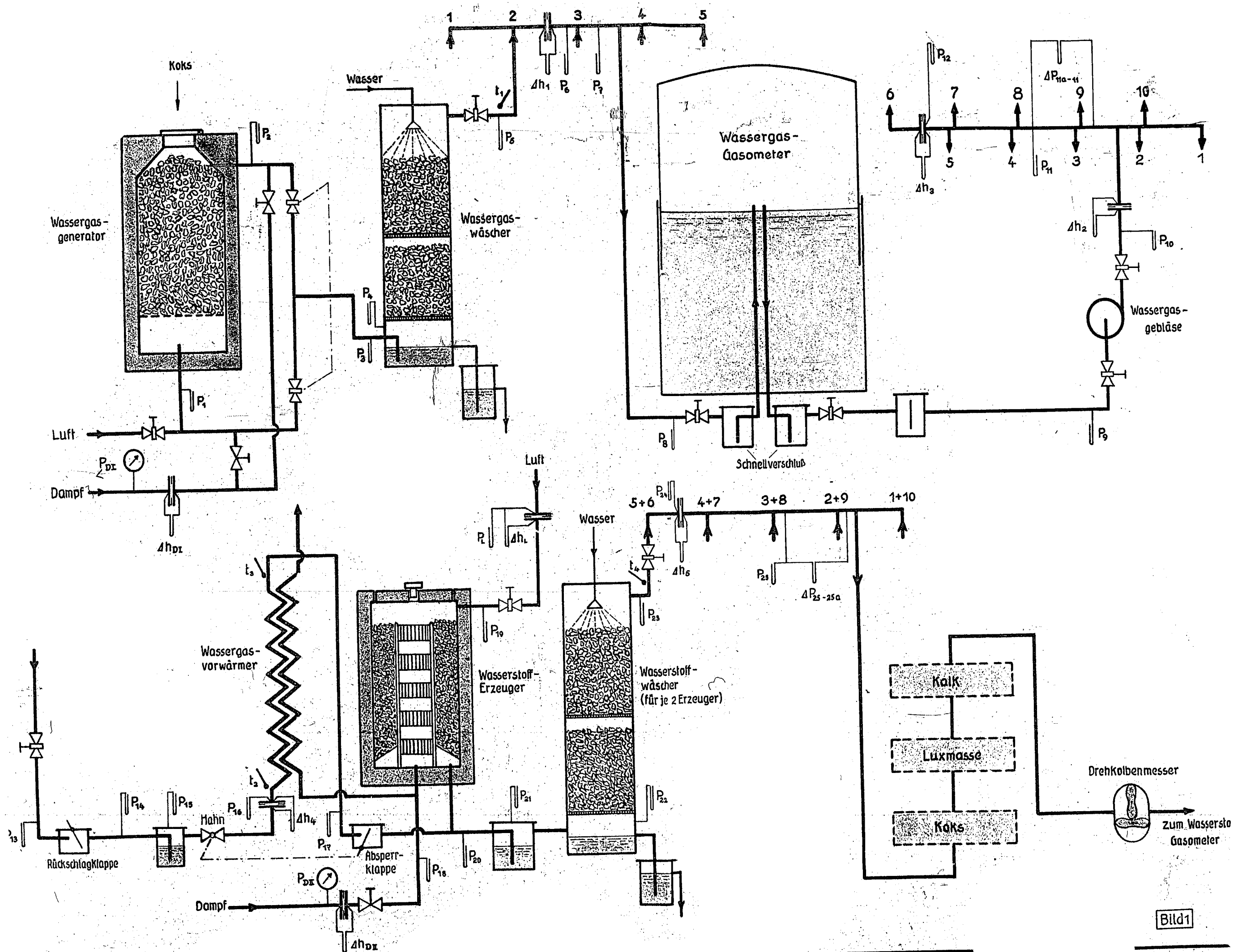
Verteilung angeschlossenen Erzeugern ist ein normgerechter Einbau einer Meßblende nicht ohne weiteres möglich, da keine geraden Rohrstücke von genügender Länge vorhanden sind. Es wurde daher versuchsweise in das Verbindungsrohr zwischen Wassergashahn und Vorwärmer eine Blende eingebaut (Blende 4 Bild 1) und auf ihre Eichfähigkeit mittels der Wassergasblende 3 geprüft. Bild 19 zeigt die Eichkurve. Die Meßpunkte wurden während mehrerer Arbeitsperioden aufgenommen, sodass sich die Strömung mehrmals von neuem ausbilden musste. Wie sich aus der Lage der Punkte ergibt, ist die Blende durchaus eichfähig und die Genauigkeit der Ablesung genügt den an eine Betriebsmessung zu stellenden Ansprüchen.

E. Zusammenfassung:

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse der an der Wassergasanlage VT 114 der Anorgana Gendorf ausgeführten Messungen. Es war verlangt durch Druckmessungen Konstruktionsunterlagen für die Erweiterung der Anlage zu beschaffen, auf Grund derer die neuen Wassergasgebläse dimensioniert und mit Rücksicht auf die Druckverluste gegebenenfalls Änderungen an Rohrleitungen vorgenommen werden können. Die interessierenden Drucke bzw. Druckverluste werden in ihrer Abhängigkeit von der Gasmenge ermittelt. Darüberhinaus werden noch einige Zahlenwerte mitgeteilt, die die Wirtschaftlichkeit der Anlage betreffen. Es ergab sich, dass die Garantiebedingungen hinsichtlich des Dampfverbrauches erfüllt sind, die erzeugte Wasserstoffmenge jedoch erheblich niedriger als die Gewährleistung ist. Der Verlauf der während der Gasungszeit laufend erzeugten Wasserstoffmenge (je Zeiteinheit) lässt vermuten, dass die Gasungsdauer auf Kosten der Reduzierdauer erhöht werden kann, wodurch die Anlage wirtschaftlicher arbeiten würde.

Ludwigshafen/Rhein, 18. Januar 1944.

Dr.-Ing. M e i e r .



Wassergasgenerator

Dampfeintritt unten

Dampfmenge $D_1 = 1620 \text{ kg/h}$

Gastemperatur nach Wäscher $t_1 = 12,5^\circ$

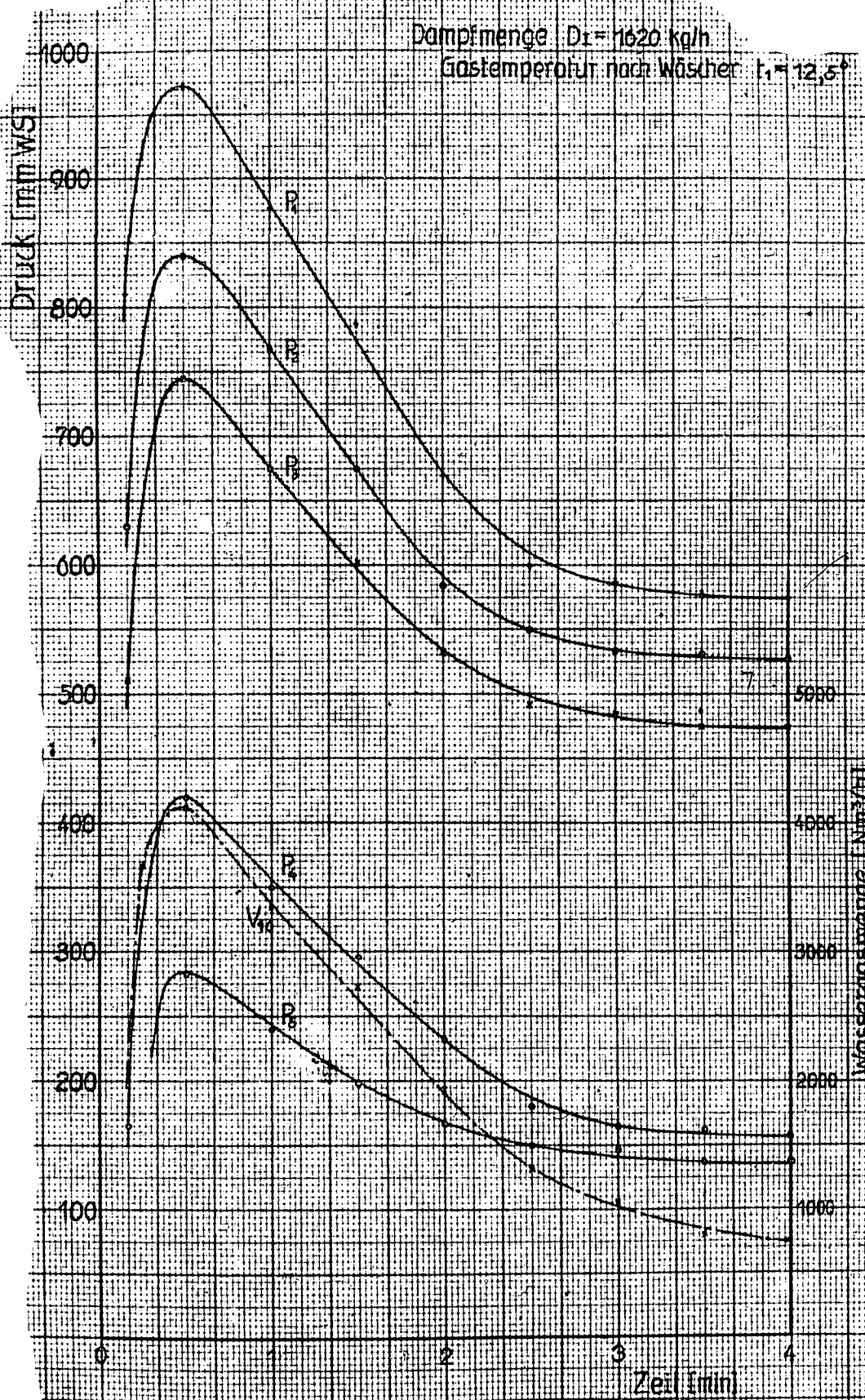


Bild 2

Wassergasgenerator

Dampfeintritt oben

Dampfmenge $D_1 = 1700 \text{ kg/h}$

Gastemperatur nach Wäscher $t_1 = 12,5^\circ$

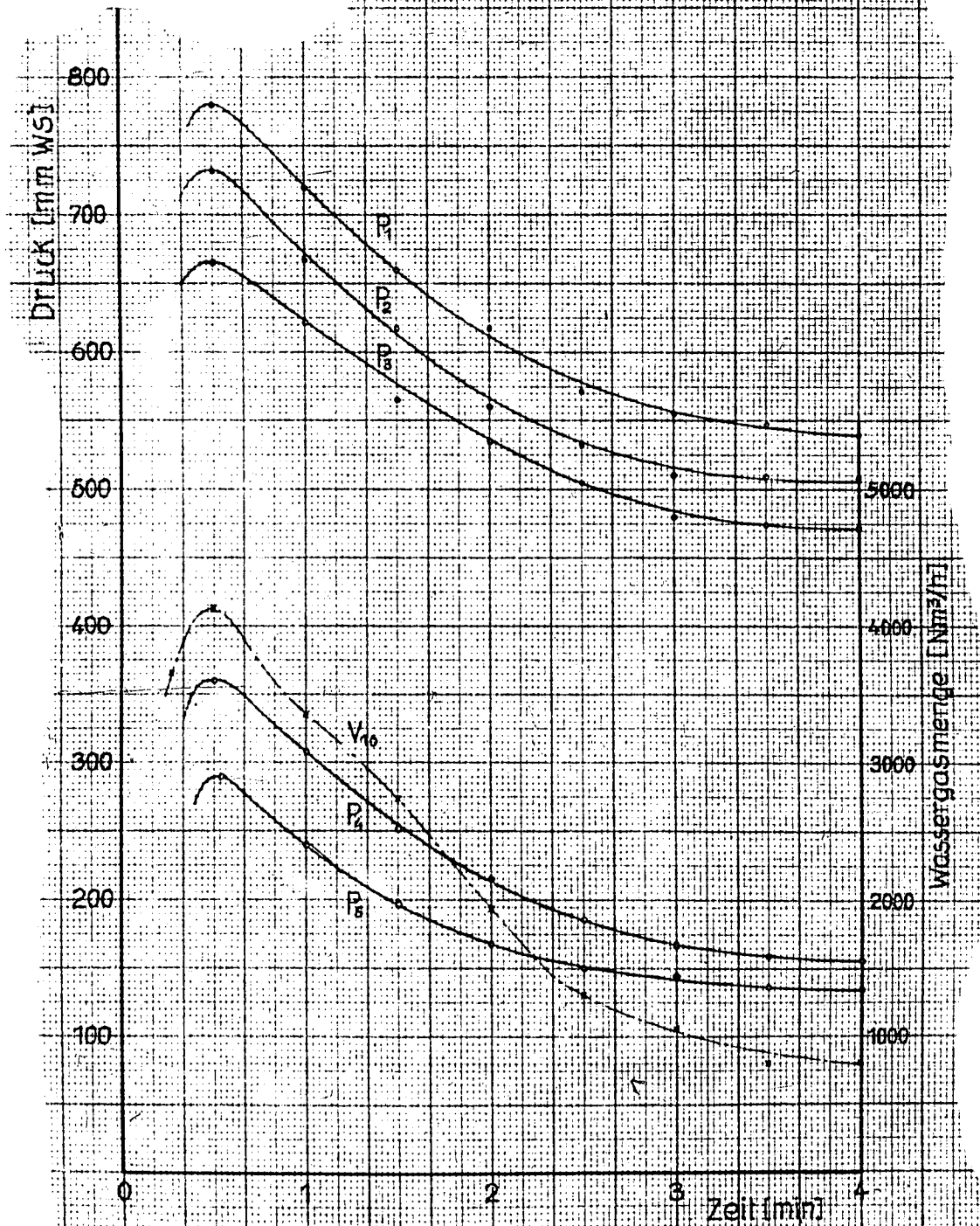


Bild 3

Wassergasgenerator

Druckverlust in Tauchung und Wäscher

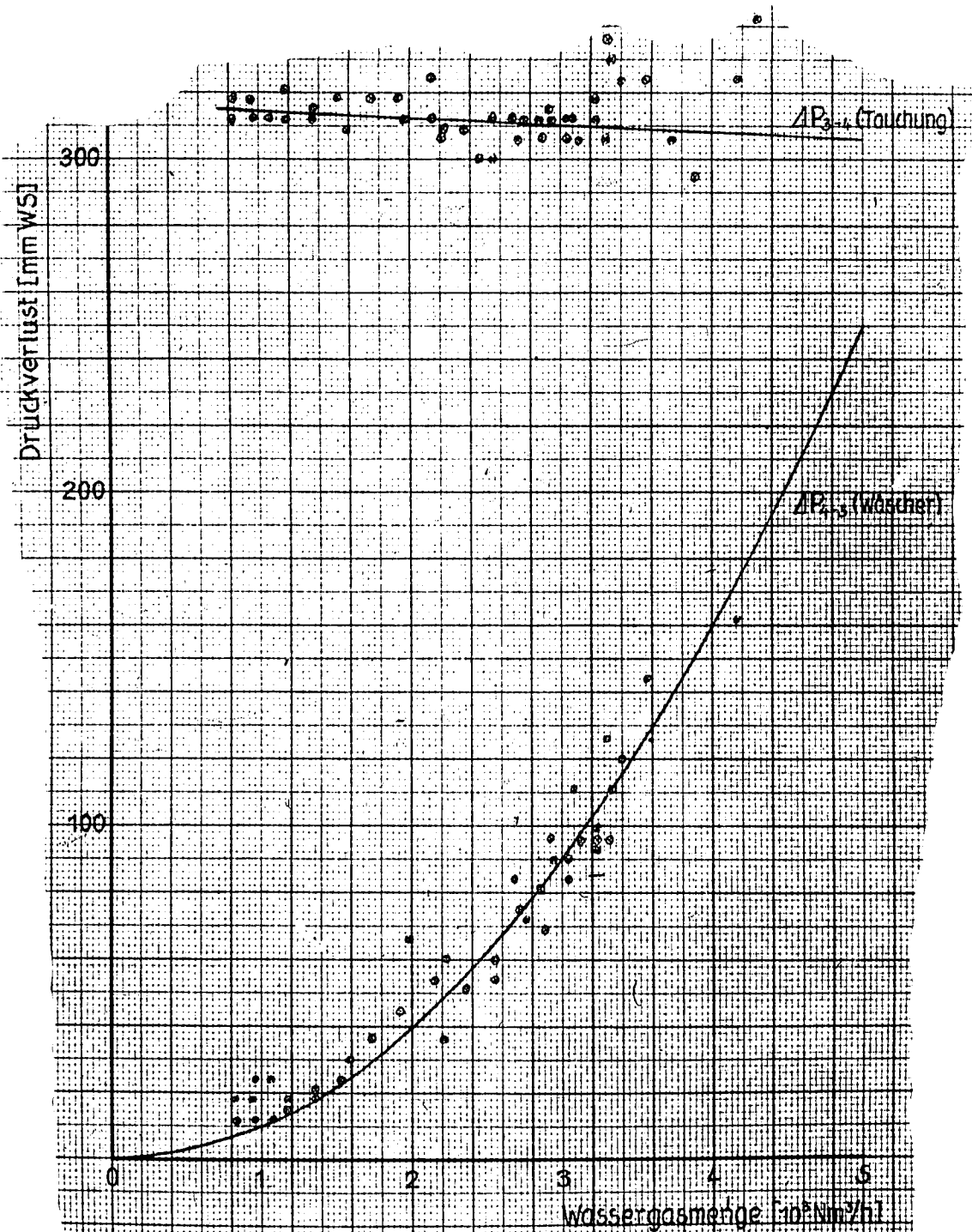


Bild 4

Wassergasgenerator

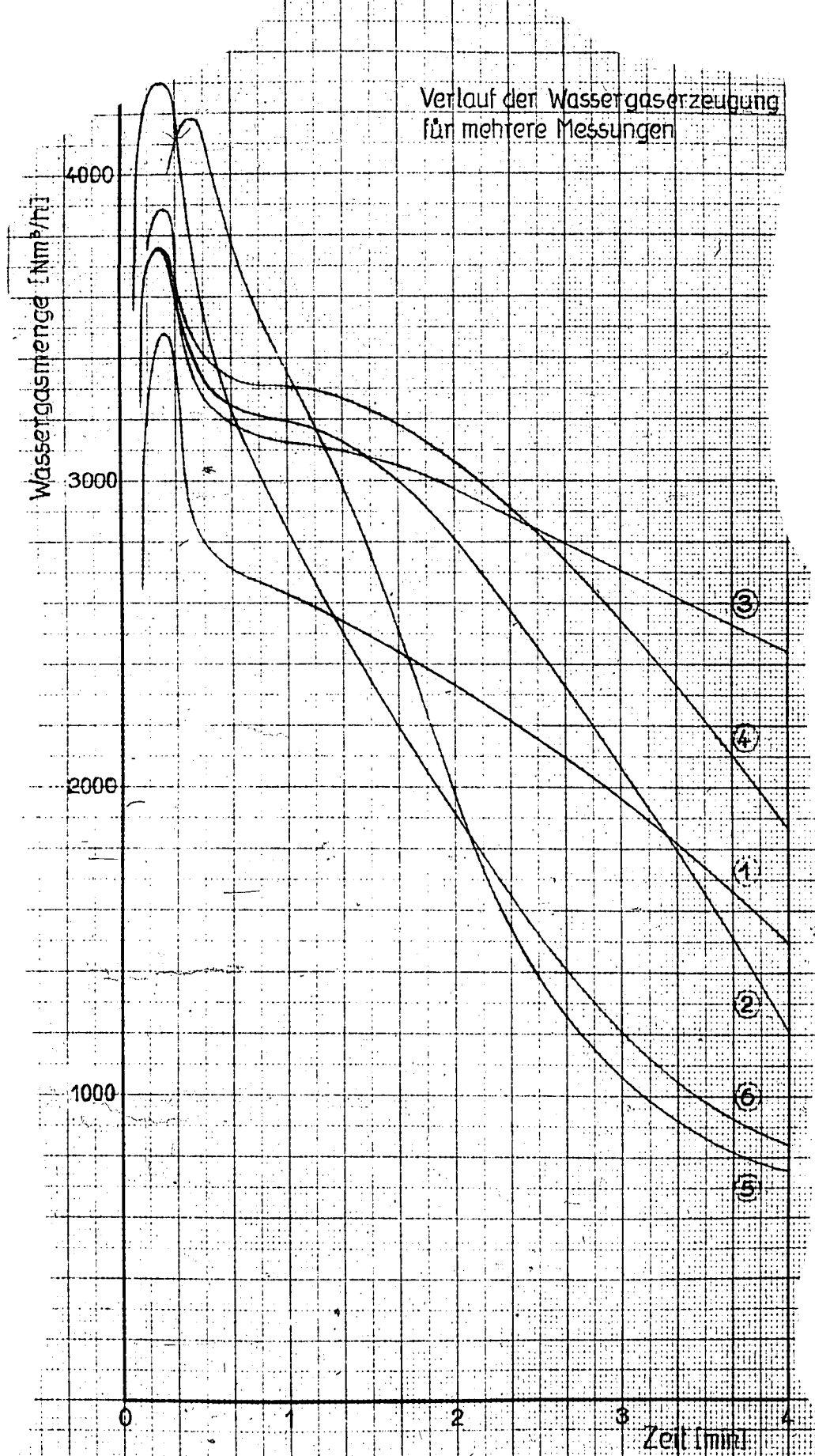
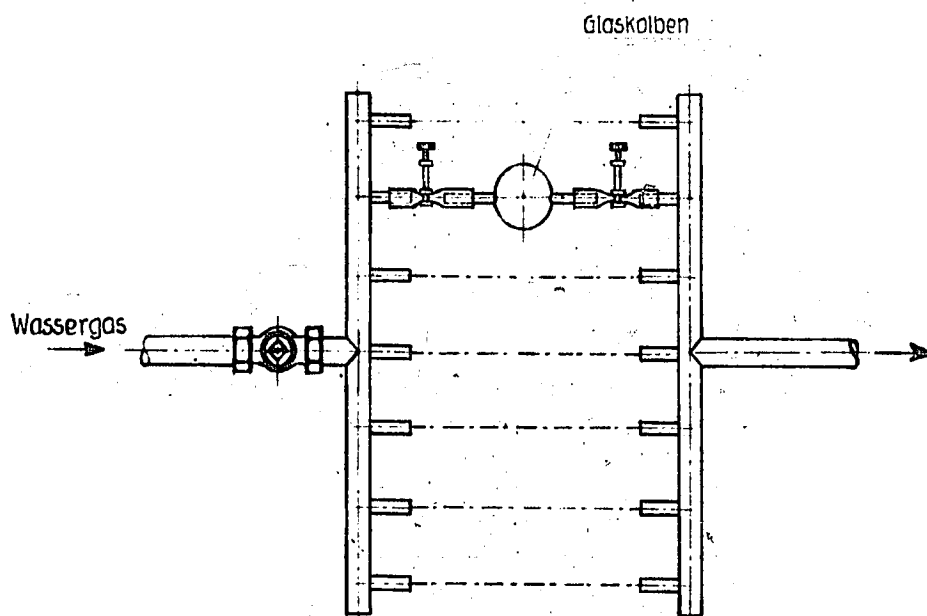
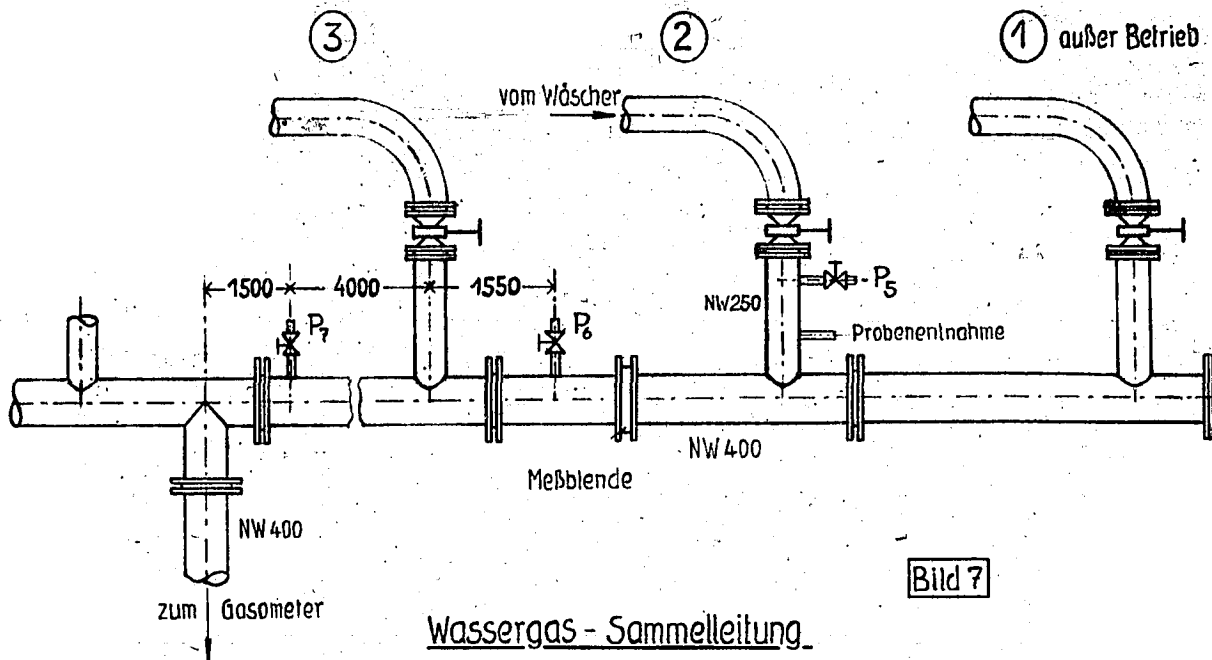
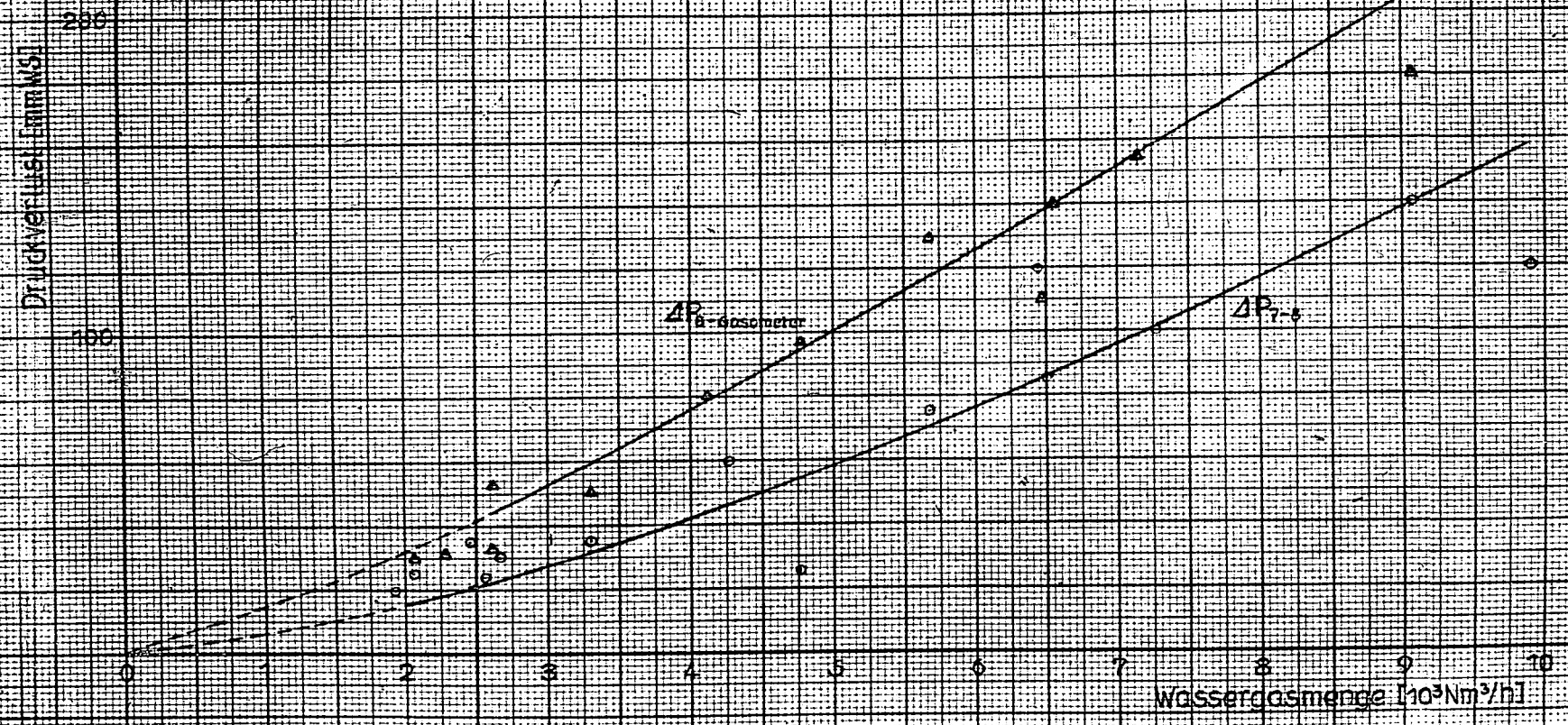


Bild 9



Wassergasleitung zum Gasometer

Druckverlust in der Leitung ($\Delta P_{\text{Leitung}}$) und in den
Absperrorganen vor dem Gasometer ($\Delta P_{\text{Absperrorgan}}$)



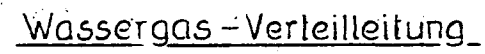
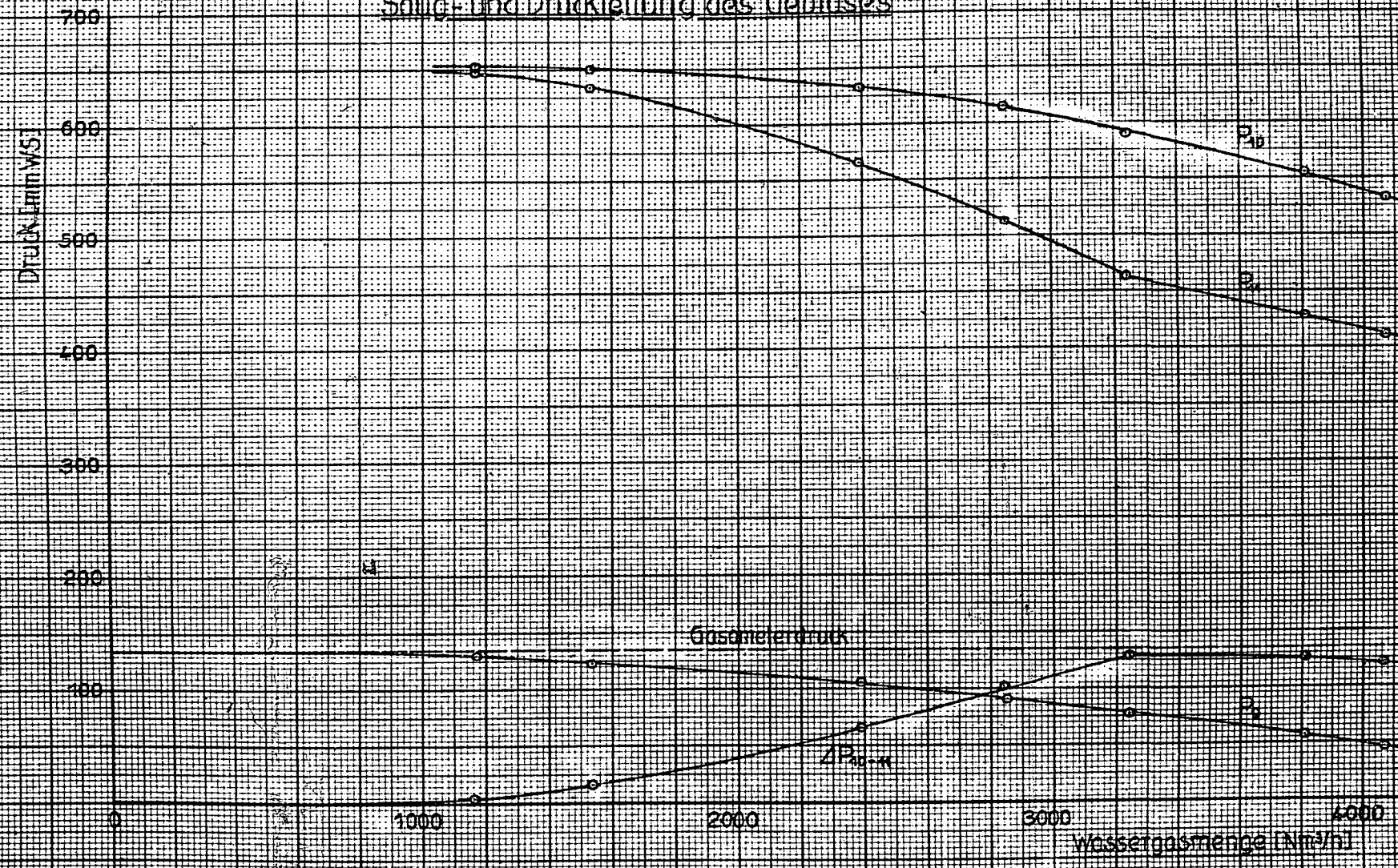


Bild 9

Saug- und Druckleitung des Gebläses



Wassergas-Gehäuse

Kennlinie für $n = 2000/\text{min}$

- 1 durch Lieferfirma ermittelt
- 2 aus Betriebsmessungen

Ansaugzustand: $p = 1,0 \text{ ata}$
 $t = 15^\circ\text{C}$

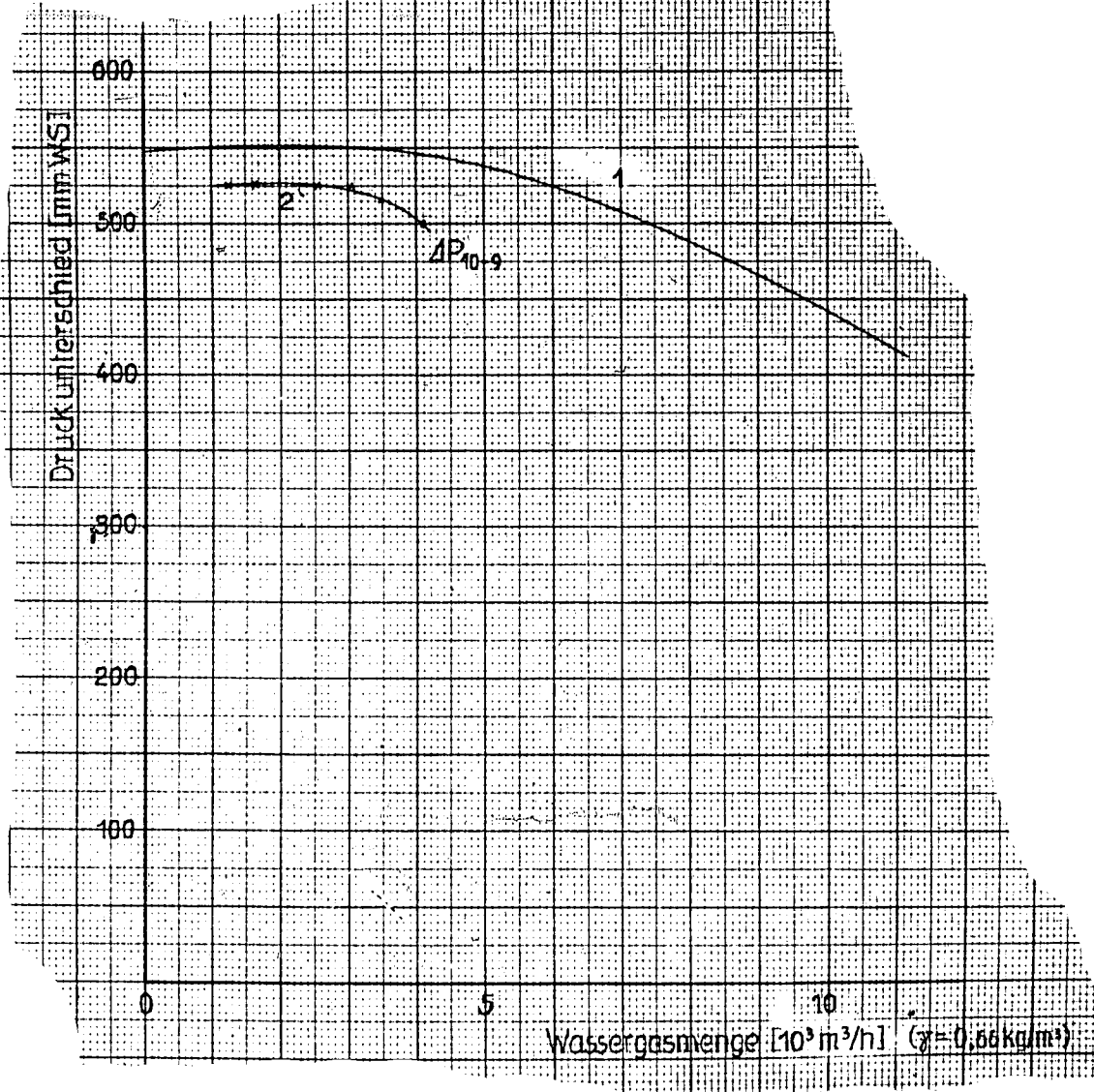


Bild 1

Wassergas-Verteilung

Druckverlust ΔP_{10-1} längs der Meßstrecke

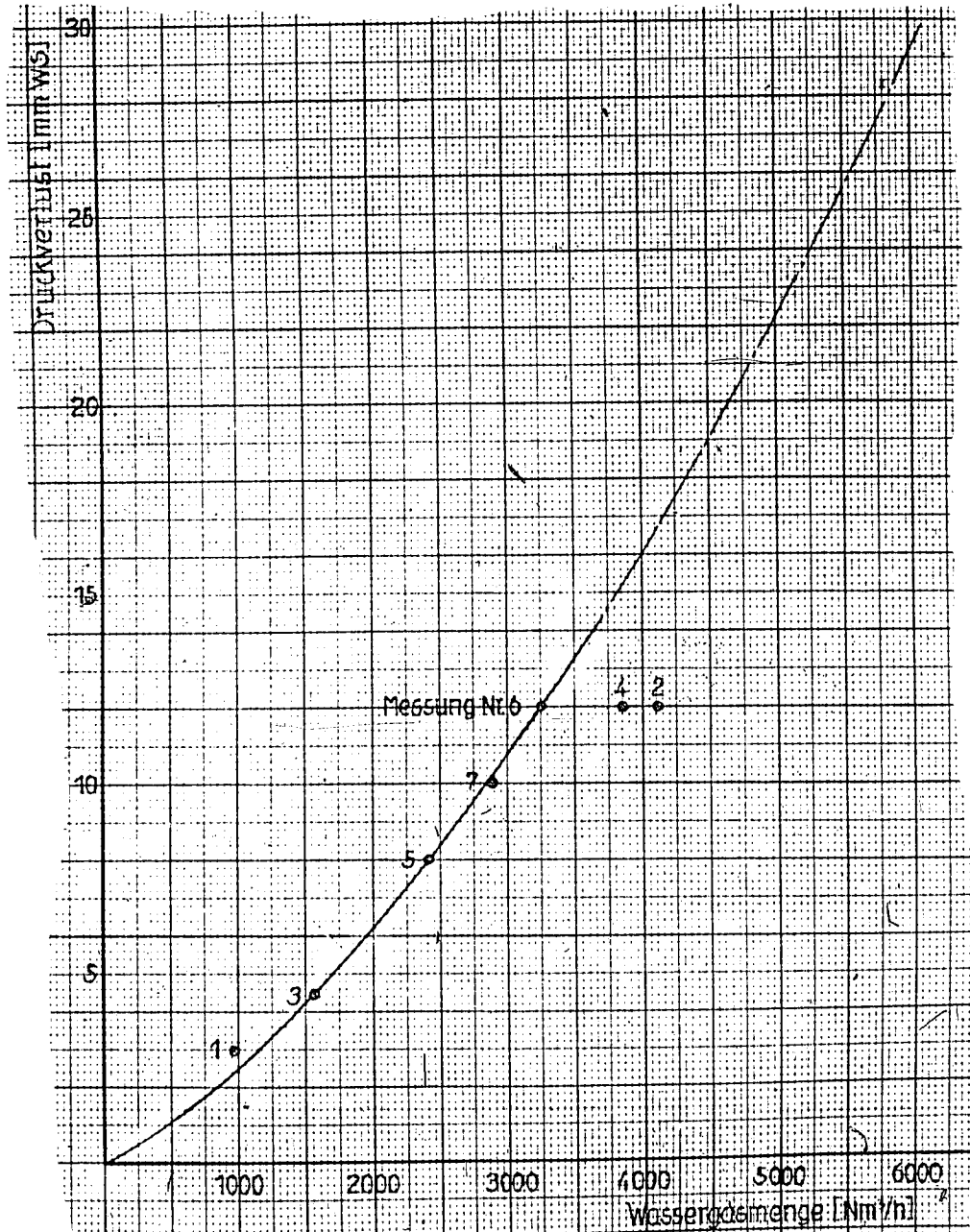


Bild 12

Wasserslofferzeugung

bei einem und mehreren gleichzeitig gasenden Erzeugern

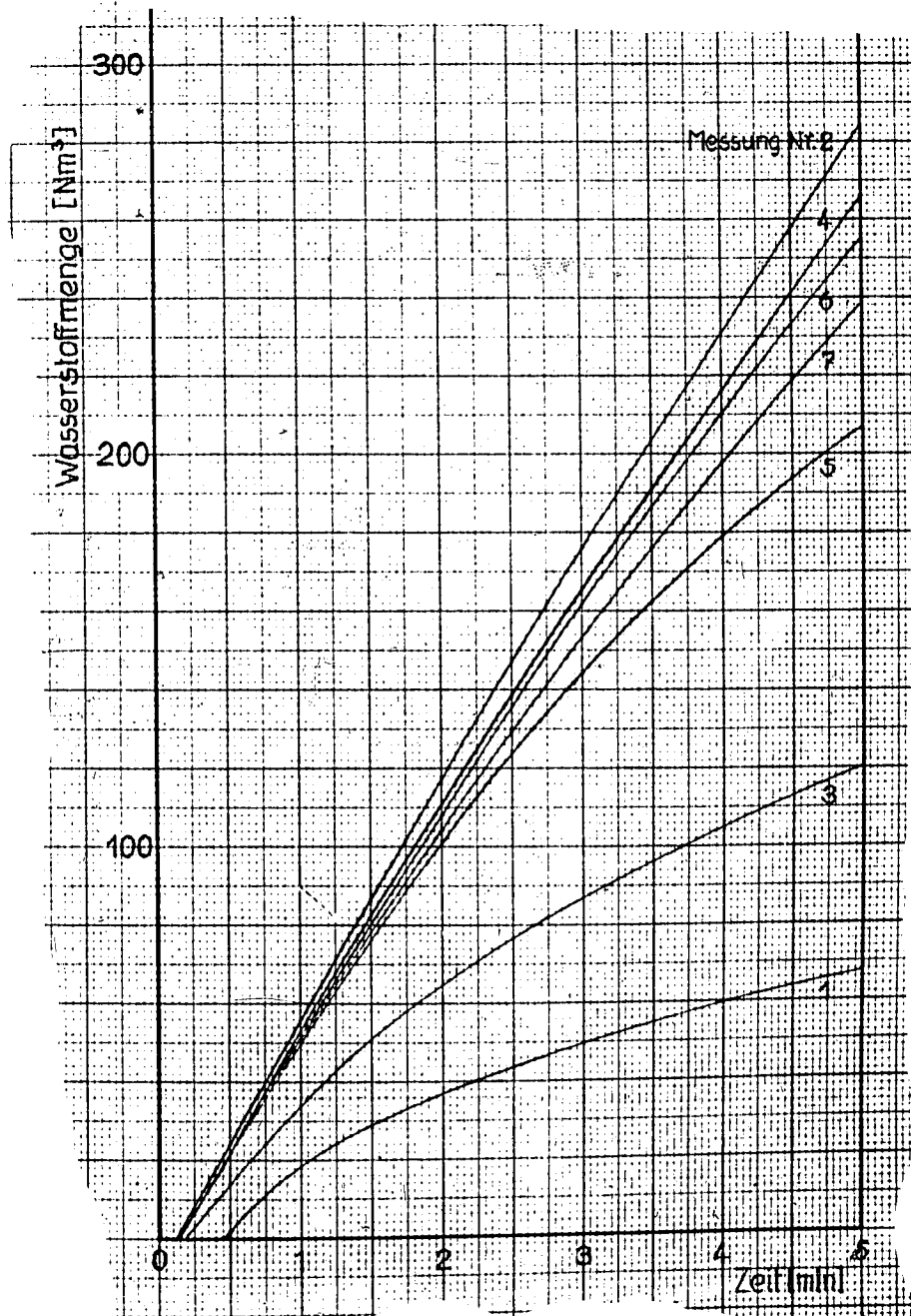
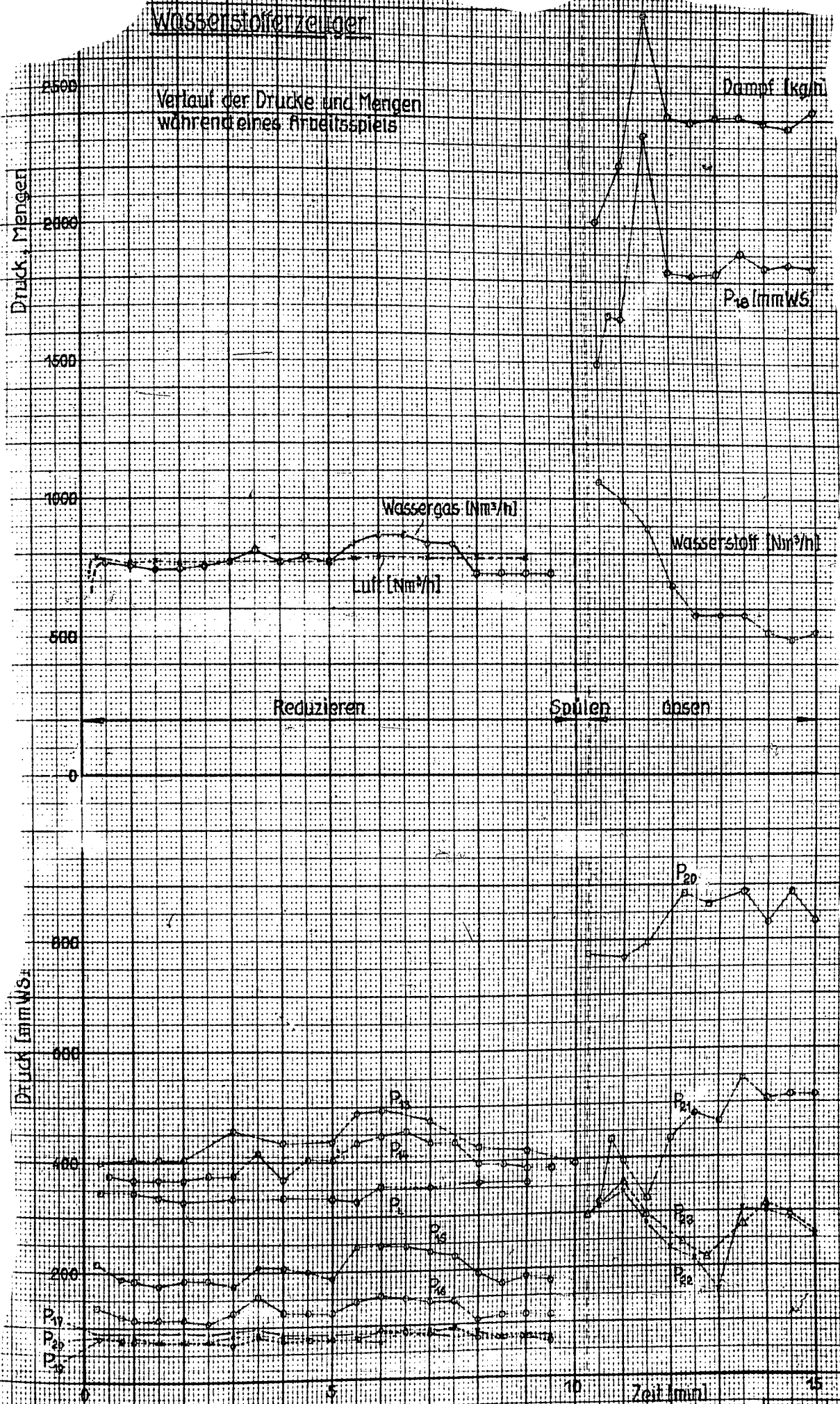


Bild 13

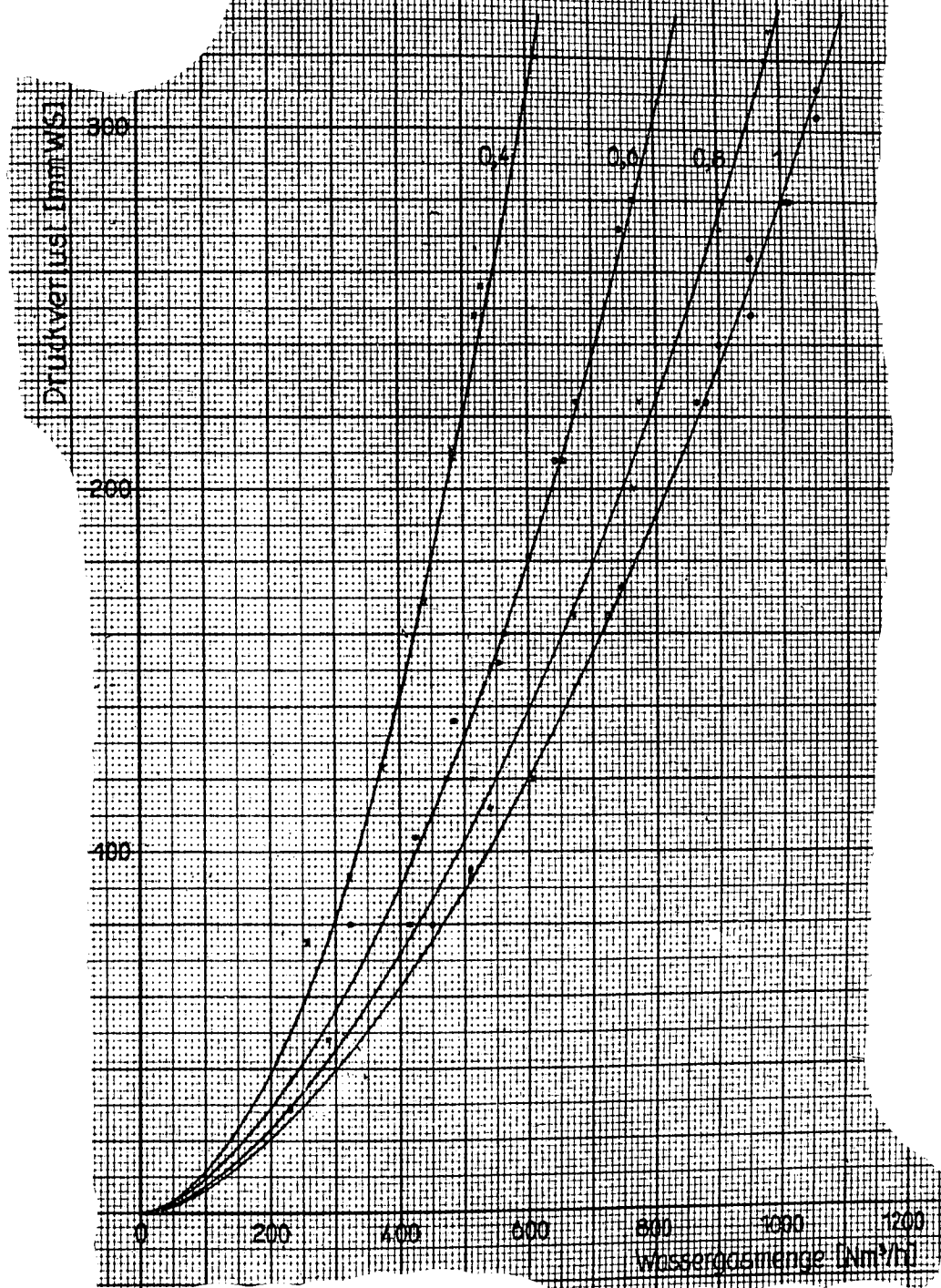
Wasserstoffherstellung

Verlauf der Drücke und Mengen während eines Arbeitszyklus



Wasserstoffzylinder 6

Gesamter Druckverlust Δp_g - Atmosphärendruck
für verschiedene Rohrstellungen



Seite 150

Wassergashahn (Erzeuger 6)

Druckverlust
— einschließlich
— ausschließlich der Meßblende

Die Zahlen bedeuten die Skalenwerte
am Verstellhebel

Druckverlust mm W.S.T.

100

50

0

100

200

300

400

500

600

700

800

900

1000

1100

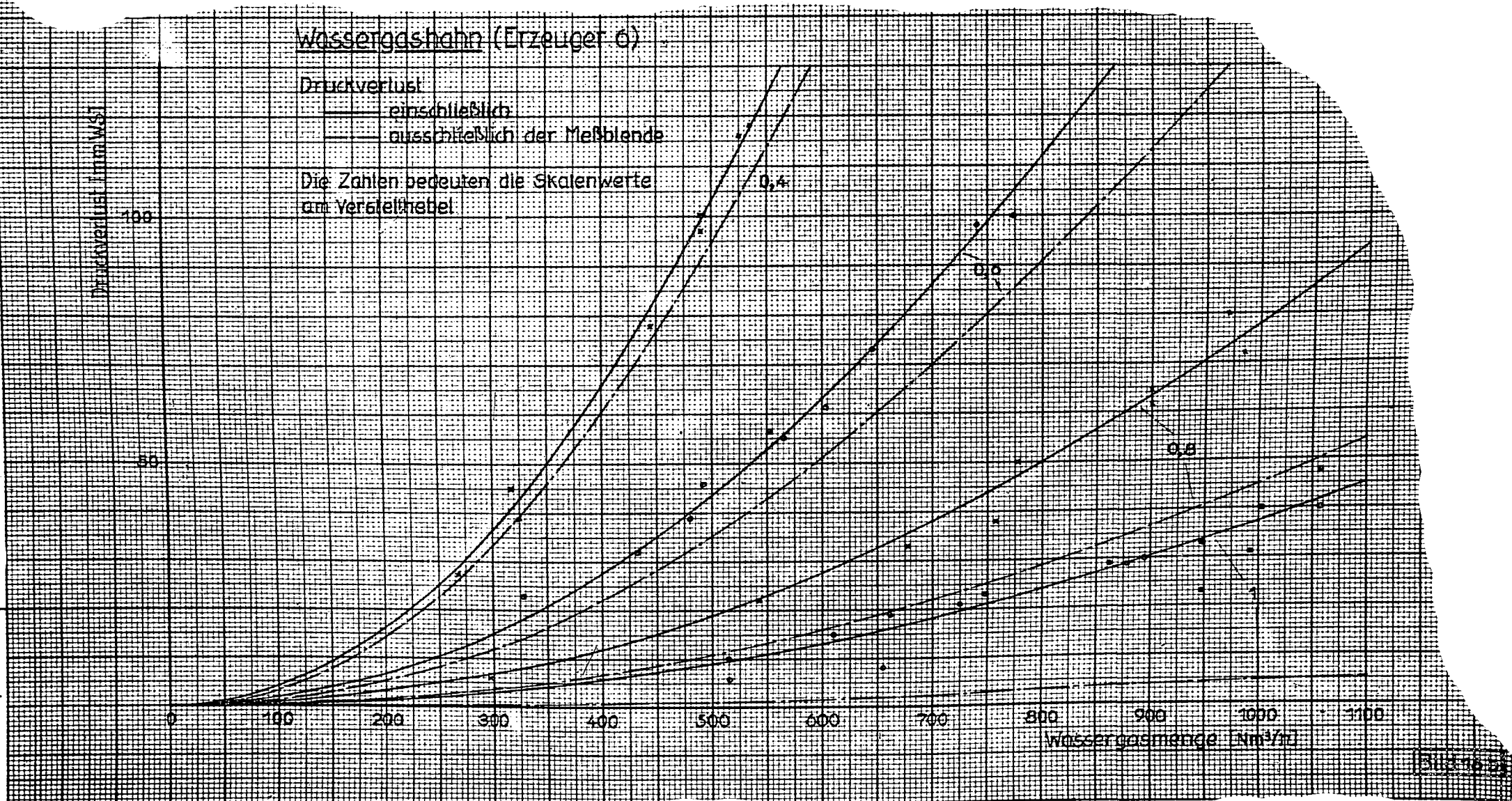
Wassergasmenge Nm³/h

0,4

0,6

0,8

31131653



Wasserdampfzweigler 6

Aufteilung des gesamten Druckverlustes

Wassergasrohr ganz offen

Widerstand der Zweigleitung bei ganz geöffnetem Ventil gemessen

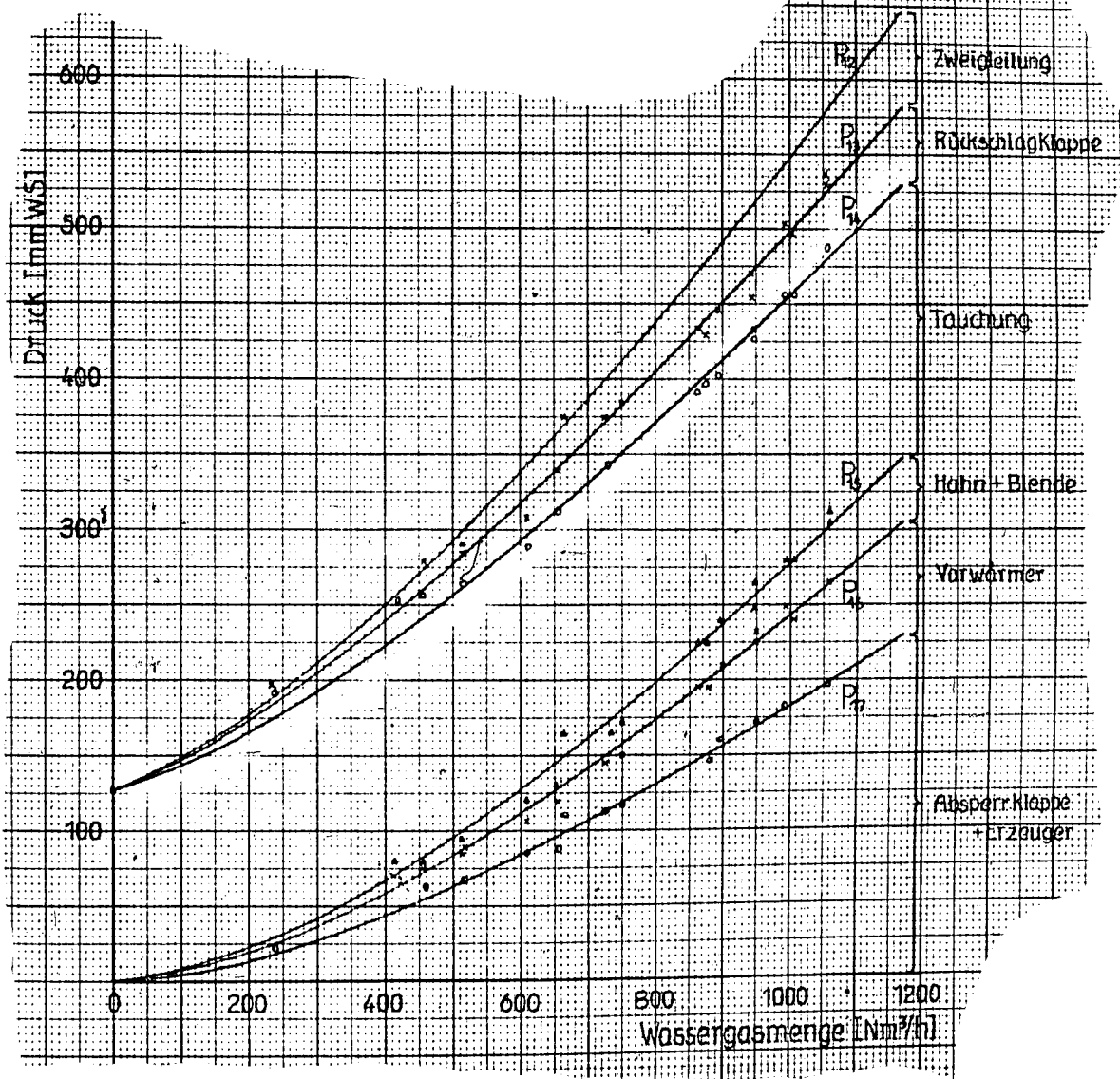


Bild 16

Wasserstoffzeuger 6 (Reduzieren)

Verlauf der Luft- und Wassergaszufuhr bei mehreren Messungen

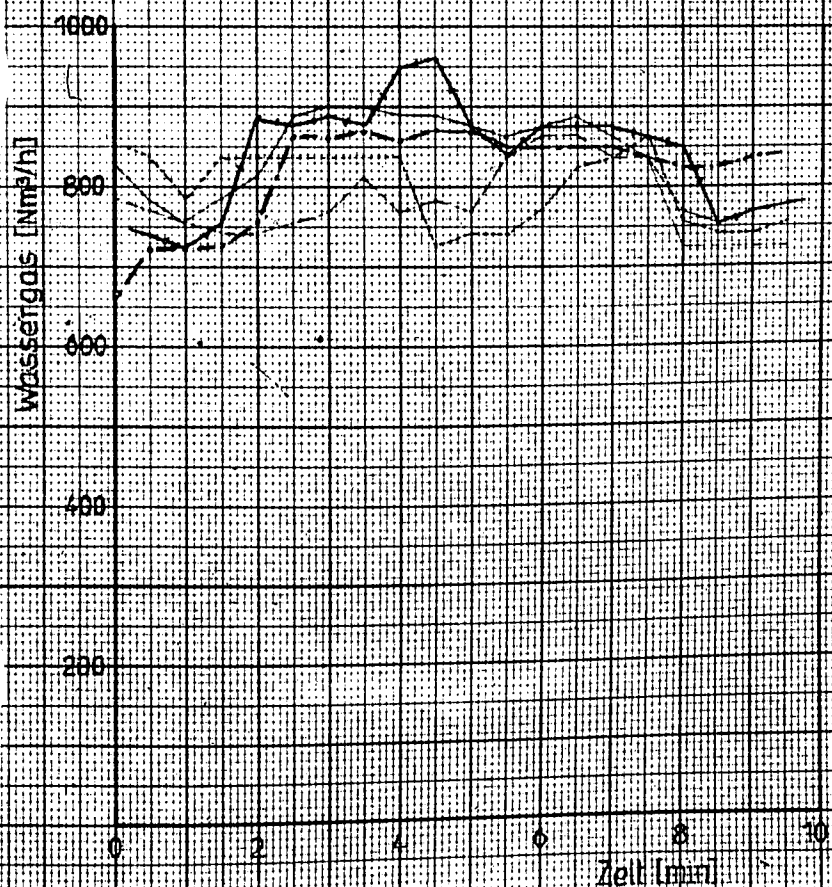
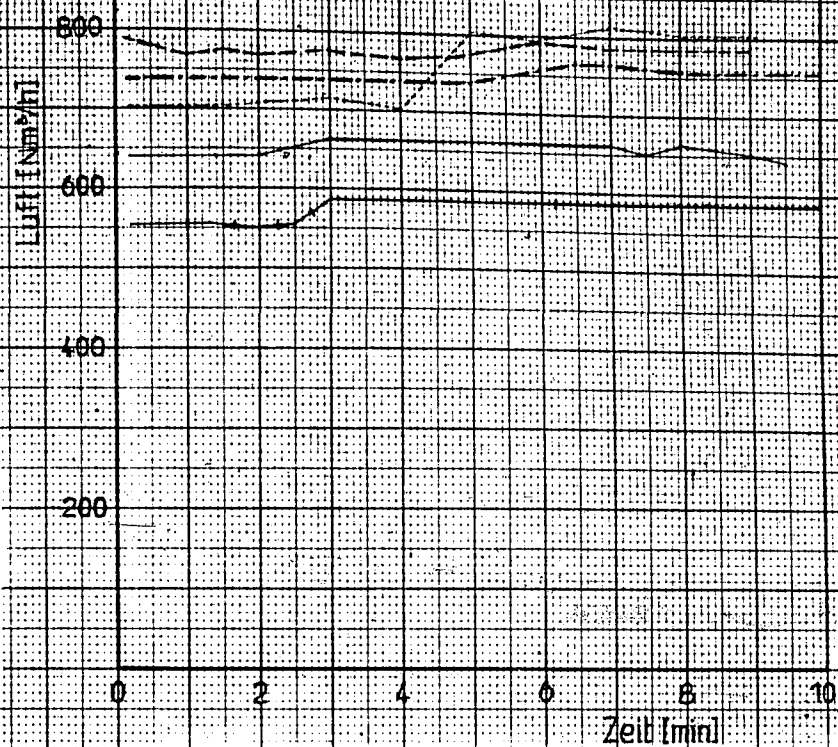


Bild 17

Wasserstoffzylinder 6 (Glasen)

Verlauf der Wasserstoffzeugung und
der Dampfzufuhr bei mehreren
Messungen

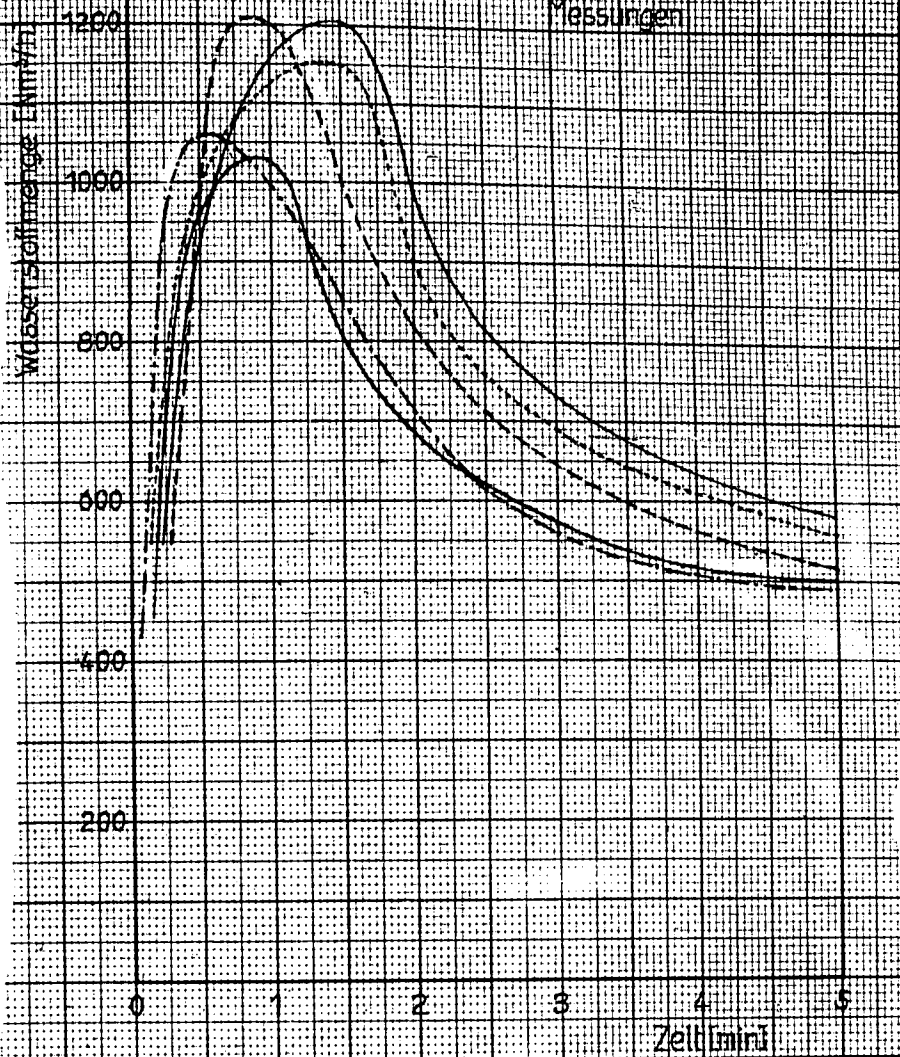


Bild 18

Wassersorgerzeuger

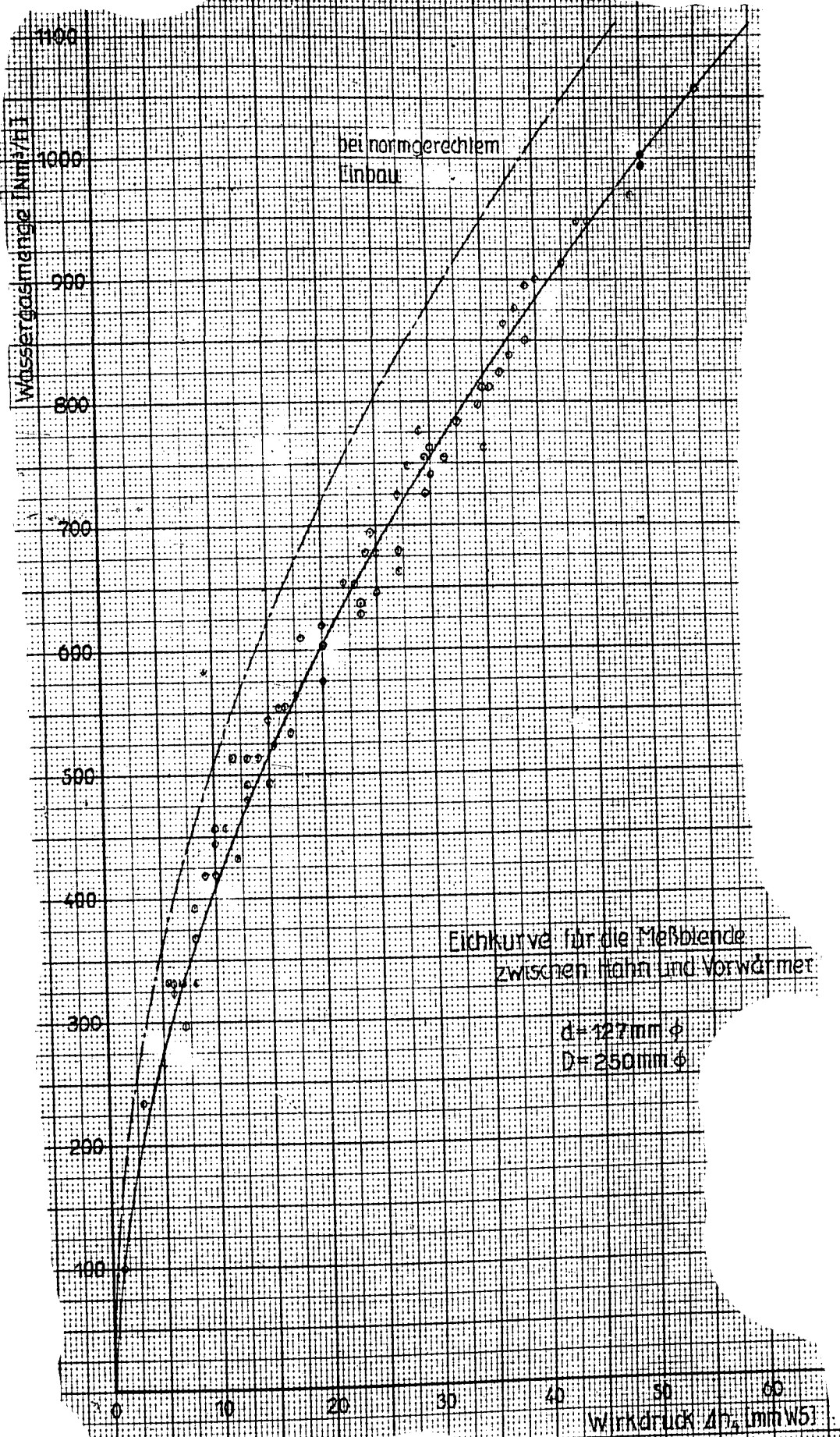


Bild 19

Eingebaute Meßblenden.

Meßstellen	Wirkdruck	Öffnungs- verhältnis $m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$	Blendenformel	mittlerer Barometerstand 720 mm Hg mittl. Betriebszustand vor der Blende		
				p etwa	t etwa °C	γ kg/m ³
Dampf am Eingang zum Wassergasgenerator Nr 2	Δh_{DI} mm Hg	$\left(\frac{65}{80}\right)^2 = 0,660$	$G = 223 \sqrt{h_{DI}} \quad [\text{kg/h}]$	3,5 atü	170 (überhitzt)	2,3
Wassergas - Sammelleitung zwischen Generator Nr 2 u. 3	Δh_1 mm WS	$\left(\frac{196}{400}\right)^2 = 0,240$	$V = 340 \sqrt{h_1} \quad [\text{Nm}^3/\text{h} \frac{0}{760}]$	200 mm WS	15	0,71 bei 0°C 760Hg
Wassergas nach Gebläse (für alle Wasserstofferzeuger)	Δh_2 mm WS	$\left(\frac{285}{400}\right)^2 = 0,509$	$V = 822 \sqrt{h_2} \quad [\quad " \quad]$	600 mm WS	15	"
Wassergas - Verteilung vor Wasserstofferzeuger Nr 6	Δh_3 mm WS	$\left(\frac{130}{400}\right)^2 = 0,106$	$V = 148 \sqrt{h_3} \quad [\quad " \quad]$	500 mm WS	15	"
Wassergas vor Vorwärmer am Wasserstofferzeuger Nr 6	Δh_4 mm WS	$\left(\frac{127}{250}\right)^2 = 0,258$	$V = 114 \sqrt[18]{h_4}^*) \quad [\quad " \quad]$	200 mm WS	20	"
Dampf am Eingang zum Wasserstofferzeuger Nr 6	Δh_{DII} mm Hg	$\left(\frac{84}{150}\right)^2 = 0,314$	$G = 301 \sqrt{h_{DII}} \quad [\text{kg/h}]$	3,5 atü	170 (überhitzt)	2,3
Luft am Eingang zum Wasserstofferzeuger Nr 6	Δh_L mm WS	$\left(\frac{122}{175}\right)^2 = 0,486$	$V = 117 \sqrt{h_L} \quad [\text{Nm}^3/\text{h} \frac{0}{760}]$	500 mm WS	15	1,293 bei 0°C 760Hg
Wasserstoff - Sammelleitung nach Wasserstofferzeuger Nr 5 u. 6	Δh_5 mm WS	$\left(\frac{113,5}{300}\right)^2 = 0,143$	$V = 257 \sqrt{h_5} \quad [\quad " \quad]$	300 mm WS	15	0,135 bei 0°C 760Hg

*) da die Blende h_4 nicht normgerecht eingebaut werden konnte, wurde sie mit Hilfe der einwandfrei eingebauten Blende h_3 geeicht und daraus die Blendenformel $V = 114 \sqrt[18]{h_4}$ bestimmt.