

Heimat-
Artillerie-
Park II

Archiv Nr. 110/26 g

Seite 1
Dieser Bericht
umfaßt
25 Blatt

P 33
26.6.1944

A. D. ...
3110

4. Anfertigung
F. B. ...
W. ...

X

Berechnung thermodynamischer Daten von Feuergasen 2

Der Einfluß verschiedener Zusätze zum Sauerstoffträger
Salpetersäure auf die theoretische Ausströmgeschwindigkeit
(Gasol bzw. Viscol 1 als Brennstoff).

Bearbeiter und Berichtser:
Dr. Buchner

Abteilungsleiter:
Dipl. Chem. Heller

1297

Laboratorium
2. Juli 1944
100: 4331/44

Aufgabe:

In diesem Bericht soll gezeigt werden, welchen Einfluß ein Zusatz von

1. Wasser
2. Schwefelsäure
3. Stickstofftetroxyd

zum Sauerstoffträger Salpetersäure auf die theoretische Ausströmgeschwindigkeit bei vorgegebenem Brennstoff und vorgegebener Sauerstoffüberschuffzahl λ ausübt. Besonderes Interesse hat ein gleichzeitiger Zusatz von Schwefelsäure und Stickstofftetroxyd, bzw. Wasser zur Salpetersäure.

In nachstehender Tabelle 1 sind die in diesem Archiv-Bericht zu besprechenden Treibstoffkombinationen zusammengestellt (über die Bedeutung von q und λ siehe Archiv-Bericht 110/25g, S.4).

Tabelle 1

Zusammenstellung der in diesem Archiv-Bericht zu besprechenden Gemische

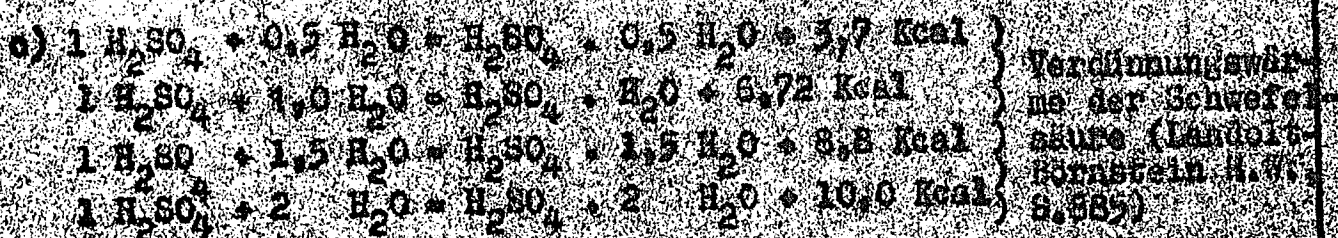
Nr.	Brennstoff	Bezugssauerstoffträger	Zusatzstoff zum Sauerstoffträger	Gew.% zuge-setzter Stoff	q %	λ
0	Gasöl	Salpetersäure	-	-	53,7	0,862
1	"	"	Wasser	5	53,7	0,862
2	"	"	Wasser	10	53,7	0,862
3	"	"	Schwefelsäure	5	53,7	0,862
4	"	"	Schwefelsäure	11	53,7	0,862
5	"	"	Schwefelsäure	15	53,7	0,862
6	"	"	Stickstofftetroxyd	20	53,7	0,862
7	"	"	Stickstofftetroxyd	40	53,7	0,862
8	"	50 G% HNO_3 50 G% N_2O_4	-	-	55,6	0,80
9	"	50 G% HNO_3 50 G% N_2O_4	Wasser	5	55,6	0,80
10	"	50 G% HNO_3 50 G% N_2O_4	Wasser	10	55,6	0,80

11	"	50 G% HNO ₃ 50 G% H ₂ O	Schwefelsäure	5	55,5	0,80
12	"	50 G% HNO ₃ 50 G% H ₂ O	Schwefelsäure	10	55,5	0,80
13	Vielol 1	90 G% HNO ₃ 10 G% H ₂ SO ₄	-	-	54,0	0,852
14	"	90 G% HNO ₃ 10 G% H ₂ SO ₄	Wasser	5	54,0	0,852
15	"	90 G% HNO ₃ 10 G% H ₂ SO ₄	Wasser	10	54,0	0,852
16	"	90 G% HNO ₃ 10 G% H ₂ SO ₄	Wasser	15	54,0	0,852
17	"	90 G% HNO ₃ 10 G% H ₂ SO ₄	Stickstofftrioxyd	10	54,0	0,852
18	"	90 G% HNO ₃ 10 G% H ₂ SO ₄	Stickstofftrioxyd	20	52,5	0,805
19	"	90 G% HNO ₃ 10 G% H ₂ SO ₄	Stickstofftrioxyd	40	54,0	0,852

Zur Berechnung der Ausgangsenthalpie J_0 wird der obere Heizwert des Gasolins mit 157 920 cal/1g-Atom Kohlenstoff (Archiv-Bericht 110/25, S.4) und der des Vielol 1 (n-Butyl-vinyl-Äther) mit 130 500 cal/1g-Atom Kohlenstoff (Heizwertbestimmung des IAP II, 19.5.43) eingesetzt.

Außer der Bildungswärme der Salpetersäure (vgl. Archiv-Bericht 110/25g, S.4) sind noch folgende thermodynamische Gleichungen für vorliegende Rechnungen von Wichtigkeit:

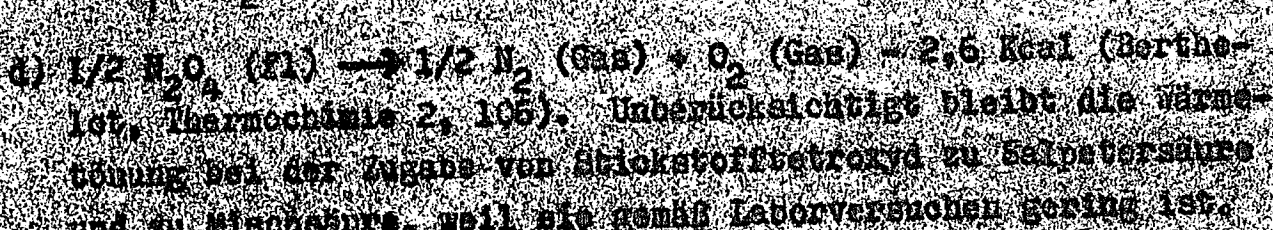
- a) Verdünnungswärme der Salpetersäure (Landolt-Börnstein, H. V. Seite 855)
- $1 \text{ HNO}_3 + 0,5 \text{ H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 \cdot 0,5 \text{ H}_2\text{O} + 2,0 \text{ Kcal}$
 $1 \text{ HNO}_3 + 1,0 \text{ H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 3,34 \text{ Kcal}$
 $1 \text{ HNO}_3 + 1,5 \text{ H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 \cdot 1,5 \text{ H}_2\text{O} + 4,16 \text{ Kcal}$
- b) $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{SO}_2) + 1/2 (\text{O}_2) + (\text{H}_2\text{O})_{\text{D}} = 65,381 \text{ Kcal}$ (vgl. Landolt-Börnstein H. V. S. 853 und C. Wagner, Archiv-Bericht Nr. 20/196)



Zur Berechnung der Verdünnungswärme von Mischsäure kann man sich den Wasserzusatz zur Mischsäure in zwei Teilvorgänge vorlegen denken:

1.) Die Gesamtmenge zugesetzter Wasserdampf (z. B. 10 Gew. % des Sauerstoffträgers) verdünnt die vorhandene Schwefelsäuremenge (z. B. 10 Gew. % des Sauerstoffträgers), wobei in vorliegendem Beispiel eine 50 Zige Säure entsteht und die Wärmemenge W_1 frei wird.

2.) Nach der Abkühlung denkt man sich die verdünnte Schwefelsäure der Salpetersäure (den restlichen 50 Gew. % des Sauerstoffträgers) zugesetzt. Wie durch orientierende Versuche festgestellt wurde, tritt dabei abermals eine Wärmetönung auf, W_2 . Zur Berechnung von W_2 wurde die halbe Verdünnungswärme der Salpetersäure in Rechnung gestellt. "Mischsäure"



Die Mischwärme bei einem Zusatz von Wasser zu einem Sauerstoffträger aus 50 Gew. % Salpetersäure und 50 Gew. % Stickstofftetroxyd wurde so berechnet als ob das Stickstofftetroxyd gar nicht zugegen wäre. Damit bleibt die Wärmetönung vernachlässigt, die bei der Auflösung von Stickstofftetroxyd im Salpetersäure-Wasser-Gemisch auftritt.

Den Rechnungen liegt die Annahme zu Grunde, daß die zugesetzte Schwefelsäure beim Verbrennungsvorgang unter Bildung von Wasser und Schwefeldioxyd nach der Gleichung 5 verfallt und demnach aus 1 t Säure nur 0,8 t Wasser (bzw. 80/100 Wasser) zur Verfügung steht. Die Richtigkeit dieser Annahme wurde durch die 3. Nummer des Berichtes 20/10g bestätigt. Zur Richtigkeit sei auf Bericht 110/26g verwiesen.

Die Resultate der Berechnungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Diese enthält folgende Rubriken:

1. Nr. des Gemisches (vgl. Tabelle 1)

2. Brennstoffäquivalenzzahl q in %

Diese Zahl, die für den Chemiker besonders ansehnlich ist, zeigt an, ob das vorliegende Gemisch ein solches mit Brennstoffüberschuß oder mit Sauerstoffüberschuß ist. Äquivalentgemische haben die Brennstoffäquivalenzzahl 50 %. Zu Gemischen mit Brennstoffüberschuß gehören Brennstoffäquivalenzahlen, die größer als 50 % sind.

3. Mischungsverhältnis m

Das Mischungsverhältnis m ist gleich dem Quotienten aus der Gewichtsmenge Brennstoff und der Gewichtsmenge Sauerstoffträger. Während q eine rein chemische Charakterisierung gibt, ist die Zahl m für den Techniker notwendig, da sie das Verhältnis von unmittelbar meßbaren Größen darstellt.

4. Zusammensetzung des Sauerstoffträgers in Gew.-%

5. Ausgangsgemisch bezogen auf 1 g-Atom Kohlenstoff

Das Ausgangsgemisch ist die linke Seite der Verbrennungsgleichung, die für ein Gram-Atom Kohlenstoff (12,0 g Kohlenstoff) aufgestellt wird.

6. Gesamtmasse in g/Verbrennungsgleichung

Die Gesamtmasse der an der Verbrennung beteiligten Stoffe errechnet man aus der Ausgangsgleichung unter Einsatz der Molekulargewichte der Reaktionspartner, wie sie in Rubrik 5 formuliert sind. Die Gesamtmasse wird benötigt, wenn Angaben, die sich auf die Verbrennungsgleichung beziehen, auf die Gewichtseinheit 1 kg umgerechnet werden sollen.

7a. Molzahlsumme $\sum n_i$ ohne Berücksichtigung der Dissoziation, (daher mit Index 0)

In dieser Zahl sind die Molzahlen der Teilnehmer des Wassergasgleichgewichtes, sowie die Molzahl des Stickstoffes und gegebenenfalls die des bei der Verbrennung entstehenden Schwefeldioxyds enthalten. Dividiert man die Gesamtmasse (Rubrik 6) durch diese Molzahlsumme, so erhält man das Durchschnittsmolekulargewicht M_0 ohne Berücksichtigung der Dissoziation (s. 8. Spalte).

Tabelle 2

Wichtigste thermodynamische Daten zur Berechnung der theoretischen Ausströmgeschwindigkeit W_{th} für die Gemische 1 bis 19

1. Nr.	2. q	3. m	4. Zusammensetzung des Sauerstoffträgers (Gew.%)	Brennstoff: Gasöl	6. Gesamtmasse g/V.G.	7. M_0	8. Ausgangsenthalpie J_0 (Kcal/kg)		
0	53,7	0,220	100 % HNO ₃	CH _{1,8} + HNO ₃	76,83	26,49	1631,0		
1	53,7	0,208	95 % HNO ₃ + 5 % H ₂ O	CH _{1,8} + 0,1841 H ₂ O + HNO ₃	80,15	26,42	1529,7		
2	53,7	0,197	90 % HNO ₃ + 10 % H ₂ O	CH _{1,8} + HNO ₃ + 0,3387 H ₂ O	83,83	25,49	1427,7		
3	53,7	0,211	95 % HNO ₃ + 5 % H ₂ SO ₄	CH _{1,8} + 0,9868 HNO ₃ + 0,0334 H ₂ SO ₄	79,27	26,84	1556,1		
4	53,7	0,201	89 % HNO ₃ + 11 % H ₂ SO ₄	CH _{1,8} + 0,9694 HNO ₃ + 0,077 H ₂ SO ₄	82,45	27,27	1464,2		
5	53,7	0,195	85 % HNO ₃ + 15 % H ₂ SO ₄	CH _{1,8} + 0,9568 HNO ₃ + 0,1085 H ₂ SO ₄	84,74	27,57	1402,1		
6	53,7	0,223	80 % HNO ₃ + 20 % N ₂ O ₄	CH _{1,8} + 0,7851 HNO ₃ + 0,1344 N ₂ O ₄	75,65	26,83	1683,6		
7	53,7	0,228	60 % HNO ₃ + 40 % N ₂ O ₄	CH _{1,8} + 0,5779 HNO ₃ + 0,2639 N ₂ O ₄	74,51	27,18	1735,3		
8	55,6	0,247	50 % HNO ₃ + 50 % N ₂ O ₄	CH _{1,8} + 0,4428 HNO ₃ + 0,3033 N ₂ O ₄	69,62	26,31	1878,6		
9	55,6	0,235	47,5 % HNO ₃ + 47,5 % N ₂ O ₄ + 5 % H ₂ O	CH _{1,8} + 0,4428 HNO ₃ + 0,3033 H ₂ O + 0,1630 H ₂ O	72,56	25,83	1769,4		
10	55,6	0,223	45,0 % HNO ₃ + 45 % N ₂ O ₄ + 10 % H ₂ O	CH _{1,8} + 0,4428 HNO ₃ + 0,3033 N ₂ O ₄ + 0,3442 H ₂ O	75,82	25,36	1661,2		
11	55,6	0,238	47,5 % HNO ₃ + 47,5 % N ₂ O ₄ + 5 % H ₂ SO ₄	CH _{1,8} + 0,4372 HNO ₃ + 0,2994 N ₂ O ₄ + 0,0296 H ₂ SO ₄	71,81	26,64	1795,6		
12	55,6	0,229	45 % HNO ₃ + 45 % N ₂ O ₄ + 10 % H ₂ SO ₄	CH _{1,8} + 0,4310 HNO ₃ + 0,2952 N ₂ O ₄ + 0,0615 H ₂ SO ₄	74,16	26,98	1711,9		
Brennstoff: Viscol									
13	54,0	0,254	90 % HNO ₃ + 10 % H ₂ SO ₄	CH _{2,0} ,167 + 0,9385 HNO ₃ + 0,067 H ₂ SO ₄	82,40	26,82	1484,7		
14	54,0	0,241	85,5 % HNO ₃ + 9,5 % H ₂ SO ₄ + 5 % H ₂ O	CH _{2,0} ,167 + 0,9385 HNO ₃ + 0,067 H ₂ SO ₄ + 0,1919 H ₂ O	85,86	26,30	1387,5		
15	54,0	0,229	81 % HNO ₃ + 9 % H ₂ SO ₄ + 10 % H ₂ O	CH _{2,0} ,167 + 0,9385 HNO ₃ + 0,067 H ₂ SO ₄ + 0,4052 H ₂ O	89,70	25,79	1296,5		
16	54,0	0,216	76,5 % HNO ₃ + 8,5 % H ₂ SO ₄ + 15 % H ₂ O	CH _{2,0} ,167 + 0,9385 HNO ₃ + 0,067 H ₂ SO ₄ + 0,6436 H ₂ O	94,00	25,30	1205,9		
17	54,0	0,259	81 % HNO ₃ + 9 % H ₂ SO ₄ + 10 % N ₂ O ₄	CH _{2,0} ,167 + 0,8294 HNO ₃ + 0,0592 H ₂ SO ₄ + 0,0701 N ₂ O ₄	81,21	26,91	1523,8		
18	52,5	0,248	72 % HNO ₃ + 8 % H ₂ SO ₄ + 20 % N ₂ O ₄	CH _{2,0} ,167 + 0,7693 HNO ₃ + 0,0549 H ₂ SO ₄ + 0,1463 N ₂ O ₄	84,02	27,77	1480,7		
19	54,0	0,273	54 % HNO ₃ + 6 % H ₂ SO ₄ + 40 % N ₂ O ₄	CH _{2,0} ,167 + 0,5246 HNO ₃ + 0,0375 H ₂ SO ₄ + 0,2661 N ₂ O ₄	77,91	27,19	1643,1		
* Ga									
Nr.	0	2,900	8	2,646	12	2,749	16	3,716	
1	3,034	5	3,074	9	2,809	13	3,073	17	3,018
2	3,289	6	2,820	10	2,990	14	3,264	18	3,025
3	2,954	7	2,742	11	2,696	15	3,478	19	2,866

Fortsetzung Tabelle 2

$T = 3000^{\circ}K$

$p_{1,Pa} = 16 \cdot 10^4 Pa = 16 \text{ atd} \quad p_a = 1 \text{ atd}$

Nr.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
	$J(T^*, p^*)$	$J(T^*, p)$	$J(T, p_1)$	T_2	$S(T_1, p_1)$	$S(T_2, p_2)$	T_2	$S(T_2, p_2)$	$J(T_2, p_2)$	theoretische Ausstromgeschwindigkeit W_{th}	ΔJ Kcal/kg	Verbrennungstemperatur T_1
	OK	OK	Kcal/kg	OK	Kcal/kg	Kcal/kg	OK	Kcal/kg	Kcal/kg	m/sek		OK
0	987,4	1441,6	1679,6	3000	+ 0,0592	+ 0,0595	2250	+ 0,0595	1120,4	2150	552,0	2966
1	999,5	1398,7	1569,3	2900	+ 0,0450	+ 0,0362	2100	+ 0,0362	1013,4	2100	526,5	2864
2	1051,8	1519,8	1716,1	2700	- 0,0452	- 0,0483	1800	- 0,0483	960,6	2003	479,2	2660
3	970,5	1419,1	1637,6	2900	+ 0,0234	+ 0,0322	2100	+ 0,0322	1036,4	2094	523,9	2920
4	950,7	1393,3	1620,2	2800	- 0,0049	+ 0,0059	2000	+ 0,0059	962,5	2039	496,7	2842
5	936,1	1376,2	1591,3	2800	- 0,0060	+ 0,0056	2000	+ 0,0056	947,3	2003	479,3	2798
6	983,5	1428,9	1640,6	3000	+ 0,0539	+ 0,0518	2100	+ 0,0518	1048,3	2163	558,8	3036
7	979,5	1417,0	1616,7	3100	+ 0,0842	+ 0,0875	2300	+ 0,0875	1167,4	2180	567,3	3110
8	1173,3	1613,5	1765,0	3100	+ 0,0548	+ 0,0544	2200	+ 0,0544	1289,0	2191	573,6	3124
9	1165,1	1614,1	1777,9	3000	+ 0,0296	+ 0,0297	2100	+ 0,0297	1225,7	2149	551,7	2990
10	1154,2	1616,0	1791,9	2900	+ 0,0043	+ 0,0046	2000	+ 0,0046	1163,4	2097	525,4	2862
11	1132,2	1587,7	1737,7	3100	+ 0,0555	+ 0,0539	2200	+ 0,0539	1265,1	2148	550,9	3062
12	1130,7	1563,3	1710,8	3000	+ 0,0259	+ 0,0281	2100	+ 0,0281	1188,2	2102	527,5	3000
13	975,1	1426,3	1645,1	2800	- 0,0072	- 0,0056	2000	- 0,0056	986,5	2049	501,6	2834
14	974,1	1434,4	1669,1	2700	- 0,0349	- 0,0473	1800	- 0,0473	884,8	2003	479,3	2703
15	973,1	1444,3	1697,1	2600	- 0,0619	- 0,0765	1700	- 0,0765	832,7	1955	456,5	2567
16	970,7	1453,4	1717,7	2500	- 0,0898	- 0,0782	1700	- 0,0782	827,0	1907	434,4	2422
17	976,5	1424,3	1646,8	2900	+ 0,0248	+ 0,0324	2100	+ 0,0324	1042,6	2071	512,2	2877
18	840,6	1281,5	1559,6	2900	+ 0,0522	+ 0,0529	2100	+ 0,0529	948,1	2082	518,0	2923
19	931,3	1420,5	1633,5	3000	+ 0,0545	+ 0,0595	2200	+ 0,0595	1105,8	2129	541,2	3009

7. Durchschnittsmolekulargewicht M_0 (ohne Berücksichtigung der Dissoziation).

Diese Größe erlaubt eine Abschätzung der Ausströmgeschwindigkeit (nach St. Venant und Wantzel). M_0 dient ferner zur Entropieberechnung für Drucke, die von 1 ata verschieden sind.

8. Ausgangsenthalpie J_0 in Kcal/kg

Die Ausgangsenthalpie setzt sich aus dem unteren Heizwert des Brennstoffes, den Zersetzungswärmen und gegebenenfalls den Verdünnungswärmen der sich an der Verbrennung beteiligenden Stoffe zusammen. Sie ist der Ausdruck für die Energie, die in dem betrachteten System enthalten ist. Von ihr sind insbesondere die Verbrennungstemperatur T_1 , die Ausströmenergie ΔJ und die theoretische Ausströmgeschwindigkeit w_{th} abhängig.

9. Enthalpie $J'(2000)$ ohne Dissoziation

Auf dieser Enthalpie kann man sich die Enthalpien für andere Temperaturen und Drucke aufgebaut denken. Sie ist der Grundwert, zu dem noch Enthalpiebeträge addiert werden müssen, in denen die Temperaturerhöhung und die Dissoziation berücksichtigt sind.

10. Enthalpie $J'(T^*)$ ohne Dissoziation

In der Größe $J'(T^*)$ ist der Temperaturanteil bei der Erhöhung der Temperatur von $2000^\circ K$ auf eine Rechentemperatur T^* , die in der Nähe der Verbrennungstemperatur liegt, berücksichtigt.

11. Enthalpie $J(T^*, p^*)$ mit Dissoziation

Diesem Wert liegt eine vollständige thermodynamische Berechnung mit allen Dissoziationsgleichgewichten zu Grunde. Diese Rechnung wird bei einer Rechentemperatur T^* und bei einem Rechendruck p^* durchgeführt. Er dient zur Berechnung der weiteren Rechengrößen.

12. Anleichtemperatur T_1

Dieser Temperaturwert, der in Schritten von 100° berechnet wird, soll der tatsächlichen Verbrennungstemperatur möglichst nahe kommen.

13. Enthalpie $J(T_1, p_1)$ (mit Dissoziation)

Diese Größe wird aus dem unter 12 genannten Wert für die Temperatur T_1 und dem Heizbehälterdruck p_1 , der durch die jeweilige Aufgabenstellung gegeben ist, nach dem Verfahren von C. Wagner (Archiv-Bericht Nr. 20/15g) berechnet.

14. Entropie $S(T_1, p_1)$ (mit Dissoziation)

Die Entropie $S(T_1, p_1)$ ist die Zustandsgröße, welche die Arbeitsfähigkeit des Arbeitsmediums im Ausgangsstadium charakterisiert. Sie läßt sich aus der zugehörigen Enthalpie $J(T_1, p_1)$ berechnen.

15. Angleichtemperatur T_2

Dieser Temperaturwert, der ebenso wie T_1 in Schritten von 100° berechnet wird, soll der tatsächlich theoretischen Entspannungstemperatur möglichst nahe kommen; zu ihrer Bestimmung ist die folgende Größe notwendig.

16. Entropie $S(T_2, p_a)$ (mit Dissoziation)

Die Entropie $S(T_2, p_a)$ charakterisiert den Zustand (Arbeitsfähigkeit) im Endstadium der Entspannung auf den Austrittsdruck p_a . In diesem Zustand ist eine Umwandlung von potentieller Energie in kinetische erfolgt. Da dieser Vorgang adiabatisch erfolgt, muß die Entropie unverändert bleiben. Die Entropie $S(T_2, p_a)$ liegt in der Nähe vom tatsächlichen theoretischen Wert und damit auch vom Wert $S(T_1, p_1)$.

17. Enthalpie $J(T_2, p_a)$ (mit Dissoziation)

Diese Größe ist angenähert die Enthalpie der entspannten Gase. $J(T_2, p_a)$ ist für die Temperatur T_2 berechnet, die weniger als 50° von der wahren Entspannungstemperatur verschieden ist.

18. Theoretische Ausströmgeschwindigkeit W_{th}

Diese Größe ist das Ergebnis der gesamten Rechnung. Sie ist ein Ausdruck für die Leistungsfähigkeit einer Treibstoffkombination.

19. Ausströmenergie ΔJ

Diese Größe stellt die während der Entspannung in kinetische (= Strömungs-) Energie umgewandelte Enthalpiemenge dar. Sie wird aus den bisher genannten Größen nach folgender einfacher Formel berechnet.

$$\Delta J = J(T_1, p_1) - J(T_2, p_a) + \left[J_0 - J(T_1, p_1) \right] \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} - T_2 \cdot \left[S(T_1, p_1) - S(T_2, p_a) \right].$$

20. Theoretische Verbrennungstemperatur T_1

1305

Die Rechenergebnisse werden am besten an Hand der Kurvenblätter erörtert.

Zur übersichtlichen Darstellung werden die interessierenden Größen w_{th} und T_i , sowie die Hilfsgrößen, deren Einfluß auf den Wert von w_{th} und T_i studiert wurde, in Abhängigkeit von der Anzahl Gew.-% zugesetzten Wassers, Schwefelsäure, bzw. Stickstofftetroxyds aufgetragen.

So enthält:

Kurvenblatt 1:

Die Ausgangsenthalpie J_0 , die Enthalpie $J(T^*, p^*) = J(3000^\circ, 16 \text{ ata})$ in Kcal/kg und das Molekulargewicht M_0 bei der Treibstoffkombination Gasöl + Salpetersäure als Funktion der zugesetzten Menge (in Gew.-% des Sauerstofftragers) Wasser, Schwefelsäure und Stickstofftetroxyd; die Brennstoffäquivalentzahl q beträgt 53,7%.

Kurvenblatt 2:

Die theoretische Ausströmgeschwindigkeit w_{th} in m/sek und die Verbrennungstemperatur T_i ($^\circ K$) bei der Treibstoffkombination Gasöl + Salpetersäure als Funktion der zugesetzten Menge (in Gew.-% des Sauerstofftragers) Wasser, Schwefelsäure und Stickstofftetroxyd; $q = 53,7$, Luftspannungsverhältnis 16:1.

Aus den Kurvenblättern 1 und 2 abzulesende Ergebnisse:

1.) Wasserzusatz

Ein Wasserzusatz, auch der kleinste Wasserzusatz, wirkt sich auf die Ausströmgeschwindigkeit w_{th} stark erniedrigend aus. Ursache hierfür sind hauptsächlich 2 Gründe:

Die Verdampfungswärme des Wassers ist hoch; diese sowie zusätzlich die Verdünnungswärme werden bei der Berechnung der Ausgangsenthalpie J_0 in Abzug gebracht (vgl. J_0 für die Gemische Nr. 1 und 2, 8, 9 und 10, sowie 13, 14, 15 mit 16). Durch Erniedrigung von J_0 werden auch T_i und w_{th} kleiner.

Der 2. Grund für den Leistungsabfall bei Wasserzusatz ist die Tatsache, daß Wasser Teilnehmer des im Brennstoffüberschußgebiet wichtigen Wassergasgleichgewichtes ist. Dieses wird durch den Wasserzusatz weitgehend verschoben, wie dies in Tabelle 3 gezeigt wird. Die Wärmekapazität der Feuergase $\mathcal{L} = [J'(3000) - J'(2000)] : 1000$ wächst mit steigendem Wasserzusatz. Damit wachsen auch die Enthalpien $J(T^*, p^*)$.

Tabelle 3

Wassergleichgewicht und Multipl. ohne Berücksichtigung der Dissoziation für die Gemische 0, 1 und 2. $q = 53,7\%$

Nr.	T_{OK}	n_{CO_2}	n_{SO}	n_{H_2O}	n_{H_2}	n_{N_2}	$\frac{U_{real}}{U_{theor}}$	$\frac{P_{real}}{P_{theor}}$	Gew. I, %	α
0	2000	0,713	0,287	1,287	0,113	0,500	759,1	987,1	0	0,454
0	3000	0,694	0,306	1,316	0,094	0,500	110,90	1440,7	0	
1	2000	0,724	0,276	1,450	0,124	0,500	76951	985,0	5	0,484
1	3000	0,694	0,306	1,490	0,094	0,500	116157	1449,2	5	
2	2000	0,732	0,268	1,657	0,132	0,500	83943	983,4	10	0,475
2	3000	0,703	0,298	1,687	0,102	0,500	122250	1452,4	10	

Mit dem Wasser bringt man einen Stoff in das System hinein, der bei der Dissoziation weitere Mengen von Sauerstoff mit verhältnismäßig hohen molaren Entzialien liefert (O_2 , n , 0 gew.) Damit erhöht sich $I(T, p)$ bei gleichzeitigen Absinken von J_0 , in Endeffekt also ein merklicher Leistungsabfall.

2.) Schwefelsäurezusatz

Auch ein Schwefelsäurezusatz bewirkt eine starke Verminderung der theoretischen Austrittsgeschwindigkeit. Die Schwarzlichtigkeit von H_2SO_4 drückt sich im Absinken der Ausgangsmultipl. J_0 aus (vgl. Gemische 0, 1, 4 und 5 oder 8, 11 und 12). Da die Schwefelsäure auch ein Sauerstoffträger (wenn auch ein schlechter) ist, ändert sich im Gegensatz zu den entsprechenden Werten beim Wassereinsatz die Molzahl der Salpetersäure für das Ausgangsgemisch (0, 1, 4 und 5 (Subst. 5)). Der Leistungsabfall, der durch Schwefelsäurezusatz bewirkt wird, kann praktisch als linear gelten, wenn das W_{th} in Abhängigkeit von der Anzahl Gew.-% zugesetzter H_2SO_4 aufträgt. Infolge des hohen Molgewichtes des bei der Verbrennung entstehenden Schwefeldioxyde ist der Wert für W_{th} hier stets höher als für W_0 gleichgroßen Wassereinsatzes. Bei geringen Schwefelsäuremengen ist dadurch die relative Verminderung der Austrittsgeschwindigkeit größer als bei Wassereinsatz. Erst bei größeren Schwefelsäuremengen im Vergleich zu gleichgroßen Wassermengen zeigt sich, daß die Schwefelsäure im Gegensatz zu Wasser, als Sauerstoffträger zu gelten hat. Von einem

Schwefelsäurezusatz von 7 Gew.-% ab, hin zu größeren Zusätzen liegt der W_{th} -Wert stets oberhalb des Wertes mit gleichem Wasserzusatz.

3.) Stickstofftetroxydzusatz

Ein Zusatz von Stickstofftetroxyd zur Salpetersäure erhöht die theoretische Ausströmgeschwindigkeit. Der Anstieg, der für 40 %igen Zusatz von Stickstofftetroxyd etwa 1,4 % beträgt, ist fast linear.

Kurvenblatt 3:

Ausgangsenthalpie J_0 , Enthalpie $J(3000^\circ, 16 \text{ ata})$ in Kcal/kg und Molgewicht M_0 bei der Treibstoffkombination Gasöl + (50 Gew.-% HNO_3 + 50 Gew.-% N_2O_4) als Funktion der zugesetzten Menge Wasser und Schwefelsäure in Gew.-% des Sauerstoffträgers, $q = 55,6 \%$.

Kurvenblatt 4:

Theoretische Ausströmgeschwindigkeit W_{th} in m/sek und Verbrennungstemperatur T_1 ($^\circ\text{K}$) bei der Treibstoffkombination Gasöl + (50 % HNO_3 + 50 % N_2O_4) als Funktion der zugesetzten Menge Wasser und Schwefelsäure in Gew.-% des Sauerstoffträgers, $q = 55,6 \%$, $p_1 : p_a = 16:1$.

Aus den Kurvenblättern 3 und 4 abzulesende Ergebnisse:

1.) Wasserzusatz

Die einzelnen thermodynamischen Kenngrößen J_0 , $J(T^*, p^*)$, M_0 , T_1 und W_{th} zeigen die gleiche Tendenz wie bei der durch Wasser-, Schwefelsäure- bzw. Stickstofftetroxyd-Zusatz variierte Treibstoffkombination Gasöl und Salpetersäure (Kurvenblatt 1 und 2). Auffallend ist hier der fast lineare Abfall von M_0 im Gegensatz zu vorstehend aufgeführten Treibstoffkombinationen. Die Erniedrigung von M_0 bei Wasserzusatz wird durch die Anwesenheit einer größeren Menge von Gasen mit niedrigem Molgewicht bewirkt (H_2O , H_2 , gegenüber CO_2 und CO usw.).

2.) Schwefelsäurezusatz

Auch bei diesen Treibstoffkombinationen fällt der starke Anstieg von M_0 auf, der hier im Gegensatz zur variierten Treibstoffkombination Gasöl - Salpetersäure nicht linear verläuft. Der Anstieg von M_0 ist durch die Anwesenheit des Schwefeldioxyds in den Verbrennungsgasen bedingt und erklärt den für kleine Schwefelsäuremengen im Vergleich zu gleichen Wassermengen größeren Abfall der theoretischen Ausströmgeschwindigkeit.

Die Kurvenblätter 1 bis 4 sind von unten nach oben ab zu lesen. Die Kurvenblätter 1 bis 4 sind in der Reihenfolge der Kurvenblätter 1 bis 4 angeordnet. Die Kurvenblätter 1 bis 4 sind in der Reihenfolge der Kurvenblätter 1 bis 4 angeordnet.

Das Kurvenblatt 1 und 2 kann man entnehmen, das J(3000°, 16 ata) als steigenden Schmelzdruckpunkt sinkt im Gegensatz zu der entsprechenden Enthalpie für Wasserstoff. Der Auf-11, der zugehörigen Ausgangsenthalpie J, ist jedoch so groß, das in dem Effekt ein Abwinken der theoretischen Austrittsgeschwindigkeit, sowie der Verbrennungstemperatur T₂ beobachtet wird.

Kurvenblatt 3:

Ausgangsenthalpie J₀, Enthalpie J(3000°, 16 ata) in kcal/kg und Molgewicht M₀ bei der Treibstoffkombination Viscel 1 + 10 Alge Säure als Funktion der zugeetzten Menge Wasser bzw. Stickstofftrioxid in Gew.-% des Sauerstofftragers, q = 54,0 g.

Kurvenblatt 4:

Theoretische Austrittsgeschwindigkeit W₂ in m/sec und Verbrennungstemperatur T₂ (°K) bei der Treibstoffkombination Viscel 1 + 10 Alge Säure in Abhängigkeit von der zugeetzten Menge Wasser und Stickstofftrioxid in Gew.-% des Sauerstofftragers, q = 54,0 g, p₁ = 1011.

Der Punkt von 20 in der Graphik wurde mit einer Q₀ = 1 auf 2090 kcal/m³ erreicht und es in das Diagramm aufgenommen, wenn ein Übergang von q = 52,5 g bis zu q = 54,0 g bedingt diese Änderung von W₂.

Die Kurvenblätter 5 und 6 ablesende Ergebnisse:

1.) Wasserstoff

Ein Wasserstoff zur Mischung bewirkt ebenfalls einen starken Abfall der Austrittsgeschwindigkeit und der Verbrennungstemperatur. Auch J₀ und J₂ zeigen mit steigendem Wasserzusatz eine Verringerung der Werte, während J(3000°, 16 ata) ansteigt und zwar im Gegensatz zu den Treibstoffkombinationen, die von reiner Salpetersäure ausgehen, praktisch linear.

2.) Stickstofftrioxidzusatz

Stickstofftrioxidzusatz zur Mischung bewirkt einen geringen Abfall von J(3000°, 16 ata), während alle anderen in Kurvenblatt 5

Tabelle 4
 Ertragskoeffizienten

NR.	Land- Lohn- Kil- we- Bilg.	Ertrags- koeff.	Ertragskoeffizient Ertrag	Ertragskoeffizient Ertrag	Er- trag Kil- we-	Er- trag Kil- we-
I	2	Gamb	Salpeterminerale	Wander	1	-0,4 -0,4
II	2	Gamb	Salpeterminerale	Wander	2	-0,4 -0,4
III	2	Gamb	Salpeterminerale	Wander	3	-0,4 -0,4
IV	2	Gamb	Salpeterminerale	Wander	4	-0,4 -0,4
V	2	Gamb	Salpeterminerale	Schmelz- salz	5	-0,4 -0,4
VI	2	Gamb	Salpeterminerale	Schmelz- salz	10	-0,4 -0,4
VII	2	Gamb	Salpeterminerale	Schmelz- salz	15	-0,4 -0,4
VIII	2	Gamb	Salpeterminerale	Schmelz- salz	20	-0,4 -0,4
IX	2	Gamb	Salpeterminerale	Schmelz- salz	30	-0,4 -0,4
X	2	Gamb	50 Gew. % HNO ₃ 50 Gew. % H ₂ O	Wander	1	-0,4 -0,4
XI	2	Gamb	50 Gew. % HNO ₃ 50 Gew. % H ₂ O	Wander	2	-0,4 -0,4
XII	2	Gamb	50 Gew. % HNO ₃ 50 Gew. % H ₂ O	Wander	3	-0,4 -0,4
XIII	2	Gamb	50 Gew. % HNO ₃ 50 Gew. % H ₂ O	Schmelz- salz	1	-0,4 -0,4
XIV	2	Gamb	50 Gew. % HNO ₃ 50 Gew. % H ₂ O	Schmelz- salz	2	-0,4 -0,4
XV	2	Gamb	50 Gew. % HNO ₃ 50 Gew. % H ₂ O	Schmelz- salz	10	-0,4 -0,4

Fortsetzung Tabelle 4

Nr.	abzu- lesen aus Kur- ven- blatt	Brenn- stoff	Bezugssauerstoff- träger	Zusatzstoff	Zu- satz Gew. %	Von W _{th}	Von T _i
XVI	6	Viscol 1	Mischsäure 10 g/g	Wasser	1	-0,5	-0,8
XVII	6	Viscol 1	Mischsäure 10 g/g	Wasser	5	-2,2	-4,6
XVIII	6	Viscol 1	Mischsäure 10 g/g	Wasser	10	-4,6	-9,4
XIX	6	Viscol 1	Mischsäure 10 g/g	Stickstoff- tetroxyd	1	+0,1	+0,1
XX	6	Viscol 1	Mischsäure 10 g/g	Stickstoff- tetroxyd	20	+2,0	+3,2
XXI	6	Viscol 1	Mischsäure 10 g/g	Stickstoff- tetroxyd	40	+3,9	+6,2

Die Tabelle 4 zeigt den prozentualen Abfall oder die prozentuale Zunahme der Ausströmgeschwindigkeit W_{th} und der Verbrennungstemperatur T_i bei dem betreffenden Zusatz zum Sauerstoffträger. In den Kurvenblättern 7, 8 und 9 ist die prozentuale Änderung der theoretischen Ausströmgeschwindigkeit und der Verbrennungstemperatur als Funktion der Anzahl Gew.-% zugesetzten Wassers, zugesetzter Schwefelsäure bzw. zugesetzter Stickstofftetroxyds aufgetragen, wobei die Gew.-% auf den Sauerstoffträger bezogen sind.

Kurvenblatt 7:

Prozentuale Änderung der theoretischen Ausströmgeschwindigkeit W_{th} und der Verbrennungstemperatur T_i beim System Gasöl + Salpetersäure in Abhängigkeit von der Anzahl Gew.-% zugesetzten Wassers, Stickstofftetroxyds bzw. zugesetzter Schwefelsäure. ($q = 53,7\%$, $p_1 : p_a = 16:1$).

Kurvenblatt 8:

Prozentualer Abfall der theoretischen Ausströmgeschwindigkeit W_{th} und der Verbrennungstemperatur T_i beim System Gasöl + (50 Gew.-% Salpetersäure + 50 Gew.-% Stickstofftetroxyd) als Funktion der Anzahl Gew.-% zugesetzten Wassers, bzw. zugesetzter Schwefelsäure ($q = 55,6\%$, $p_1 : p_a = 16:1$).

Kurvenblatt 9:

Prozentuale Änderung der theoretischen Ausströmgeschwindigkeit w_{th} und der Verbrennungstemperatur T_1 beim System Visol 1 + 10 %ige Mischsäure als Funktion der Anzahl Gew. % zugesetzten Wassers, bzw. Stickstofftetroxyds ($q = 54,0 \%$; $p_1 : p_a = 16:1$).

Erörterung der Kurvenblätter 7, 8 und 9:

Auch die in den Kurvenblättern 7, 8 und 9 angewandte Darstellungsart zeigt, daß der Abfall der Ausströmgeschwindigkeit bei kleinen Schwefelsäuremengen verhältnismäßig größer ist als bei gleichgroßen Wasserzusätzen. Erst größere Zusätze von Schwefelsäure lassen die Überlegenheit der Schwefelsäure als ein Sauerstoffträger gegenüber dem Wasser erkennen. Bemerkenswert ist noch die fast lineare Änderung von ΔT_1 bei Wasser- und Schwefelsäurezusätzen, die bei dem System Gasöl + (50 Gew. % Salpetersäure + 50 Gew. % Stickstofftetroxyd) vorgenommen wurden. Fast linear sind ferner noch

$$\Delta w_{th} = f(\text{Wasserzusatz}) \quad \text{beim System Visol 1 + Mischsäure}$$

$$\Delta w_{th} = f(\text{Stickstofftetroxydzusatz}) \quad \text{beim System Visol 1 + Mischsäure}$$

$$\Delta w_{th} = f(\text{Stickstofftetroxydzusatz}) \quad \text{beim System Gasöl + Salpetersäure}$$

$$\Delta T_1 = f(\text{Wasser-, bzw. } N_2O_4\text{-Zusatz}) \quad \text{beim System Visol 1 + Mischsäure.}$$

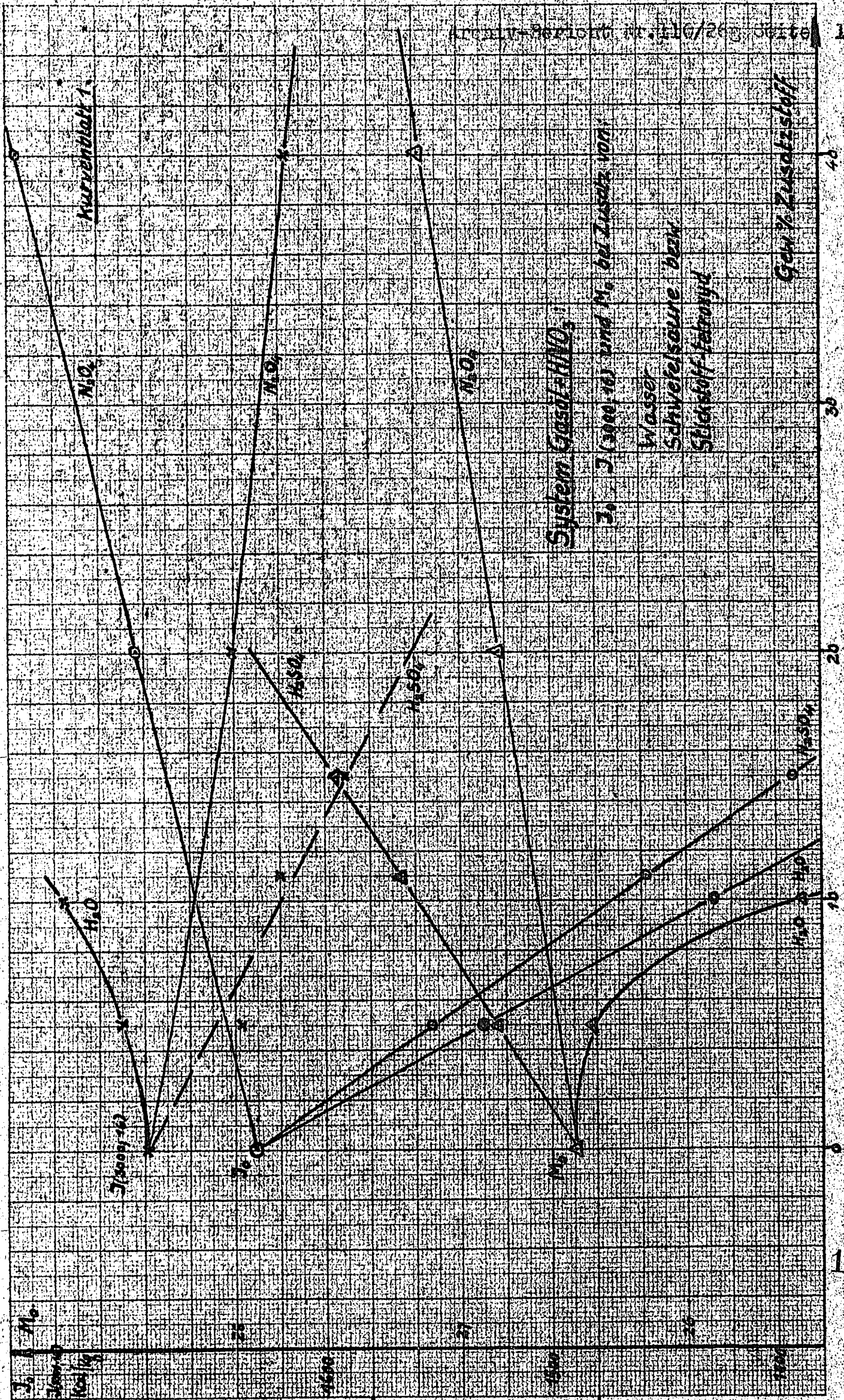
Die Kurvenblätter 7, 8 und 9 eignen sich für Abschätzungen der Änderungen von w_{th} und T_1 bei Wasser-, Schwefelsäure- bzw. Stickstofftetroxydzusätzen.

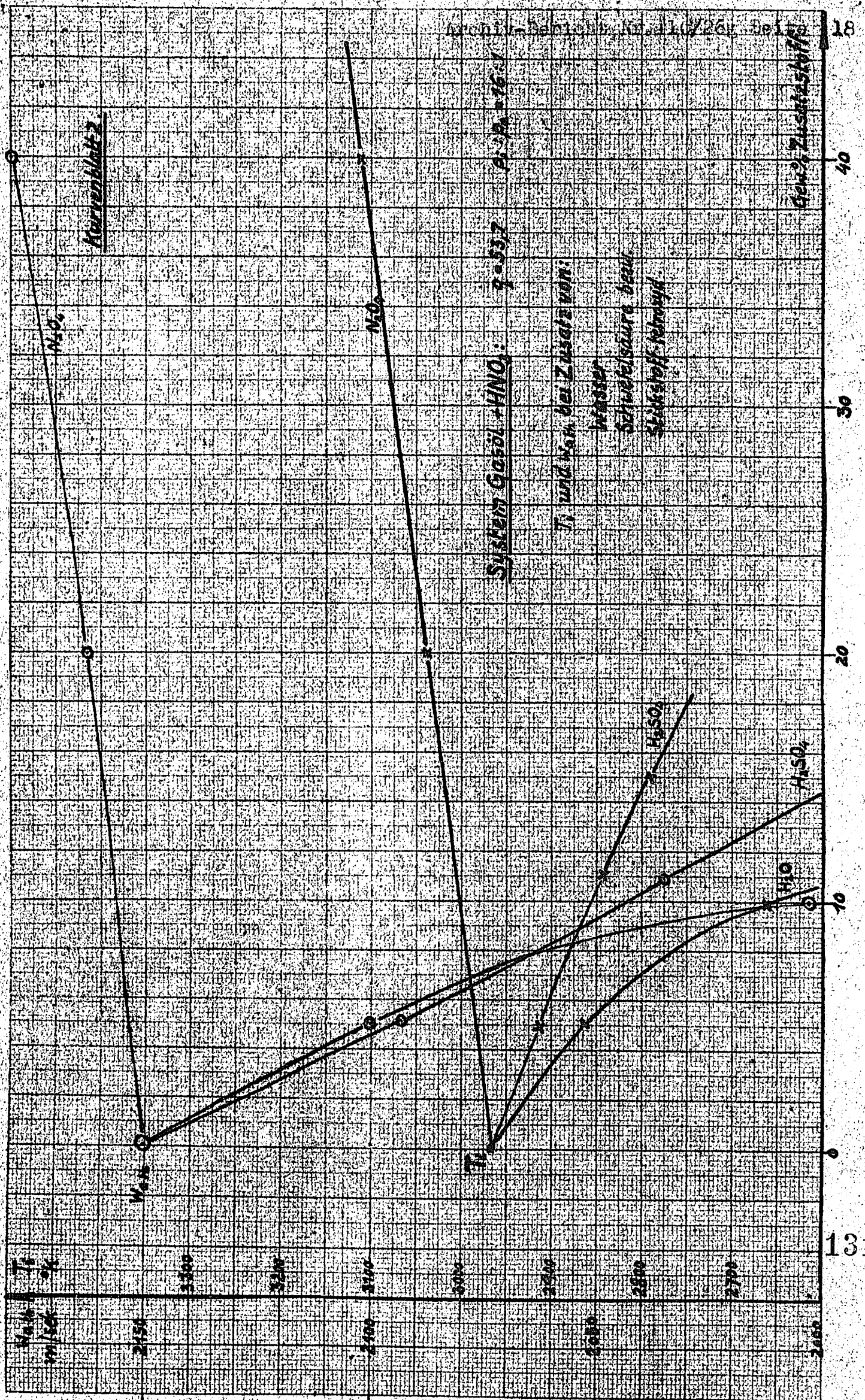
Aus Kurvenblatt 7 entnimmt man z.B. die Tatsache, daß ein Übergang von Salpetersäure zu 10 %iger Mischsäure einen w_{th} -Abfall von mehr als 4 % bewirkt. Durch genügend großen Stickstofftetroxydzusatz kann dieser Leistungsabfall wieder aufgehoben werden. Aus Kurvenblatt 9 ergibt sich, daß ein Zusatz von 23 Gew. % Stickstofftetroxyd genügt, um den halben Leistungsabfall zu kompensieren. Man wird also der Mischsäure 50 Gew. % Stickstofftetroxyd zusetzen müssen, um die theoretische Ausströmgeschwindigkeit des Systems mit reiner Salpetersäure zu erreichen.

Büchner

Jules

1312

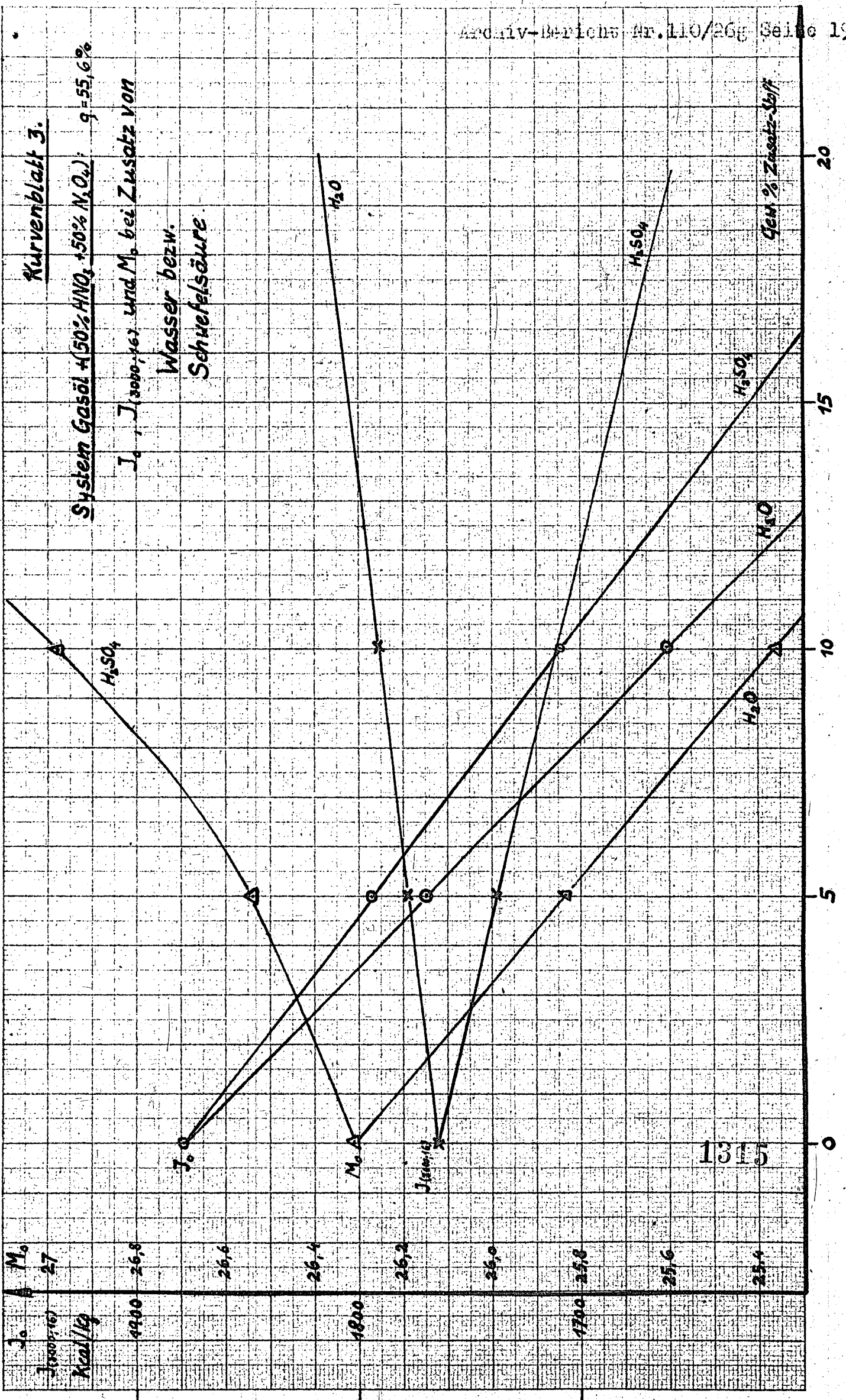




Kurvenblatt 3.

System Gasöl + (50% HNO₃ + 50% N₂O₄) ; q = 55,6%

J₀, J_(3000,16) und M₀ bei Zusatz von Wasser bzw. Schwefelsäure



Kurvenblatt 4.

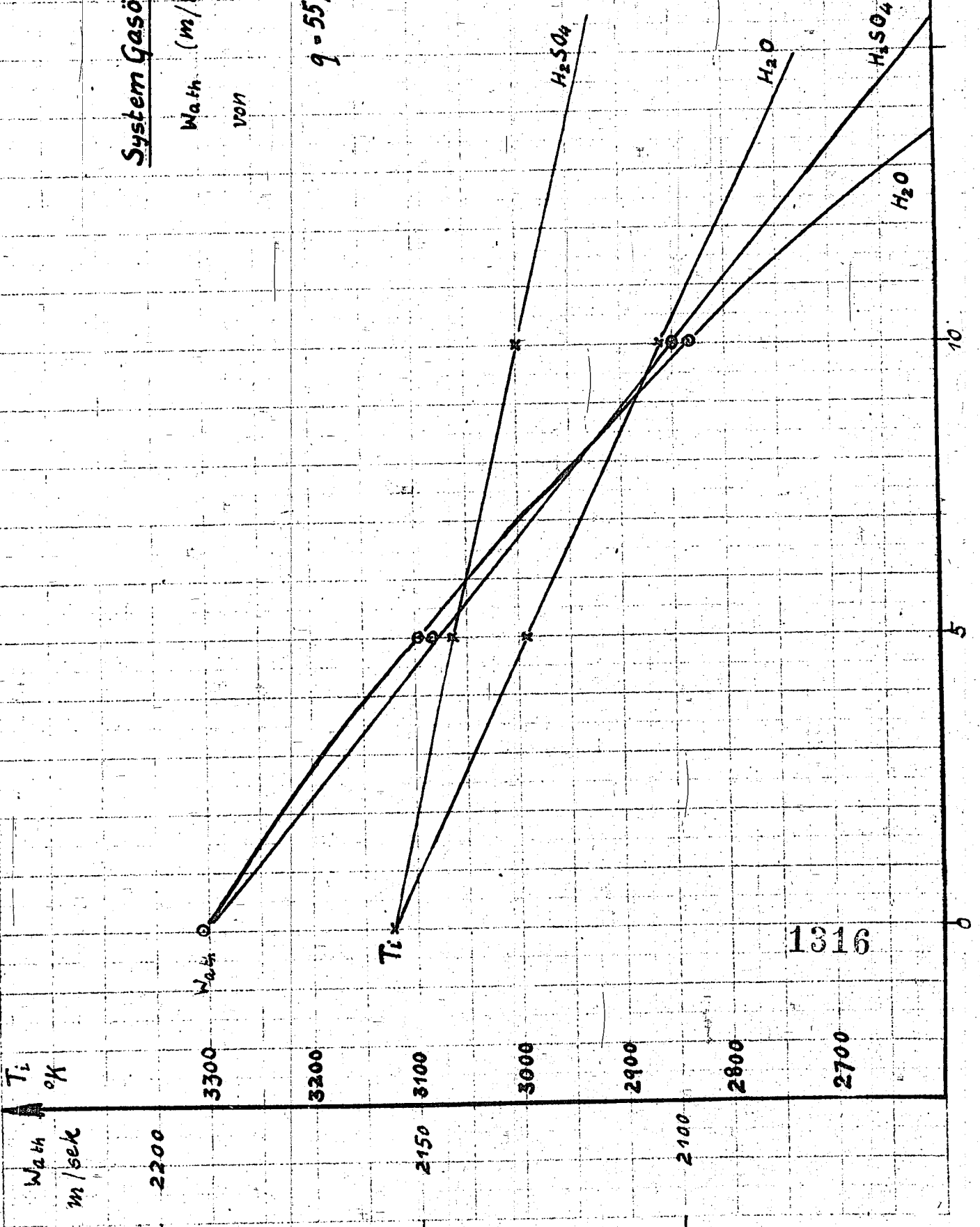
System Gasöl + (50% HNO₃ + 50% N₂O₄):

W_{ath} (m/sek) und T_i (°K) bei Zusatz

von Wasser bezw.

Schwefelsäure.

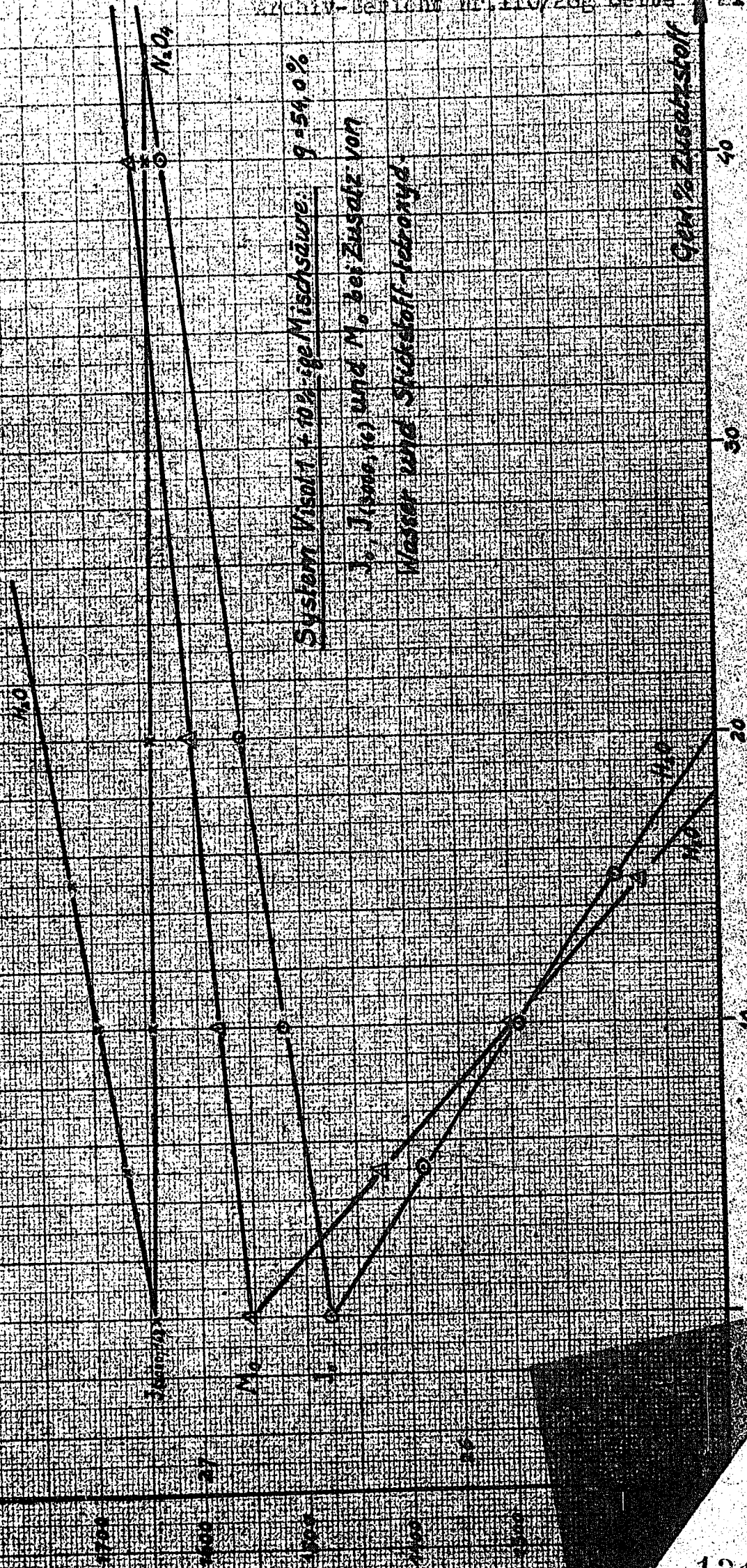
$q = 55,6\%$; $p_i : p_a = 16:1$



Gew. % Zusatzstoff

1316

Kurvenblatt 5.



System Visolt + 10%ige Mischsäure: 9.54,0%
 5% Jssan(e) und M₀ bei Zusatz von
 Wasser und Stickstoff-tetroxyd.

Grad % Zusatzstoff

Flurvenhalt 5

N_2O

N_2O

System Vsd 1 - 10rige Mischkultur

W. u. T. mit Zuzug von Wasser bezw.
Stickstoff-Gehalte 9.54.9% ; Pflanz 116.1

Grün-Substrat

Wass.
m/sek

2500

2000

1500

1000

500

0

2500

2000

1500

1000

318

50

30

20

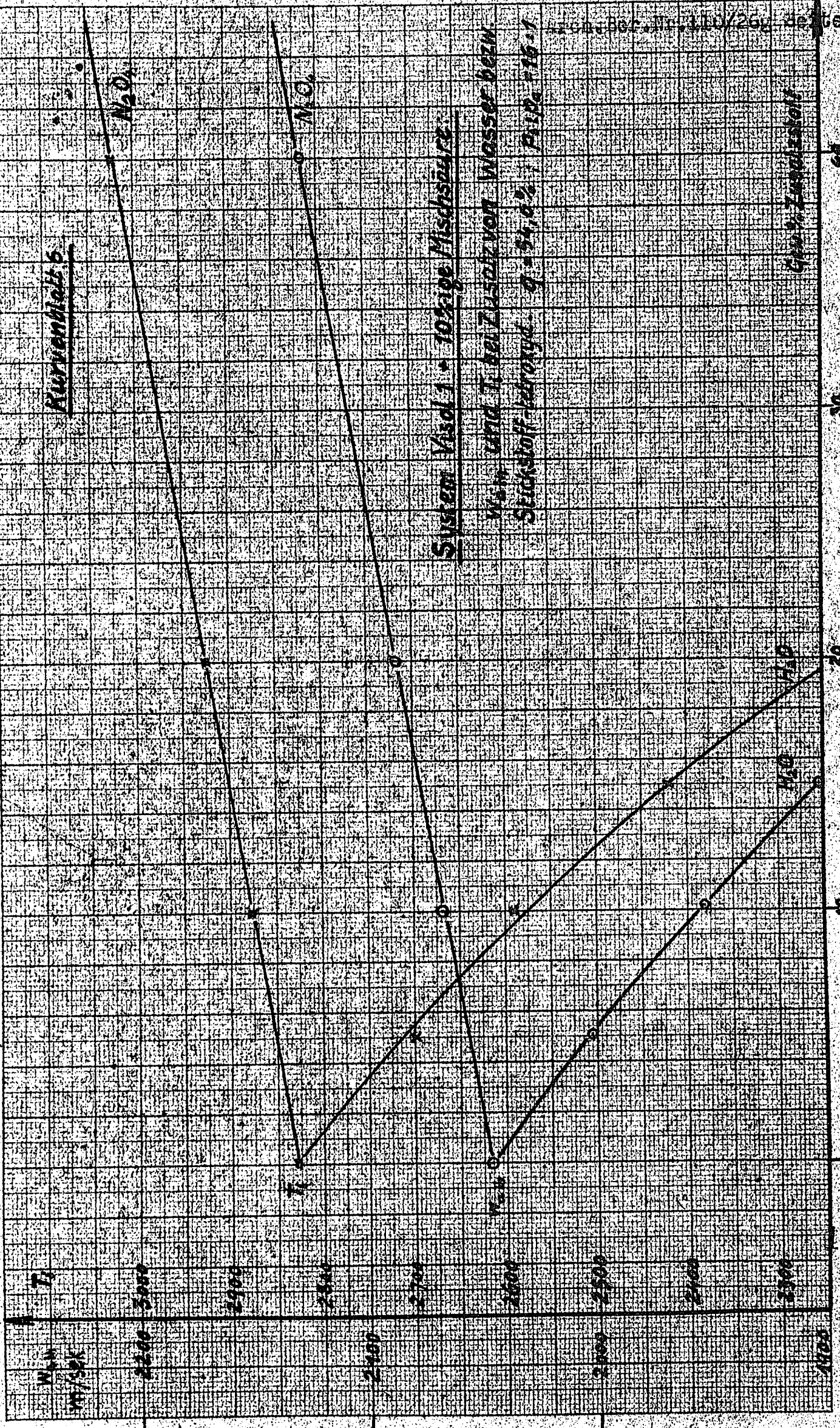
10

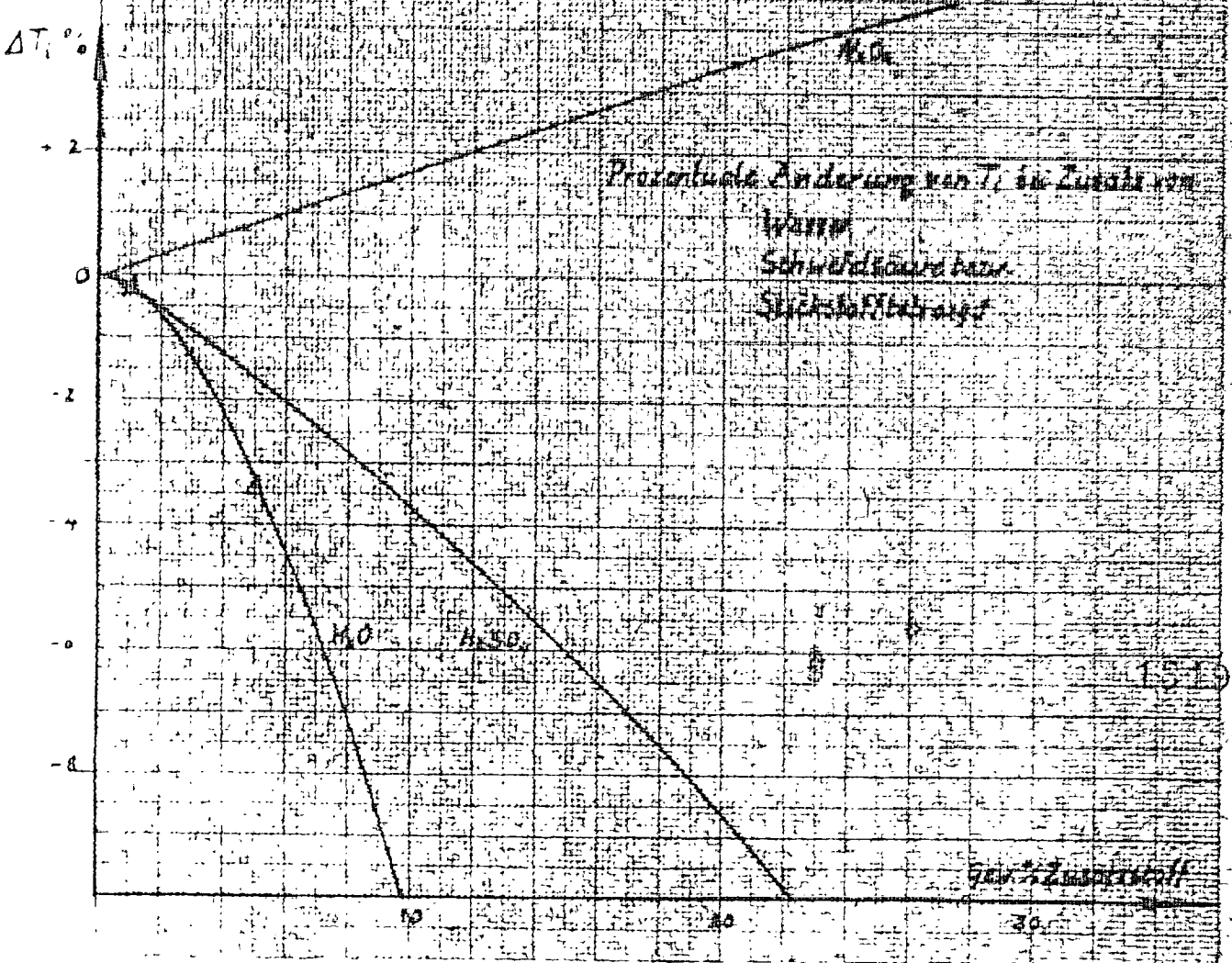
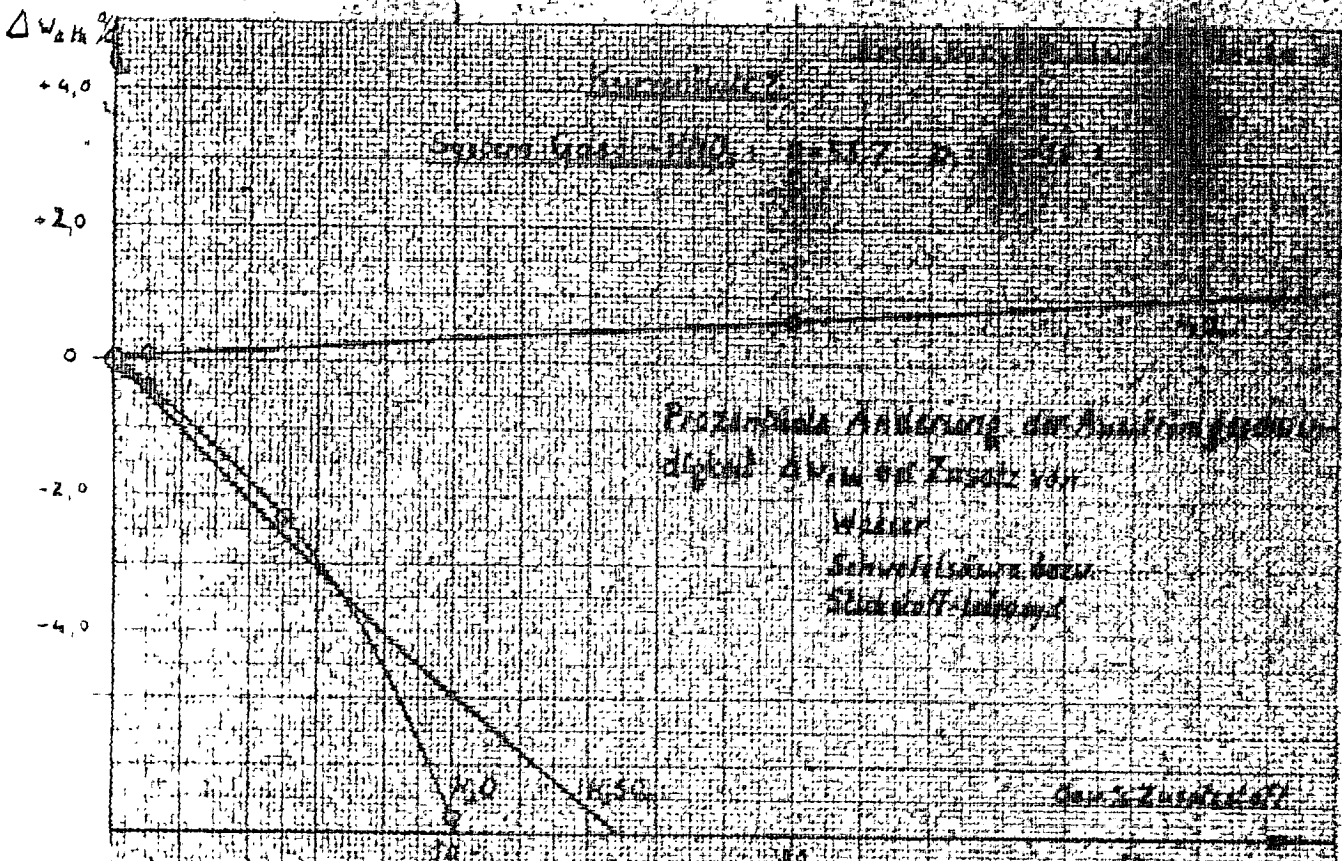
0

10

20

30





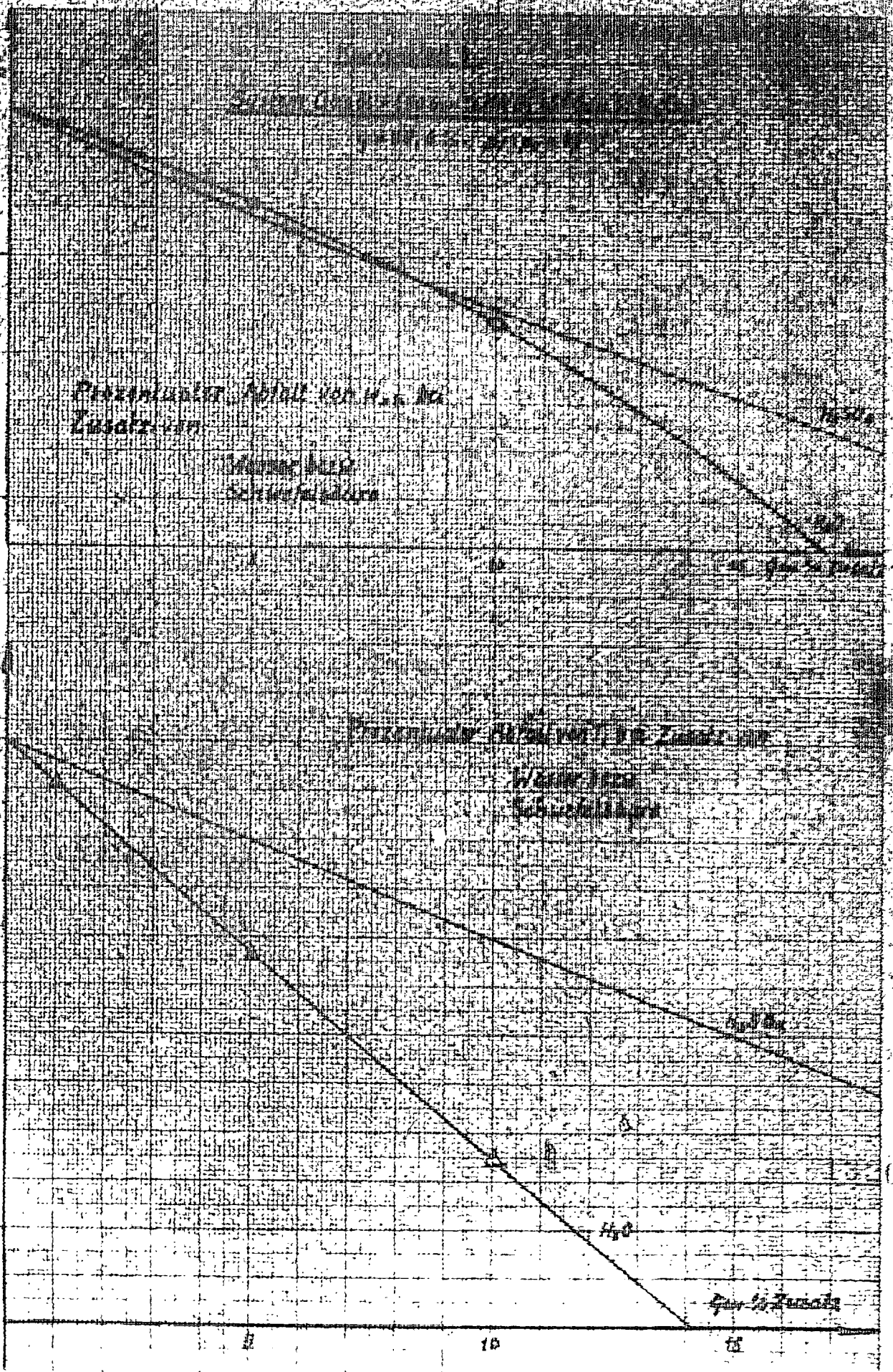
1118

-3

AT
%

-5

-10



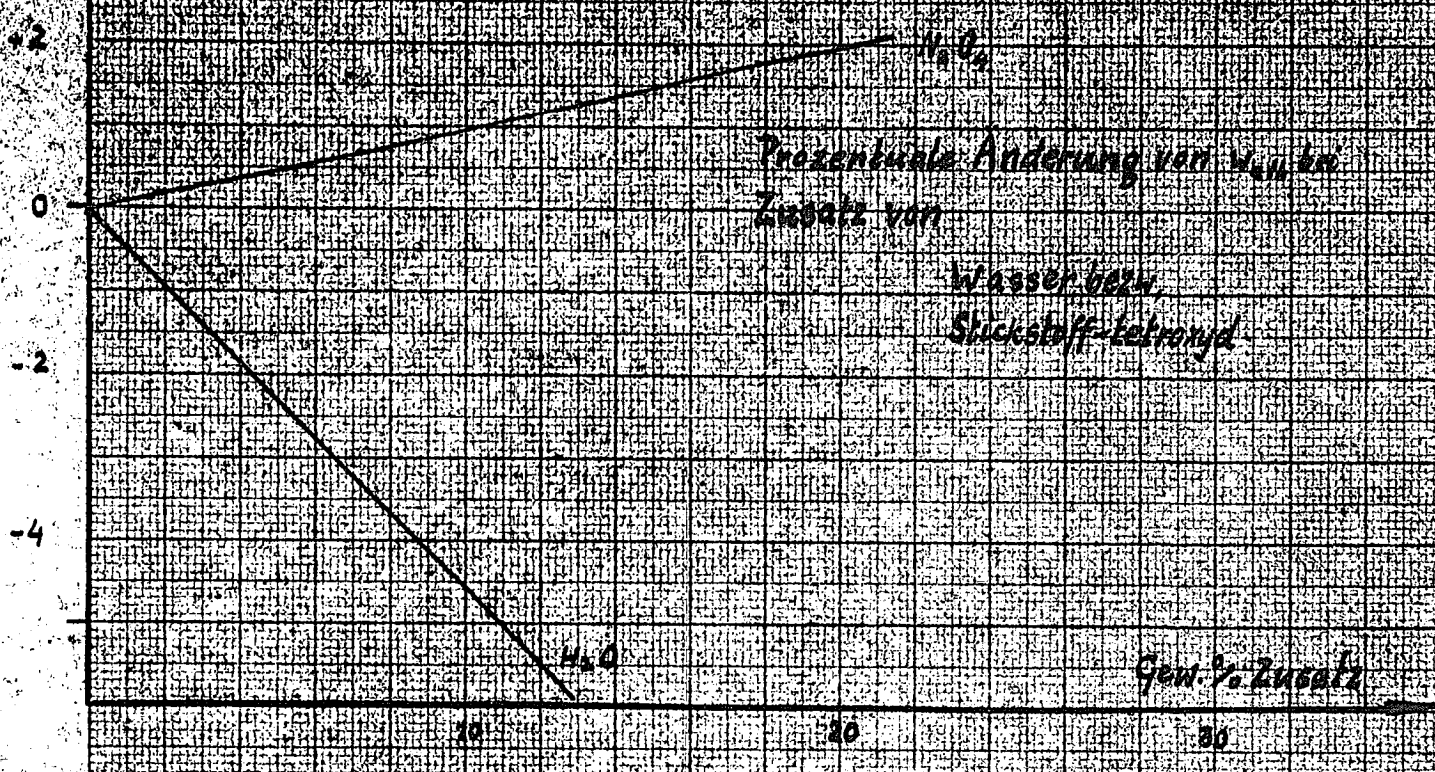
10

15

10

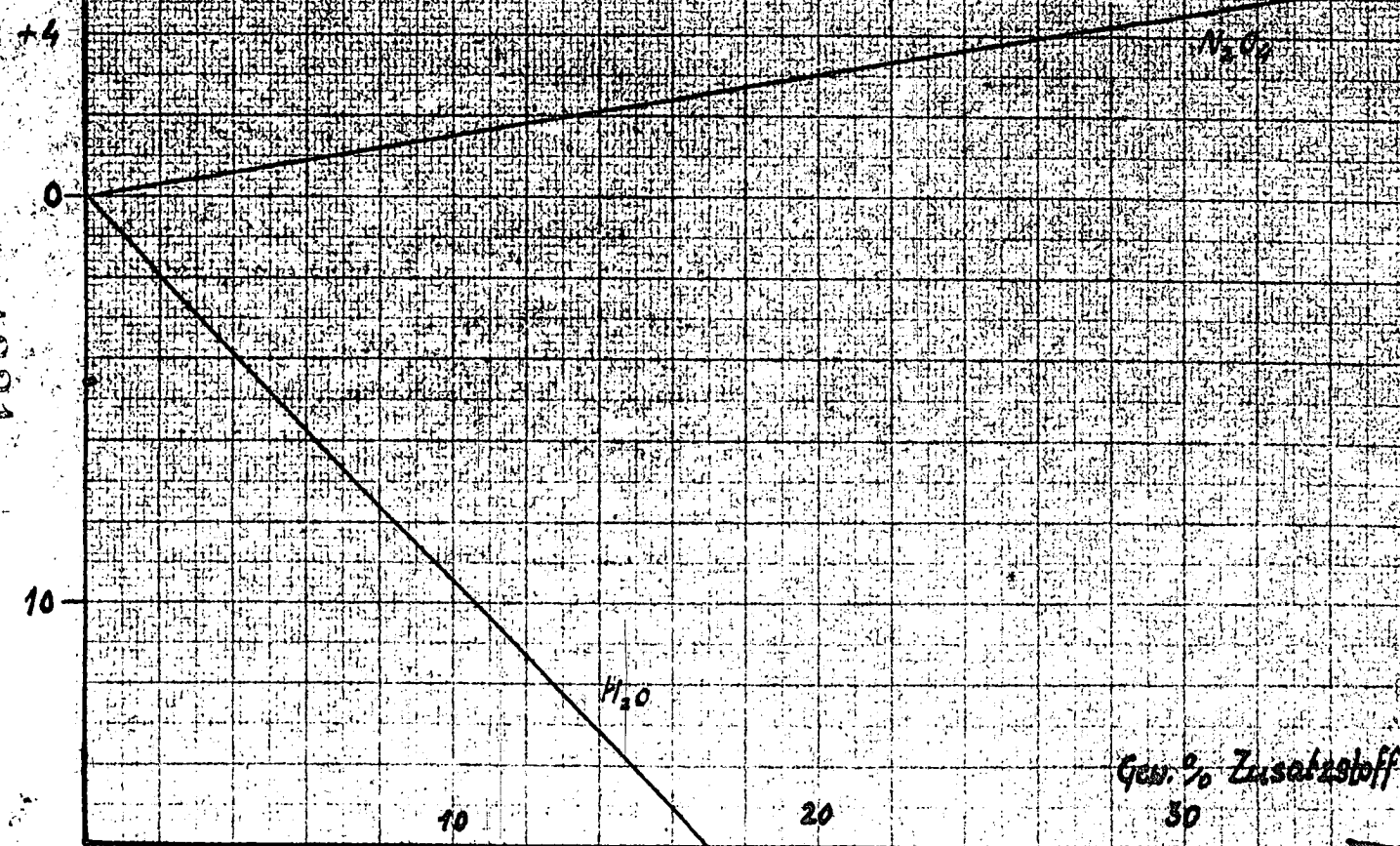
Konzentration

Sulfurtrioxid = 10% Nitrösäure $\rho_{\text{Sulfurtrioxid}} = 1,429 \text{ g/cm}^3$ $\rho_{\text{Nitrösäure}} = 1,41 \text{ g/cm}^3$



Prozentuale Änderung von T bei Zusatz von

Wasser bzw. Stickstoff-tetroxyd



1321