

2169-38  
30/4.03

Betreff: Über die Kühler-Sättiger - Anordnung  
der N - Anlage Op 631

Klasse

Abteilung

Patent:

Nr.

Bericht des Herrn Dr. Sachse

vom 5. Dezember 1942

Gesehen vom Abteilungsvorstand:

380000200

Gesehen von der Direktion:

Zirkuliert in folgenden  
Abteilungen:

Empfänger	Eingang	Weiter	Unterschrift
Herrn Dir. Dr. Müller-Cunradi			
Ammon.-Labor Oppa			
Herren Dir. Dr. Naumann/Dr. Pauckner			
Herrn Dr. Linckh			
Herrn Dr. Beck			
Herren Dr. Braus/Dr. Paetzold			
Herrn Ob. Ing. Lampe			
Herrn Dr. Gloth			
Herrn Dr. Friederici			
Herrn Dipl. Ing. Markert			
Herrn Dipl. Ing. Altstaedt			
Stickstoffbüro			

Aufzubewahren im Archiv des:

Eingegangen beim Archivar:

Laufende Nr. des Archivs:

380000201

STICKSTOFF - ABTEILUNG  
Synthesegas-Versuche Op  
Sa/Op.648

Bericht des Herrn Dr. S a c h s e

über

die Kühler-Sättiger - Anordnung der  
N - Anlage Op 631 .

Oppau, den 5. Dezbr. 1942.

## Aufgabestellung und Resultate

In Op 631 - N wird kohlenwasserstoffhaltiges Gas (z.Zt. Butylrückgas) mit Sauerstoff zu CO + H<sub>2</sub> umgesetzt und anschließend das CO zu CO<sub>2</sub> konvertiert. Um den bei der CO-Konvertierung erforderlichen Dampfüberschuß wieder zu verwerten geht das Gas hinter dem CO-Ofen in der üblichen Weise durch einen Kreislaufkühler und das hier gewonnene warme Wasser wird verwendet um die Eingangsgase im Sättiger mit Wasserdampf aufzusättigen. Der Wirkungsgrad dieser Kühlersättigeranordnung ist für den Dampfverbrauch und damit für die Wirtschaftlichkeit der Anlage von grosser Bedeutung. Für eine genaue Erfassung des Wirkungsgrades war die N-Anlage sehr geeignet, da zu einem Kühlersättiger-System auch nur ein CO-Ofen gehörte, sodaß der Dampfgehalt der Gase an allen Stellen exakt erfaßt und zugeordnet werden konnte. Wir haben daher genauere Messungen bei verschiedenen Kreislaufwassermengen vorgenommen, deren Resultat im folgenden kurz vorweggenommen sei.

- 1) Bei 100 x 100 Raschigringen ist der Wärmeübergang zwischen 40 und 90 m<sup>3</sup> Wasser/qm unabhängig von der Regenhöhe und beträgt 50 000 bis 60 000 WE/m<sup>3</sup> Raschigringe.
- 2) Bei 50 x 50 Ringen und Regenhöhen von 15 - 30 m steigt der Wärmeübergang von 30 000 auf 90 000 WE/m<sup>3</sup> Ringe mit der Regenhöhe an.
- 3) Entsprechend den Betriebsbedingungen entsprechen 75 cm bis 1,5 m Höhe Raschigringe einem theoretischen Boden.
- 4) Die besten Betriebsbedingungen ergeben sich bei schlanken Türmen, großen Ringen und einer Kreislaufwassermenge, die in der Nähe der max. Wassermenge liegt. Bei diesen Bedingungen liegt die Temperatur auf die das Eingangsgas vorgewärmt wird, nur etwa stark 1° unter dem Ausgleichswert, mit dem die heißen Gase auf den Kreislaufkühler gehen.

Betriebsbedingungen der N - Anlage.

Bild 1 bringt eine Übersicht über die Anordnung der N-Anlage.

Das zu verarbeitende Gas ist zur Zeit ein Entspannungsgas der Butylfabrik, das nach Durchlaufen des Sättigers und des Wärmetauschers im  $\text{CH}_4$ -Konverter mit Luft umgesetzt wird. Die Luft wird in einer am Ofen tangential angebrachten Brennkammer eingebrannt und das Gas streicht anschließend über einen nickelhaltigen Kontakt an dem die Kohlenwasserstoffe bis auf einen Rest von 0,2 bis 0,3 % Methan zu  $\text{CO} + \text{H}_2$  umgesetzt werden. Mit der Luft wird gleichzeitig der für die Ammoniaksynthese erforderliche Stickstoff in dem Gas eingebracht. Nach dem Verlassen des Methankonverters wird das heiße Gas zunächst durch Einspritzen von Kondensat abgekühlt. Das ist erforderlich, da anderenfalls das ankommende Gas im Wärmetauscher zu hoch vorgewärmt würde und der Wärmetauscher durch Zerfall der Kohlenwasserstoffe zu kochen würde. Je nach der Natur der zu verarbeitenden Gase wird mit Hilfe der Einspritzkühlung die Vorwärmung mehr oder weniger hoch eingestellt. Gleichzeitig wird bei dieser Gelegenheit eine große Menge des für die  $\text{CO}$ -Konvertierung erforderlichen Dampfes eingebracht. Die Gase gehen anschließend durch die Wärmetauscher und durch ein Schachtfilter zur Entfernung des Rußes. Letzteres ist bei der augenblicklichen Betriebsweise der Anlage überflüssig, da bei dem geringen Gehalt des Butylrückgases an Kohlenwasserstoffen kein Ruß entsteht. Die Anlage ist jedoch ausgelegt um auch Gase mit wesentlich höherem Gehalt an Kohlenwasserstoffen zu verarbeiten. Hinter dem Schachtfilter wird der für die  $\text{CO}$  - Konvertierung noch fehlende Dampf in Form von Niederdruckdampf zugegeben und das Gas geht dann in üblicher Weise durch einen Wärmetauscher, durch den  $\text{CO}$ -Ofen, der als Mantelofen ausgebildet ist und schließlich durch den Kreislauf- und Schlußkühler.

Bild 2 zeigt die Auslegung der Verdunster und Kühler.

Tabelle 1 bringt einen Überblick über die Betriebsbedingungen vom Juni 1942.

T a b e l l e 1 .

Betriebszahlen der Saergasspaltanlage Op 631 - N, Juni 1942.

M e n g e n

Eingangsmengen:	Entspannungsgas	6 164 710 m <sup>3</sup>	15°/735	3042 Hop
		8 290 m <sup>3</sup> /h		
	Niederdruckdampf	544 t		
		= 750 kg/h		
	Flußwasser	272 000 t		
		= 38 t/h		
Produktion:	Synthesegas	10 270 000 m <sup>3</sup>		1757 "
		= 13 800 m <sup>3</sup> /h		

A n a l y s e n

	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
E - Gas	6,7	1,0	21,2	60,3	1,8	3,6	5,4
Synthesegas	17,9	0,0	4,1	57,0	0,0	0,2	20,8

T e m p e r a t u r e n

CH<sub>4</sub> - Konverter:

Eingang 409°C  
Ausgang 764°C

CO - Konverter:

Eingang 402°C  
Ausgang 445°C

Bild 3 zeigt den Gehalt an Wasserdampf an den einzelnen Stellen der Anlage.

Messungen am Kühlerverdunster-System.

Im folgenden wurde der Durchsatz der Anlage und die Kreislaufwassermenge variiert. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Meßergebnisse. Tabelle 2 siehe am Schluß des Berichtes.

Ausgleichswert.

Für die weitere Auswertung der Versuche ist der Begriff des Ausgleichswertes von wesentlicher Bedeutung. Wenn man in ein heißes Gas gerade soviel Wasser einbringt, daß das Gas sich bis zu seinem Taupunkt abkühlt, wobei das eingebrachte Wasser vollständig verdampft, so wandelt man die fühlbare Wärme der sogenannten Überhitzungsspitze in die latente Wärme des verdampften Wassers um. Der Dampfgehalt des Gases erhöht sich um das eingebrachte Wasser und der Wärmeinhalt des Gases um den Wärmeinhalt dieses Wassers. Die Temperatur bei der das Gas gerade ganz aufgesättigt ist, nennt man die Ausgleichstemperatur des Gases. Diese Ausgleichstemperatur stellt sich ein, wenn das heiße Kontaktgas in den Kreislaufkühler eintritt. Und zwar stellt sie sich so schnell ein, daß man mit dem Ausgleichszustand schon unmittelbar am Eingang des heißen Gases in den Kühler rechnen kann.

Definition der Wirkungsgrade.

Die weitere Frage ist nun: Wieviel kann man von dem Dampf, der am Ausgleichspunkt vorhanden ist, auf das ankommende Frischgas übertragen? Diese Menge hängt zunächst vom Wirkungsgrad des Kreislaufkühlers  $w_k$  ab, der durch den Übergangswiderstand der Wärme vom Gas auf das Kreislaufwasser bedingt ist. Ein analoger Widerstand besteht im Verdunster beim Übergang der Wärme vom Wasser auf das Gas. (Wirkungsgrad des Verdunsters  $w_v$ ) Diese beiden Wirkungsgrade hängen ausschließlich von der Auslegung und Belastung des Verdunsters bzw. des Kühlers ab, und erreichen bei günstiger Auslegung Werte, die in der Nähe von 100 liegen. Trotzdem wird in praktischen Fällen in der Regel ein wesentlich kleinerer Anteil der Gesamtdampfmenge, die am Ausgleichspunkt vorhanden ist, wiedergewonnen. Das hat seinen Grund in der Volumvermehrung, die bei der Umsetzung stattfindet.

T a b e l l e 3Definitionsgleichungen für die Wirkungsgrade  
der Kühler - Sättiger - Anordnung.

=====

Sättiger - Wirkungsgrad :

$$w_v = \frac{\text{Dampfmenge im gesättigten Gas beobachtet.}}{\text{Dampfmenge aus der Temp. des Wasserzulaufs ber.}}$$

Kühler - Wirkungsgrad :

$$w_k = \frac{\text{Dampfmenge aus der Temp. im Wasserabfluß ber.}}{\text{Dampfausgleichswert im Kontaktgas}}$$

$$w_e = \frac{\text{Frischgasmenge}}{\text{Endgasmenge.}}$$

$$w_p = \frac{p_{\text{total}} - p_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ im Kühler.}}{p_{\text{total}} - p_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ im Sättiger.}}$$

$$w_v \cdot w_k \cdot w_p = \frac{\text{gr H}_2\text{O/Nm}^3 \text{ Gas hinter Sättiger.}}{\text{gr H}_2\text{O/Nm}^3 \text{ Endgas, Ausgleichswert.}}$$

$$w_v \cdot w_k \cdot w_p \cdot w_e = \frac{t \text{ H}_2\text{O/h vom Frischgas aufgenommen.}}{t \text{ H}_2\text{O/h, Ausgleichswert, vom Endgas in den Kühler eingebracht.}}$$

Die Volumvermehrung tritt ein, einmal infolge des chemischen Umsatzes und zweitens, weil der Druck im Kühler immer geringer ist als im Verdunster. Beide Faktoren bringen einen Beitrag zum Wirkungsgrad, wobei mit  $w_e$  der aus der Gasexpansion resultierende Wirkungsgrad bezeichnet sei und mit  $w_p$  der durch die Druckänderung bedingte. Das Produkt dieser vier Wirkungsgrade ergibt den Gesamtwirkungsgrad  $w_o$ , der angibt wieviel % des am Ausgleichspunkt vorhandenen Dampfes auf Grund der Kühlerverdunsteranordnung vorn in die Apparatur wieder eingebracht werden. Tabelle 3 gibt (s.S.5) die Definitionsgleichungen für die einzelnen Wirkungsgrade und Tabelle 4 gibt einige Zahlenwerte, die aus den Daten der Tabelle 2 berechnet wurden.

T a b e l l e 4 .

Nr.	$w_v$	$w_k$	$w_p$	$w_e$	$w_v \cdot w_k \cdot w_p \cdot w_e$
14	95,3 %	95,7 %	72,1 %	54,9 %	36,5 %
11	93,5 %	95,8 %	64,8 %	61,8 %	35,5 %

Man ersieht aus den Tabellen, daß die Verschlechterung des Wirkungsgrades, die durch die Gasexpansion und die Verminderung des Gasdruckes bedingt ist, vielmehr ins Gewicht fällt, als wie die eigentlichen Wirkungsgrade des Kühlers und Verdunsters. Leider hat man eine Verbesserung des Wirkungsgrades  $w_e$  überhaupt nicht in der Hand. Bei  $w_p$  wird man sich in jedem Falle überlegen müssen was billiger ist, die Gesamtapparatur entsprechend größer auszulegen oder mehr Fremddampf zuzugeben. Ein einfacher Überschlag lehrt auf alle Fälle, daß der durch höheren Druckverlust bedingte Mehrverbrauch an Fremddampf jedenfalls wesentlich mehr kostet als die eigentliche Kompressionsarbeit.

#### Mittlere Temperaturdifferenz.

Die eigentlichen Wirkungsgrade  $w_k$  und  $w_p$  sind wie schon erwähnt durch den Wärmeübergang in den Raschigtürmen bedingt. Die Wärmeübergangszahl gibt man bei Raschigtürmen geeigneterweise in  $WE/h/\Delta T/m^3$  an, da die zum Austausch zur Verfügung stehende Fläche den  $m^3$  Ringer proportional ist. Das für den Wärmeübergang maßgebende  $\Delta T$  (in vor-

liegendem Fall die Temperaturdifferenz zwischen Gas und Wasser) ist an verschiedenen Stellen des Turmes verschieden. In Bild 4 und Bild 5 ist bei 2 Beispielen für den Kühler, sowie für den Verdunster der Wärmeinhalt als Funktion der Temperatur dargestellt. Praktisch geht der Wärmeübergang an den Stellen von großem  $\Delta T$  sehr schnell vonstatten, während das Gegenstück für den Wärmeübergang die Stellen mit kleinem  $\Delta T$  sind. Bei der richtigen Mittelwertbildung muß daher das kleine  $\Delta T$  mehr ins Gewicht fallen, bzw. der Mittelwert muß gegen das arithmetische Mittel nach den Stellen des kleinen  $\Delta T$  verschoben sein. Sind beide Kurvenzüge gerade Linien, so ergibt sich aus dem newtonschen Abkühlungsgesetz die bekannte logarithmische Formel:

$$1) \quad \overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Dieselbe hat jedoch gerade Linien zur Voraussetzung (gestrichelt eingezeichnet). Der Augenschein lehrt, daß das  $\overline{\Delta T}$  im vorliegenden Fall bei der gekrümmten Kurve wesentlich kleiner ist als bei der geraden Linie. Um auch hier zur richtigen Mittelung zu kommen, wurde ~~zunächst die gekrümmte Kurve durch den Linienzug A B C D E ersetzt,~~ was offenbar ohne großen Fehler möglich ist. Für die einzelnen Teile AB, BC, CD, DE wurde das Mittel nach der logarithmischen Formel berechnet. Es besteht nun die Aufgabe zwischen den so erhaltenen 4 Mittelwerten weiter zu mitteln. Für jeden Bereich gilt :

$$2) \quad Q_{AB} = k F_{AB} \cdot \Delta T_{AB}$$

$$3) \quad Q_{BC} = k F_{BC} \cdot \Delta T_{BC}$$

Daraus folgt

$$4) \quad F_{AB} \cdot \Delta T_{AB} = F_{BC} \cdot \Delta T_{BC}$$

Die Flächen  $F_{AB}$ ,  $F_{BC}$  sind verschieden und unbekannt. Die  $k$  - Werte sind die gleichen im ganzen Turm, da der Turm einheitlich mit den gleichen Raschigringen gefüllt ist. Die  $\Delta T$  Werte sind die für jeden Bereich berechneten logarithmischen Mittelwerte. Gesucht ist ein Mittel das der folgenden Gleichung genügt :

$$5) \quad (F_{AB} + F_{BC}) \cdot \overline{\Delta T} = F_{AB} \cdot \Delta T_{AB} + F_{BC} \cdot \Delta T_{BC}$$

Durch Einführung von Gleichung 4 in Gleichung 5 und durch entsprechende Umformung ergibt sich

$$6) \frac{F_{AB} + F_{BC}}{F_{BC}} \cdot \Delta T = \frac{F_{AB}}{F_{BC}} \cdot \Delta T_{AB} + \Delta T_{BC}$$

$$7) \frac{\Delta T_{BC} + \Delta T_{AB}}{\Delta T_{AB}} \cdot \Delta T = \frac{\Delta T_{BC}}{\Delta T_{AB}} \cdot \Delta T_{AB} + \Delta T_{AB}$$

$$8) \frac{\Delta T}{\Delta T_{BC} + \Delta T_{AB}} = \frac{2 \Delta T_{BC} \cdot \Delta T_{AB}}{\Delta T_{BC} + \Delta T_{AB}}$$

In Tabelle 5 ist die Mittelung an einem Zahlenbeispiel nach verschiedenen Formeln durchgeführt.

Tabelle 5.

Bildung von  $\Delta T$  Mittelwerten nach verschiedenen Formeln.

$$\Delta T_1 = 10^\circ, \quad \Delta T_2 = 1^\circ$$

a.) Arithmetisches Mittel.

$$\frac{\Delta T}{2} = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} = \frac{10 + 1}{2} = 5,5^\circ$$

b.) Logarithmisches Mittel.

$$\frac{\Delta T}{2,3 \log \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{2,3 \log 10} = \frac{10 - 1}{2,3 \log 10} = 3,9^\circ$$

3.) Mittelung bei gekrümmten Kurven.

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_1 + \Delta T_2} = \frac{2 \Delta T_2 \cdot \Delta T_1}{10 + 1} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 1}{10 + 1} = 1,82^\circ$$

Man kommt, wie man sieht, zu ganz verschiedenen Ergebnissen. Nur die letzte Formel gibt den überragenden Einfluß des kleinen  $\Delta T$  auf den Gesamtwert in der richtigen Weise bei gekrümmten Kurven wieder.

Nach Formel 8 wird nun je  $\Delta T_{AB}$ ,  $\Delta T_{BC}$  sowie  $\Delta T_{CD}$  und  $\Delta T_{DE}$  gemittelt und aus den so gewonnenen Mittelwerten nach der gleichen Formel das Schlusmittel gebildet.

Nach Formel 9

$$9) \quad Q = k V \cdot \frac{\Delta T}{\dots}$$

berechnet man aus der insgesamt übertragenen Wärmemenge und dem Volumen an Raschigringen in  $m^3$  die gesuchte Wärmeübergangszahl  $k$ . In Tabelle 6 und 7 ist diese Auswertung für die vorliegenden Versuche ausgeführt.)

Aus Tabelle 6, die die Zahlen für den Gasverdunster wiedergibt, sieht man, daß der  $k$  Wert ziemlich konstant ist und keinen Gang mit der Regenhöhe zeigt.

Desgleichen ist  $\frac{\Delta T}{\dots}$  konstant. Mit steigender Wasserbelastung wird das  $\Delta T$  am kalten Ende immer größer, da die Wasserkurven immer flacher werden. Vergl. dazu Bild 4 und Bild 5. Da  $\frac{\Delta T}{\dots}$  erhalten bleibt, muß das  $\Delta T_{\min}$  immer kleiner werden. Aus der Tabelle ersieht man, daß das auch der Fall ist. Die Tabelle 7 bringt die gleichen Zahlen für den Kreislaufkühler. Hier sollte aus dem gleichen Grunde das  $\Delta T_{\min}$  mit steigender Wasserbelastung ansteigen. Aus der Tabelle ersieht man, daß das keineswegs der Fall ist, der Wert ist vielmehr bei allen Wasserbelastungen der gleiche, dagegen nimmt bei steigender Wasserbelastung  $\frac{\Delta T}{\dots}$  deutlich ab. Das bedeutet, daß mit steigender Wasserbelastung der Wärmeübergang sich verbessert, was im übrigen in den  $k$  Werten selber auch deutlich zum Ausdruck kommt. Es bleibt die Frage zu beantworten, warum beim Kühler eine so ausgesprochene Abhängigkeit des Wärmeübergangs von der Regenhöhe vorhanden ist, während dieselbe beim Verdunster garnicht zu erkennen ist. Die Antwort liegt darin, daß der Verdunster insgesamt bei wesentlich größeren Regenhöhen arbeitet. Anscheinend steigt die Wärmeübergangszahl mit der Regenhöhe nur bis zu einem gewissen Grenzwert, bis nämlich alle Ringe benetzt sind und dann bringt eine weitere Steigerung der Regenhöhe keine Verbesserung mehr. Bild 6 bringt für verschiedene Fälle die Wärmeübergangszahl in Abhängigkeit von der Regenhöhe. Es sind hier noch weitere Versuchspunkte eingezeichnet, die am Luftsättiger gewonnen wurden.

Tabelle 6.

Wärmeübergangszahlen beim Gassättiger.

Nr.	$\text{Nm}^3/\text{h}$	$t \text{ H}_2\text{O}/\text{h}$	$\frac{\Delta T}{\Delta T}$	$\Delta T_{\text{min}}$	Zahl der theoretischen Böden	$n_t$	$k$ $\text{WE}/\text{h}/\text{m}^3$	Regenhöhe $\text{m}$
19	8450	46,5	4,28	3,8	3	1,3	53 500	41,2
20	8450	46,5	4,57	4,1	3	1,3	50 000	41,2
10	8650	56	4,15	2,9	3	1,3	56 000	49,3
12	8460	56,5	4,17	3,1	3	1,3	54 000	50,1
7	8370	78,8	3,40	1,9	3	1,3	68 000	69,5
17	8350	78	4,6	1,4	6	1	50 500	69,5
18	8450	78	4,57	1,3	6	1	51 200	69,5
9	8800	94,5	4,37	1,5	5	0,84	58 000	83,6
11	8500	94,5	4,17	1,2	6	1	55 000	83,6
13	6610	77,5	3,51	0,8	8	1,3	59 600	69,5
14	6500	77,5	4,03	0,7	6	1	49 400	69,5
15	6450	95	3,44	0,6	7	1,17	58 400	83,6
16	6510	94	3,04	0,6	7	1,17	66 000	83,6

Tabelle 7.

380000212

Wärmeübergangszahlen beim Gaskühler.

Nr.	$\text{Nm}^3/\text{h}$	$t \text{ H}_2\text{O}/\text{h}$	$\frac{\Delta T}{\text{min}}$	Zahl der theoret. Böden	$n_t$	$\text{WS}/\text{h}/\text{m}^3$	Regen- höhe m	$\Sigma \Delta T \text{ min}$	$\text{WV} \cdot \text{V}_1$	$\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{Nm}^3 \text{ Erdgas}}$
19	14135	60	4,29	4	1	37 000	15,8	4,15	75	4,14
20	14135	60	4,3	4	1	34 000	15,8			
21	14360	72	4,45	4	1	34 000	19,0	3,45	78,7	5
22	14150	72,5	4,71	4	1	32 000	19,0			
7	13650	100	2,58	6	1,5	59 000	23,6	2,3	85	6,95
17	14300	100	2,74	6	1,5	59 500	27,6			
18	14135	100	2,77	7	1,75	61 300	23,6			
9	14500	120	2,50	6	1,5	68 000	31,6	1,9	87,6	6,35
11	13800	120	2,63	6	1,5	67 000	31,6			
13	11880	100	2,43	7	1,75	58 000	23,6	1,45	90,4	6,82
14	11830	100	2,62	6	1,5	54 900	23,6			
15	11430	120	1,63	8	2	89 800	31,6	1,15	92,3	10,55
16	11350	120	1,63	8	2	89 800	31,6			

Berechnung der theoretischen Bodenzahl.

In den Tab. 6 und 7 ist ferner noch die Zahl der theoretischen Böden angegeben, daneben die Anzahl  $n_t$ , die aussagt, wieviel theoretische Böden die gleiche Austauschwirkung haben, wie eine Schicht von 1 m Raschigringen. Die Zahl der Böden wurde in der üblichen Weise graphisch ermittelt, wie es in Bild 5 dargestellt ist. In Tabelle 7 nimmt die Zahl  $n_t$  mit steigender Wasserbelastung zu, in Tabelle 6 zeigt sie, von einigen Schwankungen abgesehen, keinen Gang. Beides ist nur eine andere Darstellung für die Abhängigkeit der Wärmeübergangswerte  $k$  von der Regenhöhe.

In Bild 7 und Tabelle 8 sind die  $n_t$  Werte in Abhängigkeit von der Ringgröße dargestellt. Als charakteristischer Maßstab für die Ringgröße wurde dabei nicht der Durchmesser, sondern die Oberfläche angegeben, die 1 m<sup>3</sup> Rings hat. Man sieht, daß sich die neuen Werte überraschend gut den Messungen von Kirschbaum anpassen. Daß die Kurve Bild 7 von der geraden Linie abweicht bedeutet, daß bei kleineren Raschigringen die Oberfläche nicht mehr im gleichen Ausmaß zur Geltung kommt, wie bei großen. Bei dieser Zusammenstellung ist noch zu bedenken, daß in unserem Fall lediglich ein Wärmeaustausch vorliegt und kein Stoffaustausch und es ist durchaus denkbar, daß bei Stoffaustausch die Wirkungsgrade der Säulen schlechter werden.

Tabelle 8.

Ringgröße	8 x 8 mm +)	25 x 25 mm +)	35 x 35 mm +)	50 x 50 mm	100x100 mm
$\frac{m^2}{m^3 \text{ Ringe}}$	600	198	137	99	48,5
$k$ in WE/m <sup>3</sup> /h	-	-	-	90 000	55 000
$k$ in WE/m <sup>3</sup> /h	-	-	-	910	1 130
$n_t$	8	4	3	2	1
$n_t/100 \text{ m}^2$	1,31	2,01	2,19	2,02	2,06

+ ) Messungen von Kirschbaum.

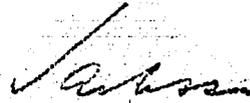
Optimale Kreislaufwassermenge.

Die 3 letzten Spalten der Tabelle 7 geben an, wie das Produkt der Wirkungsgrade  $w_v$ ,  $w_k$  von der Kreislaufwassermenge abhängt. Die Frage der optimalen Kreislaufwassermenge taucht bei der Auslegung von Kühlerverdunsternsystemen immer wieder auf. Aus Tabelle 7 sieht man, daß der Wirkungsgrad umso besser ist, je größer die Kreislaufwassermenge ist. Aus äußeren Gründen konnten wir unsere Kreislaufwassermenge nicht so stark erhöhen, daß der Wirkungsgrad wieder abfällt; jedenfalls aber ist der beste Wirkungsgrad beim letzten Wert der Tabelle 7 erreicht, denn die Wasseraufheizkurve ist hier schon nahezu parallel der Gasabkühlungskurve, wie man auch daran sieht, daß kaum ein Unterschied zwischen  $\Delta T$  ( $1,63^\circ$ ) und  $\Delta T_{\min}$  ( $1,15^\circ$ ) besteht. Bei Auslegung der Kreislaufwasserpumpen rechnet man daher zweckmäßig mit der maximalen Wassermenge. Man verfährt dabei so, daß man zunächst ausrechnet, um wieviel sich das Kontaktgas von seinem Ausgleichswert abkühlt, wenn es diejenige Wärmemenge abgibt, die zur Aufwärmung und Aufsättigung des Eingangsgases auf diesen Temperaturpunkt nötig ist. (Daß das Eingangsgas in Wirklichkeit nur etwa  $1^\circ$  weniger aufgewärmt wird, kann dabei vernachlässigt werden). Die Wassermenge bestimmt man nun derart, daß sich das Wasser im Kreislaufkühler um die gleiche Temperaturdifferenz erwärmt, um die sich das Kontaktgas abkühlt.

1) Auslegung der Turmhöhe.

Was die Höhe der Türme anbelangt, so erzielt man bei den angewendeten 6 m Schütthöhe einen Wirkungsgrad von etwa 90 %. Um auf 99 % zu kommen, müßte man die Höhe verdoppeln. Man würde dabei im vorliegenden Fall 25 gr Dampf/Nm<sup>3</sup> Eingangsgas mehr gewinnen, das sind etwa  $0,025 \cdot 11400 = 285$  kg/h = 6,8 tato = 2450 jato Dampf. Das entspricht 8600 RM/Jahr bei 3,50 RM/t Dampf. Eine Verdoppelung der Turmhöhe würde im vorliegenden Fall bei der N-Anlage 20 000 bis 30 000 RM kosten und wäre, wie die Rechnung zeigt, in 3 bis 4 Jahren amortisiert. Man ersieht daraus, daß sich ein erhöhter Aufwand für das Kühler-Sättiger-System durchaus lohnt.

An den hier wiedergegebenen Messungen und Rechnungen waren die Herren Dr. Exner und Dr. Hennesthal wesentlich beteiligt, wofür ich auch an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte. -

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'J. Exner', is centered below the main text block.

Anlagen.

Tabelle 2.

## Messungen am Kühler - Verdunstersystem.

Gas - Sättiger Pos. 11.

Luft (.02) - Sättiger

Vers.Nr.	Luft m <sup>3</sup> /h	Kreislauf- wasser t/h	Δ p in Hg 1. Schicht	Δ p in Hg 2. Schicht	Temp. Gas- Ausgang	Temp. Gas- Zugang	Temp. Wasser- Ausgang	Temp. Wasser- Zugang	Gas, H <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> abgeb.	Gas, H <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup> aus 11 - 2 ber.	Luft m <sup>3</sup> /h	Kreislauf- wasser t/h	Δ p in Hg 1. Schicht	Δ p in Hg 2. Schicht	Temp. Luft- Ausgang	Temp. Wasser- Zugang
7	9120	78,8	21	30	74,90	21,90	76,80	56,50	266	292	3410	21,3	7	14	75,30	76,40
9	9570	94,5	34	54	75,60	21,40	77,10	60,30	268	282	3800	25,5	8	18	760	77,20
10	9450	56	12	19	74,00	17,80	76,90	50,50	244	258	3660	16	-	-	73,90	77,20
11	9260	94,5	36	55	75,80	24,90	76,90	60,20	271	284	2930	25,5	7	17	75,70	77,00
12	9210	66,5	14	21	73,70	22,00	76,80	50,50	247	259	3850	16	8	14	73,70	76,90
13	7200	77,5	15	23	75,00	24,00	76,60	59,90	-	315	3200	22,5	6	11	75,60	76,50
14	7090	77,5	15	23	75,80	24,10	76,60	59,10	-	317	3220	22,5	5	10	75,80	76,60
15	7020	95	21	30	76,20	25,20	76,90	63,20	-	318	3140	25,0	7	11	76,30	77,00
16	7100	94	20	32	76,50	27,40	77,10	63,10	-	323	3160	24,5	6	11	76,40	77,10
17	9100	78,0	57	57	75,30	22,00	76,70	59,10	-	272	3980	22	26	26	75,40	76,70
18	9200	78,0	56	56	75,30	20,50	76,80	59,20	-	275	4020	22	26	26	75,50	76,80
19	9200	46,5	55	55	73,00	28,50	76,80	49,70	-	247	4000	13,5	14	14	72,80	76,80
20	9200	46,5	34	34	72,80	29,00	76,70	48,80	-	243	4020	13,5	16	16	73,00	76,70

Pos. 12.

Kreislaufkühler Pos. 21.

Temp. Luft- zugang	Temp. Wasser- ausgang	$\rho$ H <sub>2</sub> O/M <sup>3</sup> Luft	$\rho$ H <sub>2</sub> O/M <sup>3</sup> Luft, aus 12-2. ber.	Kontaktgas m <sup>3</sup> /h	Kreislauf- wasser t/h	$\Delta p$ mm Hg 1. Schicht	$\Delta p$ mm Hg 2. Schicht	Temp. Gas- zugang	$\rho$ H <sub>2</sub> O/M <sup>3</sup> flg. beeb.	Ausleitungs- temperatur	$\rho$ H <sub>2</sub> O/M <sup>3</sup> Ausgl. Wert	Temp. Wasser- abgang	Temp. Gas- abgang	Temp. Wasser- zugang	$\rho$ H <sub>2</sub> O/M <sup>3</sup>	Ausgl. Wert
69,40	55,70	281	295	14860	100,1	14	12	2610	301	76,70	466	76,50	630	56,30	-	462
77,00	56,30	284	295	15600	120	21	16	2650	317	77,80	491	77,30	630	59,30	-	476
74,50	49,20	251	262	15670	72	17	11	2670	313	77,52	486	77,30	65,50	50,30	-	479
81,0	55,90	266	279	15050	120	21	16	2670	317	77,70	489	77,10	64,00	59,10	-	471
780	48,40	251	263	15420	72,5	12	8	2630	317	77,70	484	77,00	65,50	49,70	-	473
67,20	54,60	-	317	13950	100	12	8	2630	314	77,50	479	76,70	62,70	58,10	-	-
69,10	55,10	-	324	12920	100	12	7	2630	318	77,50	483	76,70	62,60	59,00	-	-
66,20	56,80	-	320	12480	120	14	9	2660	326	77,70	493	77,10	63,10	61,00	-	-
69,90	55,60	-	325	12450	118,5	13	10	2660	326	77,70	495	77,20	63,10	61,00	-	478
81,30	55,00	-	279	15600	100	37		2650	307	77,20	469	76,80	63,50	56,90	-	468
900	55,20	-	280	15780	100	36		2660	308	77,40	476	76,90	63,40	57,20	-	462
83,00	48,00	-	246	15550	60	26		2640	312	77,10	478	76,90	67,00	48,30	-	466
83,20	48,00	-	246	15600	60	27		2650	310	77,00	472	76,80	67,00	48,50	-	464

Bild 1 Fließschema der Saargasspaltanlage Op 631-N

11	Gassättiger
12	Luftsättiger
13	Gaswärmetauscher
14	Luftwärmetauscher
15	Methankonverter
18	Schachtfilter
19	CO-Wärmetauscher
20	CO-Konverter
21	Kreislaufkühler
24	Schlußkühler
22a	Pumpen f. Kreislaufkühler
22c	"

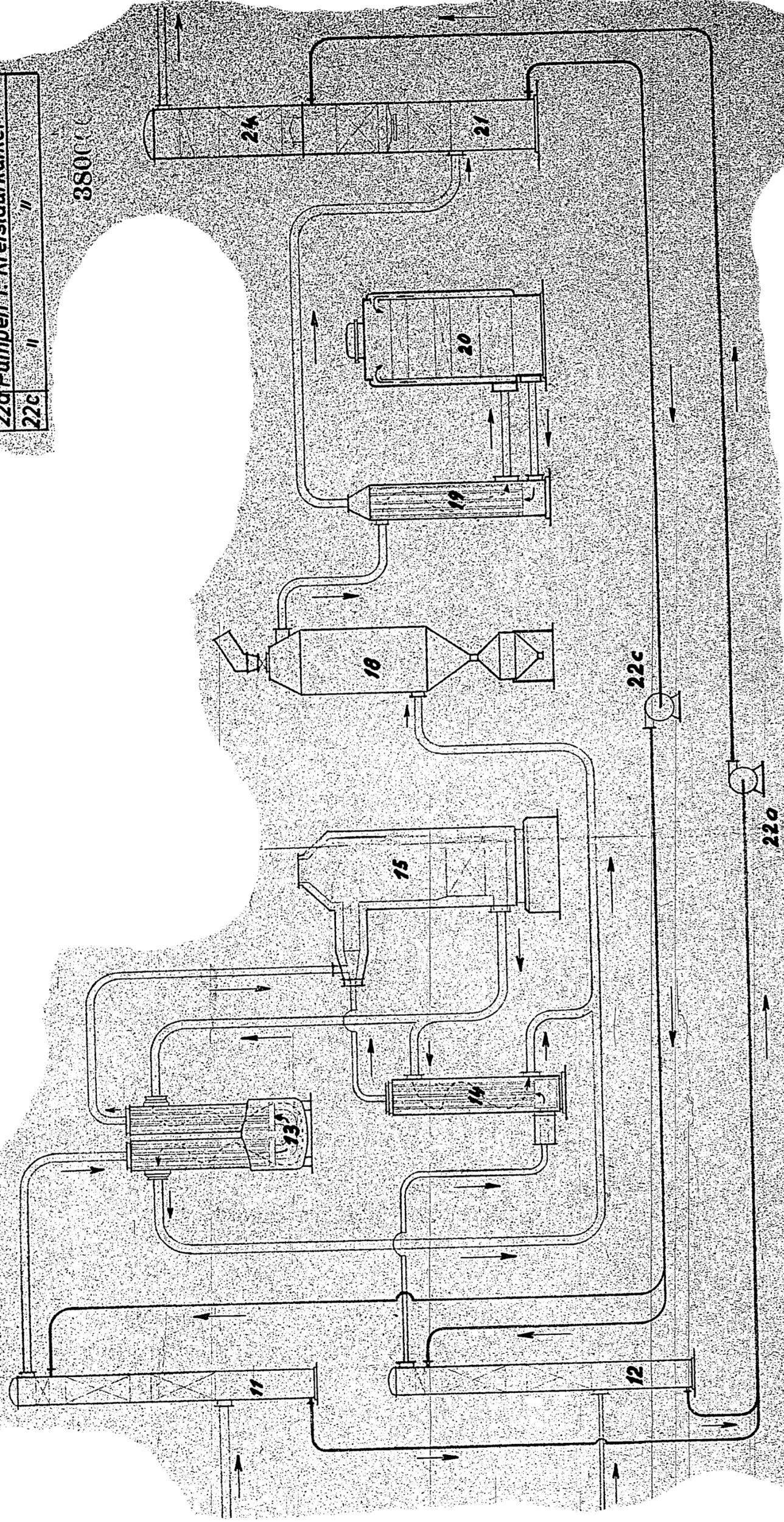
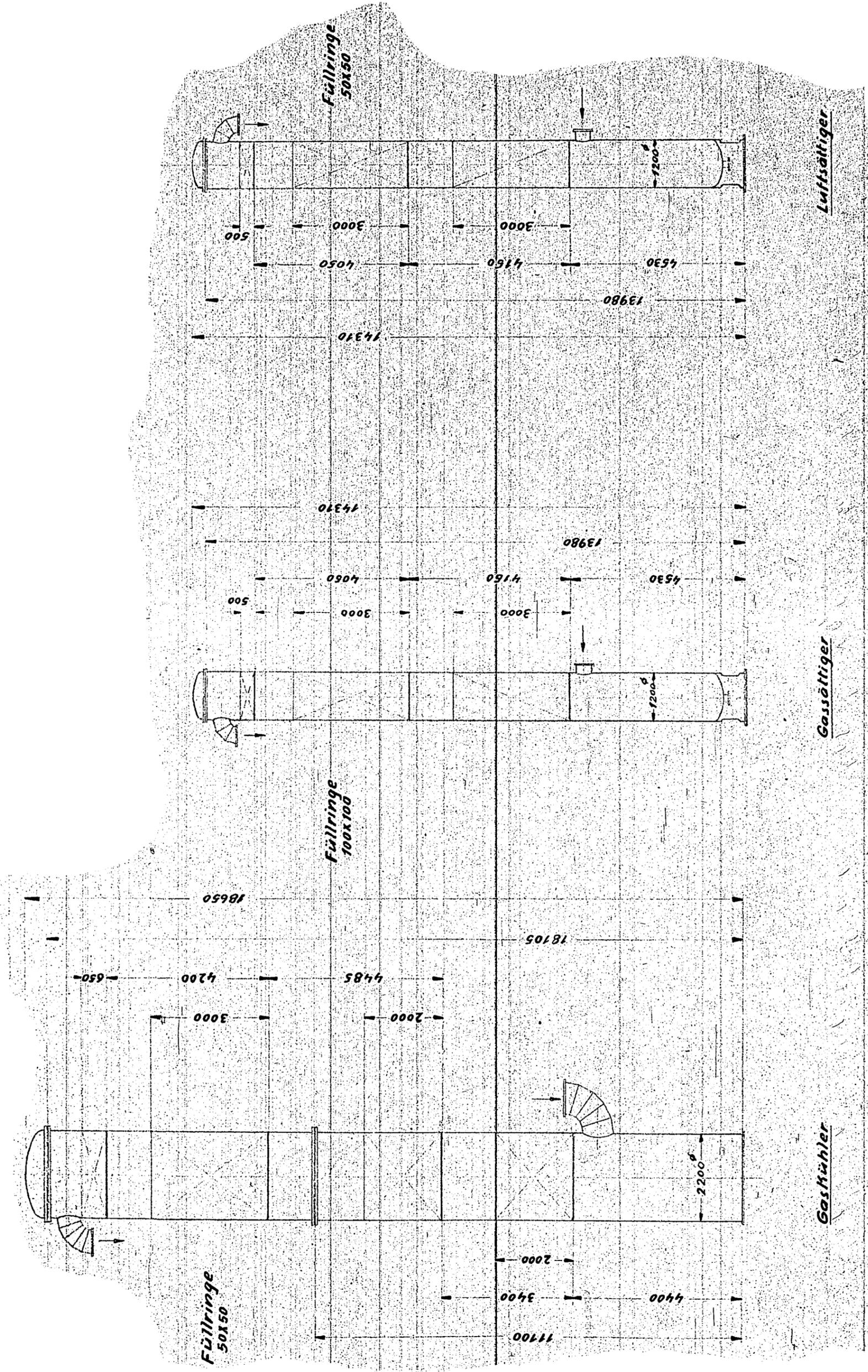


Bild 1

380000218



Maßstab 1:100

Kühler, Gas- u. Luftsättiger  
Umschreiberecht nach DIN 30

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft  
Ludwigshafen am Rhein  
Tag 13.10.52  
Name Zöfel

Bild 2

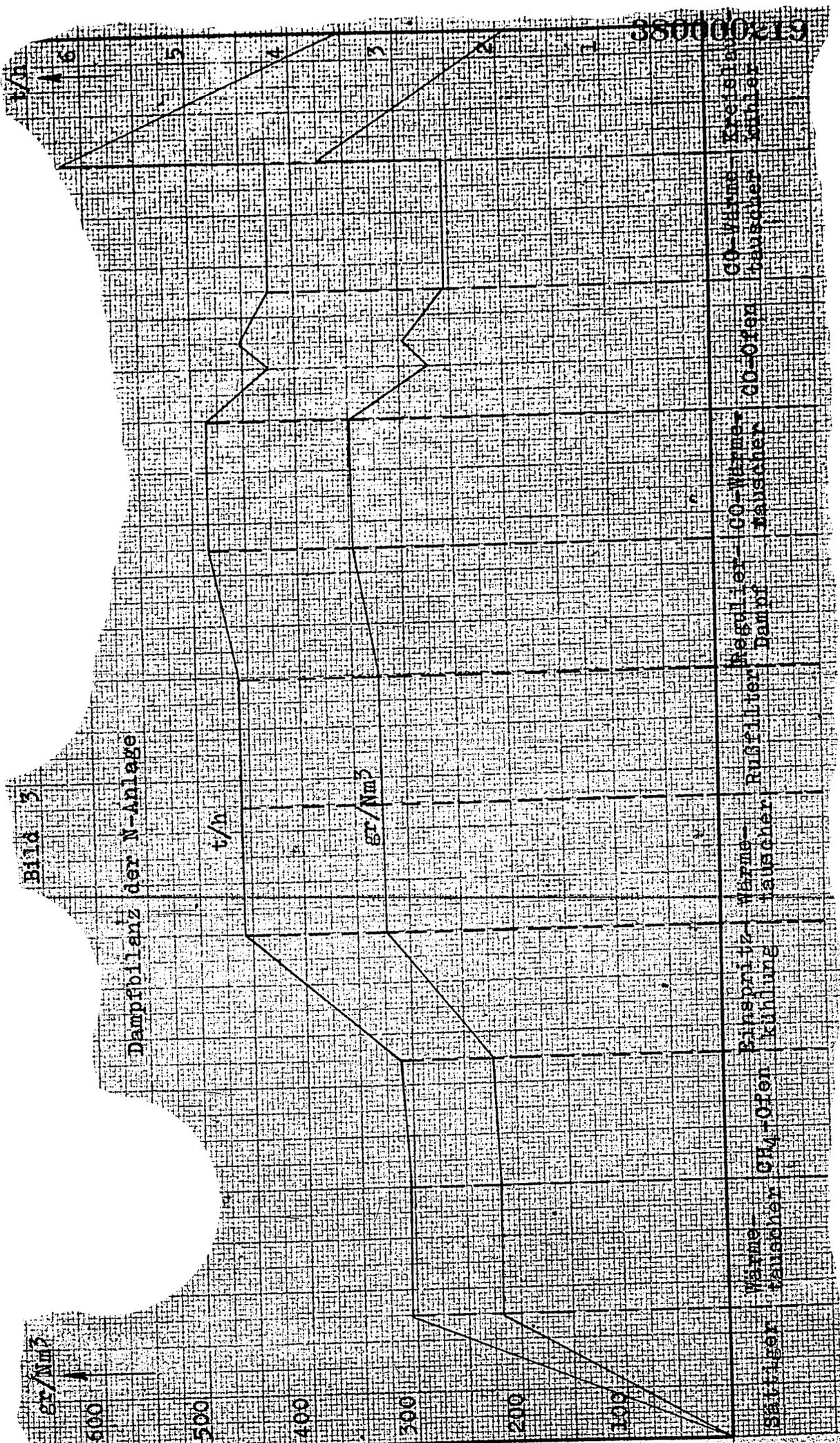


Bild 3

Dampfbilanz der N-Anlage

gr/Nm<sup>3</sup>

600

500

400

300

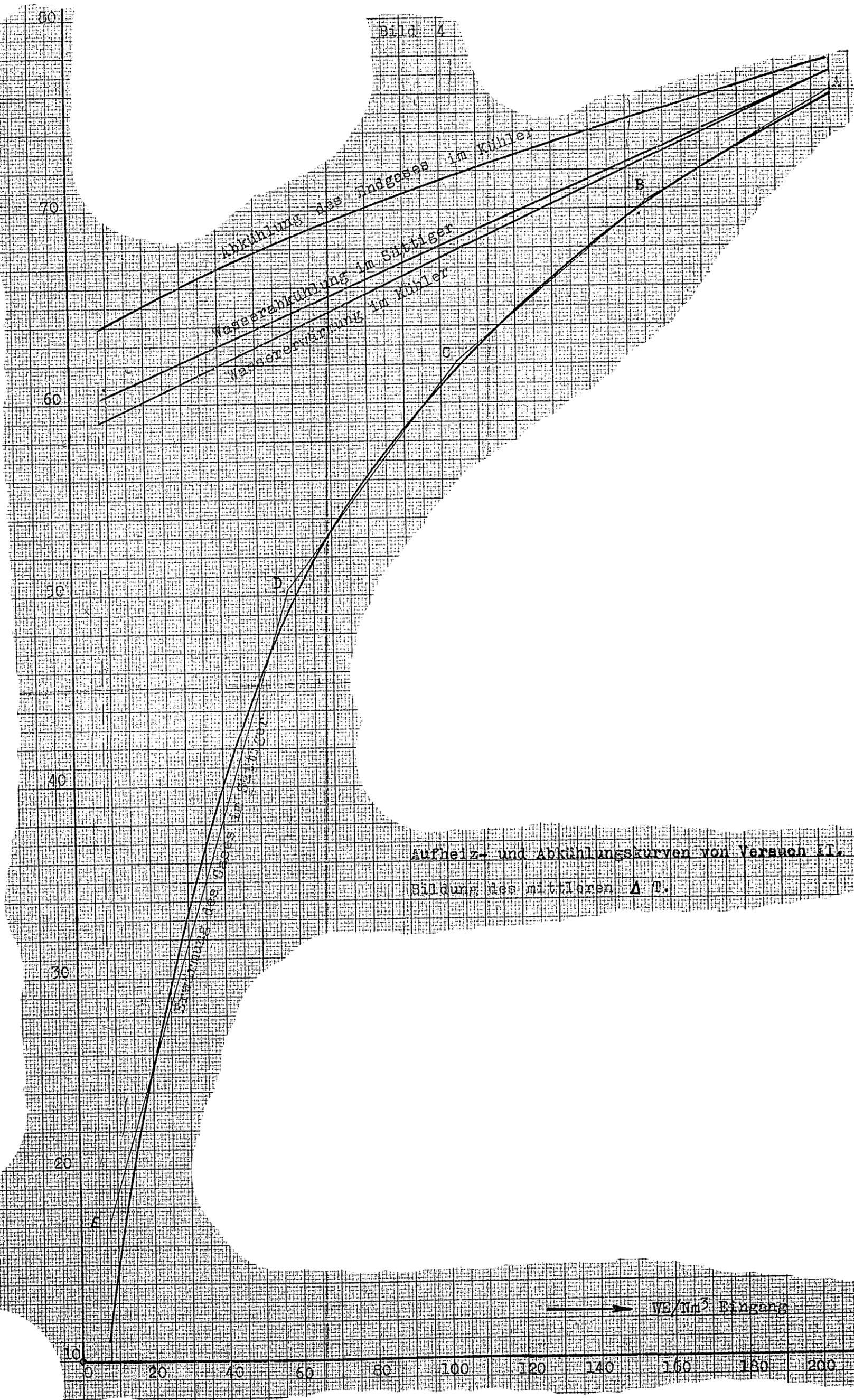
200

100

t/h

gr/Nm<sup>3</sup>

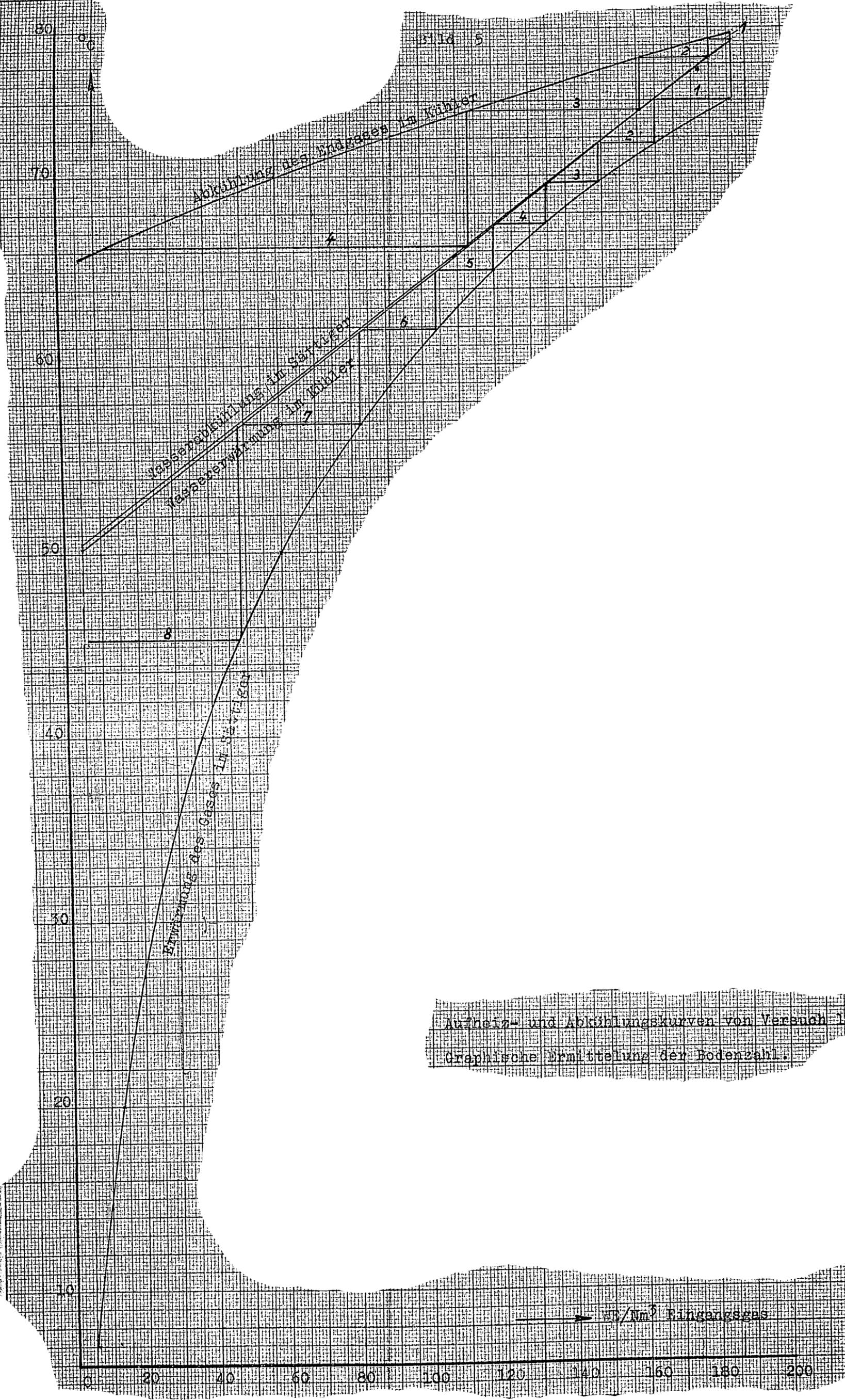
Bild 4



Aufheiz- und Abkühlungskurven von Versuch 11.  
Bildung des mittleren  $\Delta T$ .

Bild 4

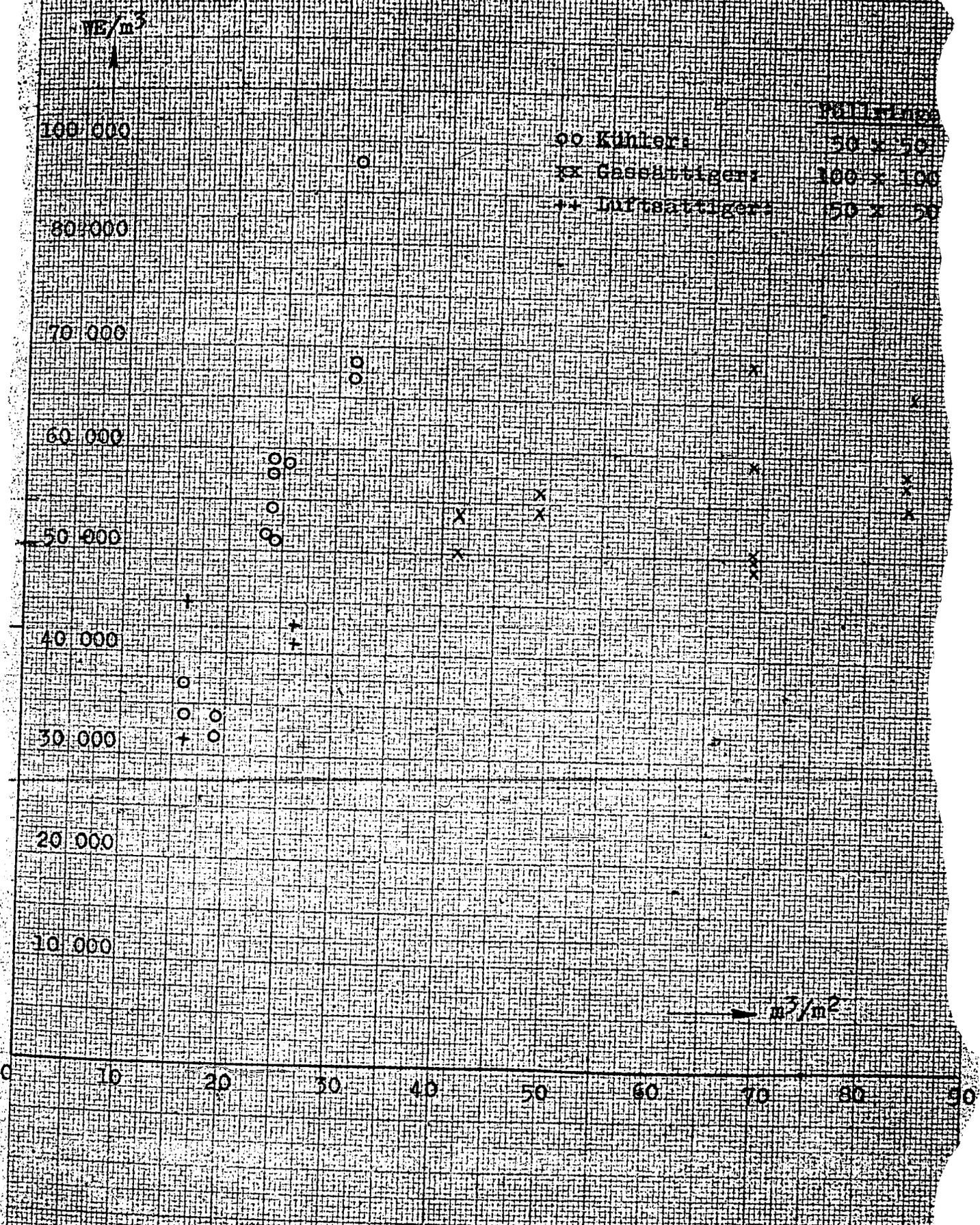
Bild 5



Aufheiz- und Abkühlungskurven von Versuch 10  
Graphische Ermittlung der Bodenzahl.

Bild 5

3500008



Abhängigkeit der Wärmedurchgangszahl K von der Regenhöhe