

Betreff:

Versuche über die Trocknung von Luft
mit engporigem Kieselgel.

Auf Veranlassung von Herrn Dr. Gloth wurden im Laboratorium der Gasfabrik Op 299 Versuche gemacht über die Trocknung von feuchter Luft mit engporigem Kieselgel. Es sollte die Abhängigkeit der Wasserdampf-Adsorption geprüft werden:

1. von der Temperatur
 - a) bei adiabatischer Adsorption
 - b) bei isothermer Adsorption
2. von der Verweilzeit
3. von der Regenerierungstemperatur des Kieselgels.

Für die Versuche wurde engporiges Kieselgel A aus der laufenden Fabrikation der Kieselgelfabrik Op 97 benutzt, und zwar stammte es aus der Partie 5 vom 8.11.1937, hatte eine Körnung von 2-4 mm und ein Schüttgewicht von 72.

Die Wasseraufnahme des Kieselgels wurde bei allen Versuchen in Gramm Wasser pro 100 g Kieselgel ($\text{g H}_2\text{O}/100 \text{ g Kieselgel}$) angegeben. Der Trocknungsgrad der Luft gibt das prozentuale Verhältnis der adsorbierten zur ursprünglich vorhandenen Wassermenge an.

Zu den Versuchen wurde eine weiter unten beschriebene Apparatur benutzt, die es gestattete, die relative Feuchtigkeit auf dem gewünschten Wert mit einem Fehler von $\pm 0,1 \text{ g H}_2\text{O}/\text{cbm}$ zu halten; die Temperatur der zu trocknenden Luft konnte auf $\pm 1^\circ\text{C}$ eingehalten werden. Das Adsorptionsrohr mit der Kieselgelfüllung konnte für Versuche mit Abführung der Adsorptionswärme (isotherme Adsorption) und ohne Abführung der Wärme (adiabatische Adsorption) benutzt werden. Außerdem konnte das Adsorptionsrohr gekühlt und geheizt werden.

Beschreibung der Apparatur.

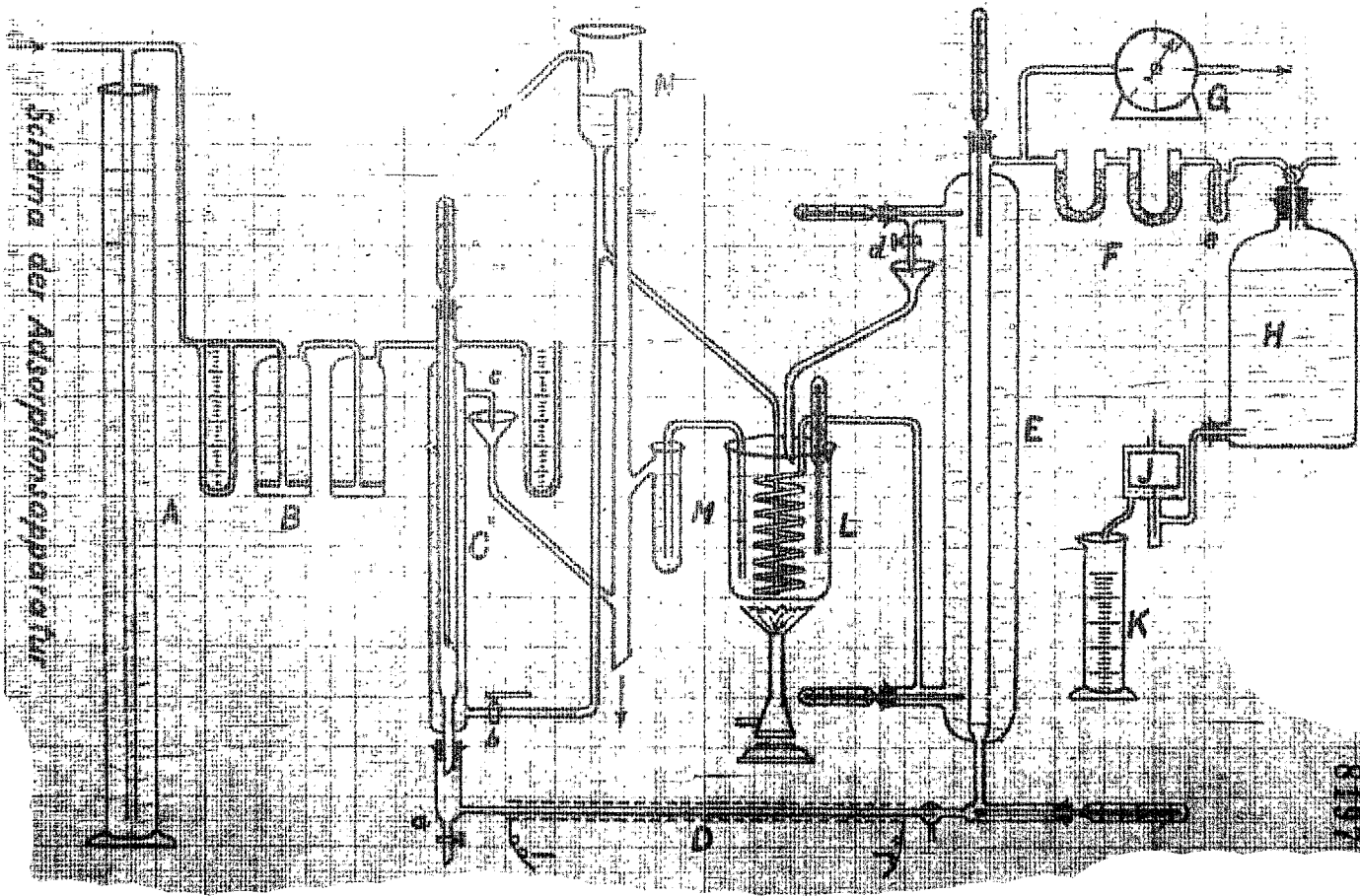
Die Apparatur ist in der Skizze I schematisch wiedergegeben.

Durch den Druckregler A tritt die zu den Trocknungsversuchen benutzte (Druck-)Luft in die Apparatur ein, wird durch ihn auf konstanten Druck (ca. 1,50 m Wassersäule) gehalten und durch das nachgeschaltete Strömungsmanometer auf die gewünschte Anzahl Stundenliter eingestellt. Danach wird die Luft in den beiden Glasfrittenwaschflaschen B bei Zimmertemperatur (ca. 20° - 22° C) mit Wasser gesättigt. Dann durchströmt die wassergesättigte Luft das Kühlaggregat C, welches aus einem mit Wasser gekühltem Rohr (Liebig-Kühler) mit angesetztem Stutzen a zur Wasserabscheidung besteht. Hier wird die mit Wasser gesättigte Luft durch von N zuströmendes Leitungswasser gekühlt, wodurch die gewünschte relative Feuchtigkeit erhalten werden kann. Bei den meisten Versuchen wurde eine relative Feuchtigkeit von 80 % bei 20°C in der zu trocknenden Luft zu Grunde gelegt. Da bei 20°C gesättigte Luft 17,29 g H₂O/cbm enthält, so muß Luft, die 80 % relative Feuchtigkeit bei 20°C enthält, $\frac{80 \times 17,29}{100} = 13,8$ g H₂O/cbm enthalten. Eine Luft aber, die 13,8 g H₂O/cbm enthält, ist bei 16°C gesättigt. Die zu den Versuchen benutzte wassergesättigte Luft muß also auf 16°C abgekühlt werden. Die genaue Einhaltung der Temperatur wurde erreicht, einmal durch das Überlaufgefäß N, wodurch ein sehr gleichmäßiger Wasserzulauf unter stets gleichem Druck erreicht wurde und zum anderen durch den Regulierhahn b und dadurch, daß das Ausflußrohr c zu einer feinen Spitze ausgezogen war. Durch diese drei Einrichtungen wurde erreicht, daß die zu trocknende Luft für die stundenlange Versuchsdauer auf konstanter Temperatur gehalten werden konnte.

Das durch die Abkühlung abgeschiedene Wasser sammelte sich in dem Stutzen a und wurde durch den angesetzten Hahn von Zeit zu Zeit abgelassen.

SKIZZE I

Schema der Adsorptionsapparatur



8197

Nach dem Passieren des Rohres D, welches mit einer Heizspirale versehen war, um die Luft auf die Versuchstemperatur zu erwärmen, tritt die Luft in die eigentliche Adsorptionsapparatur E ein.

Diese Adsorptionsapparatur besteht aus einem Quarzrohr von ca. 20 mm lichter Weite, unten eingeschmolzenem Sieb und angeschmolzenem Kühlmantel; die Verbindungen sind Schliffverbindungen. Das Adsorptionsaggregat E konnte aus der Gesamtapparatur zum Zwecke der Regenerierung des Kieselgels herausgenommen werden.

Das Adsorptionsrohr E konnte durch Wasser sowohl gekühlt als auch geheizt werden. Zu letzterem Zwecke wurde das Wasser in einem kupfernen Durchlaufrohrerhitzer L erwärmt. Durch den Überlauf M wurde stets gleiches Niveau des Heizbades gehalten. Dadurch und durch die gleichen - bei dem Kühlaggregat C näher beschriebenen - Einrichtungen (Überlaufgefäß N, Regulierhahn d mit ausgezogener Spitze) wurde eine Temperaturkonstanz erhalten, die in den Temperaturintervallen

von 5 - 25°C	eine Fehlergrenze von	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$	hatten,
" 25 - 45°C	"	" $\pm 1^{\circ}\text{C}$	"
" 45 - 75°C	"	" $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$	"

Hinter dem Adsorptionsrohr wurde dann der getrocknete Luftstrom in der Gasuhr G gemessen und ins Freie geleitet. Ein kleiner Teil (2 Liter/Stunde) wurde jedoch zwecks gleichmäßiger Bestimmung des von dem Kieselgel nicht adsorbierten Wassers vor der Gasuhr abgezweigt und das Wasser in den Phosphorpenoxydröhrchen F aufgefangen und gewogen. Zwecks gleichmäßiger und gleichbleibender Strömungsgeschwindigkeit der Luft in den P_2O_5 -Röhrchen, waren diese unter Zwischenschaltung eines Blasenjäblers e mit dem Aspirator H verbunden. Der gleichmäßige Abfluß des Wassers aus dem Aspirator war durch einen Abflußregler I gewährleistet. Er hat sich bei den Versuchen sehr bewährt. Das aus dem Aspirator abgelaufene Wasser - und damit die durch die P_2O_5 -Röhrchen geströmte Luft - wurde gemessen.

Die Wasserbestimmung in der getrockneten Luft.

Da die durch Kieselgel getrocknete Luft anfangs nur sehr geringe Wassermengen enthält, die dann allmählich ansteigen, handelte es sich darum, Wassermengen unter $0,1\text{g}/\text{cbm} = 0,1\text{ mg}/\text{Ltr.}$ zu bestimmen. Das Wasser wurde gravimetrisch nach Auffangung in einem Phosphorpenoxydröhrchen bestimmt. Dabei ist es erforderlich, daß nicht mehr als ungefähr 2 Ltr. Luft/Std. durch die Röhrchen hindurchströmen, da sonst eine Gewähr für vollständige Absorption des Wassers nicht gegeben ist, wie durch lange Versuche bei anderer Gelegenheit festgestellt worden war. Um wägbare Mengen zu erhalten, war es erforderlich, die einzelnen Versuche über einen verhältnismäßig langen Zeitraum auszudehnen. Und es bestand auch nur die Möglichkeit, das Wasser der getrockneten Luft in einem gewissen Intervall als Durchschnitt zu bestimmen. Es wurde, wie in den Tabellen über die einzelnen Versuchsergebnisse angegeben ist, das Wasser in dem "Ausgangsgas" vom Beginn des Versuches (frisch regeneriertes Kieselgel) an so bestimmt, daß - wie bei der Beschreibung der Apparatur angegeben - vom Hauptstrom ein Teilstrom von 2 Ltr./Std. abzweigt und durch das P_2O_5 -Röhrchen geleitet wurde. Nach Durchgang von je 100, 200 oder 500 Litern wurde das P_2O_5 -Röhrchen ausgewechselt und gewogen. Es bedeutet dann z. B., daß (nach Tabelle 1) im Intervall

von 0 - 500 Ltr.)	das Ausgangsgas 0 g $\text{H}_2\text{O}/\text{cbm}$,
und 500 - 700 Ltr.)	d. h. nicht wägbare Mengen enthält;
	im Intervall
von 700 - 900 Ltr.	das Ausgangsgas 0,27 g $\text{H}_2\text{O}/\text{cbm}$ enthält.

Diese 0,27 g H_2O ist der Durchschnittswassergehalt, nachdem bereits 700 Ltr. Luft vorher durch das Kieselgel getrocknet worden waren. Die getrocknete Luft enthält natürlich bei 700 - 750 Ltr. unter 0,27 g $\text{H}_2\text{O}/\text{cbm}$ und bei 850 - 900 Ltr. mehr als 0,27 g $\text{H}_2\text{O}/\text{cbm}$.

Aus diesem gravimetrisch bestimmten Wassergehalt der getrockneten Luft wurde die vom Kieselgel adsorbierte Wasser-

menge berechnet; diese muß bei der Regenerierung des Kieselgels durch Kondensation des ausgetriebenen Wasserdampfes zurückerhalten werden. Wie aus den Tabellen ersichtlich ist, stimmen die berechneten Werte und die gefundenen Werte innerhalb der Fehlergrenze überein. Dies ist ein Beweis nicht nur für die Richtigkeit der gravimetrisch gefundenen Werte der Wassergehalte der getrockneten Luft, sondern auch für die genaue Aufladung der zu trocknenden Luft mit Wasser auf 80 % relative Feuchtigkeit bei 20°C.

Beschreibung der Versuche.

Bei den adiabatischen Adsorptionsversuchen sollte nach Möglichkeit die in der Praxis bei Adsorptionsanlagen vorkommenden Verhältnisse berücksichtigt werden; das heißt also: die Adsorptionswärme soll

1. benutzt werden zur Erwärmung des Kieselgels und der Apparatur,
2. durch die getrocknete Luft selbst abgeführt werden, und
3. soll der durch Ableitung und Strahlung entstehende Wärmeverlust dem der Praxis möglichst nahekommen.

Bei den vorliegenden Versuchen wurde die relative Feuchtigkeit der zu trocknenden Luft immer gleich gehalten, und zwar auf 80 %. Das entspricht 13,8 g H₂O/cbm Luft. Um zunächst einmal die Einwirkung der Verweilzeit auf die Adsorptionsfähigkeit festzustellen, wurde jene variiert und Versuche bei 2,5 Sekunden, 2,0 Sekunden und 1,6 Sekunden Verweilzeit durchgeführt.

Die stündliche Durchflußmenge der zu trocknenden Luft ergibt sich bei der zu den Versuchen angewendeten Strömungsgeschwindigkeit von 0,20 m/sec., aus der lächten Weite des Adsorptionsrohres und der Schichthöhe des Kieselgels (bzw. der Verweilzeit). Da zu den Adsorptionsversuchen Quarzrohr benutzt wurde und bei solchen der Rohrdurchmesser nicht an allen Stellen gleich ist, wurde das zu den Versuchen benutzte

Quarzrohr mit Wasser ausgemessen. Der Fassungsraum betrug vom eingeschmolzenen Sieb ab bis zur Höhe von

10 cm	31,5 ccm
20 cm	63,0 ccm
30 cm	94,0 ccm
40 cm	128,0 ccm
50 cm	157,0 ccm

Das Rohr hat dann rechnerisch eine lichte Weite von durchschnittlich 20,0 mm. Um in diesem Adsorptionsrohr bei einer Schichthöhe von 50 cm eine Verweilzeit von 2,5 Sekunden zu haben, müssen 226,08 Liter Luft pro Stunde das Rohr durchströmen. Bei gleicher stündlicher Luftmenge können kürzere Verweilzeiten (2,0 Sekunden) durch Herabsetzen der Schichthöhe erreicht werden.

Adiabatische Adsorption.

Die Ergebnisse der Versuche über die adiabatische Adsorption bei 2,5 Sekunden Verweilzeit sind in den Tabellen 1 und 2 wiedergegeben und in der Skizze A graphisch dargestellt. Die Versuchsbedingungen sind am Kopfe der Tabellen angegeben.

Die Adsorption des Wassers im Kieselgel geht so vor sich, daß sich das Kieselgel zuerst bis zu einer gewissen Schichthöhe an der Einströmseite mit Wasser belädt bis zum Gleichgewicht, darnach die folgende Schicht, bis die Hauptmenge des Kieselgels verbraucht ist. Diese von Zone zu Zone fortschreitende Beladung des Kieselgels mit Wasser macht sich durch die fortschreitende Temperaturerhöhung bemerkbar. Zuerst erwärmt sich die untere Zone, dann steigt die erwärmte Zone allmählich weiter nach oben und die untere wird nach vollständiger Beladung mit Wasser von der weiter durchströmenden Luft wieder abgekühlt bis auf die Temperatur der zu trocknenden "Eingangsluft". Diese zonenweise Beladung mit Wasser läßt sich besonders gut zeigen, wenn man das Kieselgel mit einer Kobaltchlorürlösung tränkt und trocknet. Das Kieselgel sieht nun blau aus. Wenn sich das Kieselgel dann mit Wasser belädt, schlägt die Farbe des wasserfreien blauen Kobaltchlorürs in die des wasserhaltigen rosaroten Kobalt-

Tabelle 2.

Adiabatische Adsorption.

Kieselgel A Partie 5 vom 8.11.1937 Schütt- gewicht: 72 Korngröße: 2-4 mm	Lichte Rohrweite: ca. 20 mm Schicht- höhe: 50cm Kiesel- gel: 125 g ~ 157ccm	Eintrittstemp- eratur d. Luft: 20° Austrittstemp. der Luft: ca. 32° (ohne Wärmeabfüh- rung) Relative Feuchtigkeit der Luft: 80 % bei 20°C = 13,8g H ₂ O/cbm.	Luftmenge: 225 Ltr./Std. Strömungsgeschwin- digkeit: 0,20m/sec. Verweil- zeit: 2,5 sec.
--	--	--	--

Regenerierung mit bei 20°C mit H₂O gesättigter Luft bei 140-120°C.

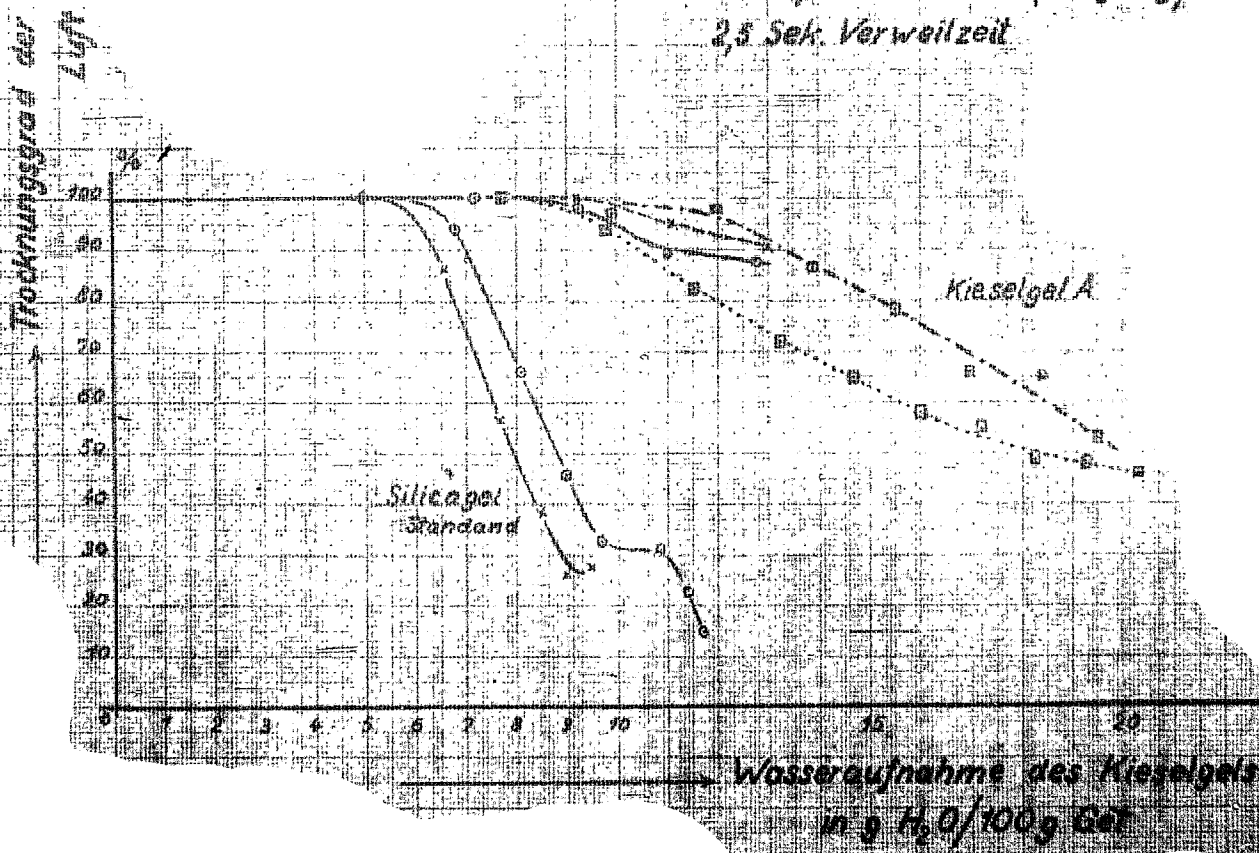
Im Intervall von - bis	Wasser- gehalt der ge- trock- neten Luft in g H ₂ O pro cbm	Er- reich- ter Trock- nungs- grad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wasser- gehalt der ge- trock- neten Luft in g H ₂ O pro cbm	Er- reich- ter Trock- nungs- grad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
			g H ₂ O pr. Kie- selgel- rohr- füllung	g H ₂ O pr. 100 g Kie- selgel			g H ₂ O pr. Kie- selgel- rohr- füllung	g H ₂ O pro 100 g Kiesel- gel
Ltr.	Ltr.							
0 - 500	0	100	6,90	5,52	0,09	99,4	6,86	5,49
500 - 700	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
700 - 900	0,77	94,5	2,61	2,09	0,50	96,4	2,66	2,13
900 - 1100	2,44	82,4	2,27	1,81	0,26?	98,2?	2,71?	2,17?
1100 - 1300	3,80	72,5	2,00	1,60	1,99	85,6	2,36	1,89
1300 - 1500	4,75	65,3	1,81	1,45	3,64	78,7	2,03	1,63
1500 - 1700	5,80	58,0	1,60	1,28	4,78	65,4	1,80	1,44
1700 - 1900	6,18	55,2	1,53	1,22	4,83	65,2	1,79	1,44
1900 - 2100	7,09	48,6	1,34	1,07	6,56	52,5	1,45	1,16
2100 - 2300	7,19	47,9	1,32	1,06			24,42	19,56
2300 - 2500	7,48	45,8	1,26	1,01			g H ₂ O	g H ₂ O
			25,40	20,32				
			g H ₂ O	g H ₂ O				
Bei der Regenerierung zu- rückgewonnen:			26,2				24,5	
			g H ₂ O				g H ₂ O	

Adiabatische Adsorption bei 20°C (Eingang)

2,5 Sek. Verweilzeit

8209

Skizze A



chlorürs um. Man sieht dann an dem Farbumschlag ganz deutlich, daß sich das Kieselgel bei der Trocknung von feuchter Luft von Zentimeter zu Zentimeter mit H_2O belädt und daß, wenn der Wassergehalt der austretenden Luft auf über $0,1 \text{ g } H_2O/\text{cbm}$ gestiegen ist, noch ca. 10 - 15 cm Kieselgel so wenig mit Wasser beladen sind, daß das Kieselgel blau gefärbt bleibt.

Diese 10 - 15 cm hohe Kieselgelschicht ist bei $0,2 \text{ m}$ pro Sekunde Strömungsgeschwindigkeit gewissermaßen als Schutzschicht und damit als Mindestschichthöhe des Kieselgels erforderlich, wenn man Luft auf unter $0,1 \text{ g } H_2O/\text{cbm}$ trocknen will. Genaueres über diese Mindestschichthöhe wird in einem späteren Abschnitt berichtet.

Die Ergebnisse der Versuche über die adiabatische Adsorption von Kieselgel bei 2,0 Sekunden und 1,6 Sekunden Verweilzeit sind in den Tabellen 3 und 4 wiedergegeben und in den Skissen B und C graphisch dargestellt.

Die Werte über die adiabatische Adsorption streuen stark infolge der durch den Wechsel der Außentemperatur bedingten unterschiedlichen Wärmeabstrahlung.

Als Abschluß der Versuche über die adiabatische Adsorption unseres Kieselgels A wurden zwei Vergleichsbestimmungen mit dem Konkurrenzprodukt der Chemischen Fabrik Coswig "Silicagel-Standard" gemacht. Die Siebanalyse des Silicagels ergab, daß es aus

62,5 % von der Korngröße 0-2 mm und aus
37,5 % " " " " 2-4 mm bestand.

Die Versuche wurden genau wie die bei unserem Kieselgel A bei 2,5 Sekunden "Verweilzeit" gemacht, wie Tabelle 5 zeigt, auf der die Ergebnisse angegeben sind. Graphisch dargestellt sind sie mit den entsprechenden Versuchen über Kieselgel A auf der Skizze A zum Vergleich. Es ergibt sich daraus, daß die Adsorption des Silicagels Standard ungefähr $2/3$ von der unseres Kieselgels A beträgt.

Tabelle 3.

Adiabatische Adsorption.

Kieselgel A Partie 5 vom 8.11.1937 Schütt- gewicht: 72 Korn- gröÙe: 2-4 mm	Lichte Rohrweite: ca. 20 cm Schicht- höhe: 40 cm Kiesel- gel: 96 g ~125,6ccm	Eintrittstemp- eratur d. Luft: 22°C Austrittstemp. der Luft: ca. 30°C (ohne Abführung der Wärme) Relative Feuchtigkeit der Luft: 80 % bei 20°C = 13,8g H ₂ O/cbm.	Luftmenge: 225 Ltr./Stunde Strömungsgeschwin- digkeit: 0,20m/sec. Verweil- zeit: 2,0 sec.
--	---	---	--

Regenerierung mit trockener Luft bei 140°C.

Im Intervall von - bis Ltr. Ltr.	Wasser- gehalt der ge- trock- neten Luft in g H ₂ O pro cbm	Er- reich- ter Trock- nungs- grad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wasser- gehalt der ge- trock- neten Luft in g H ₂ O pro cbm	Er- reich- ter Trock- nungs- grad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
			g H ₂ O pr. Kie- selgel- rohr- füllung	g H ₂ O pr. 100 g Kie- selgel			g H ₂ O pr. Kie- selgel- rohr- füllung	g H ₂ O pr. 100 g Kie- selgel
0 - 550	0,07	99,7	7,55	7,86	0,08	99,6	7,54	7,85
550 - 700	0,40	97,1	2,01	2,09	0,28	98,0	2,03	2,12
700 - 850	1,34	90,3	1,87	1,95	1,44	89,4	1,85	1,93
850 - 1000	2,72	80,2	1,66	1,73	2,80	79,6	1,65	1,72
1000 - 1150	4,00	71,0	1,47	1,53	4,12	70,0	1,45	1,51
1150 - 1300	4,90	64,2	1,33	1,39	5,53	59,9	1,24	1,28
1300 - 1450	6,08	56,0	1,16	1,21	6,40	53,6	1,11	1,16
			17,05	17,76			16,87	17,57
			g H ₂ O	g H ₂ O			g H ₂ O	g H ₂ O
Bei der Regene- rierung zurück- gewonnen:			17,5				17,2	
			g H ₂ O				g H ₂ O	

Taballe 4.

Adiabatische Adsorption.

Kieselgel A Partie 5 vom 8.11.1937 Schütt- gewicht: 72 Korn- gröÙe: 2-4mm	Lichte Rohrweite: ca. 21 cm Schicht- höhe: 20 cm Kiesel- gel: 48 g ~ 62,8 cm	Eintrittstemp- eratur d. Luft: 22°C Austrittstemp. der Luft: 29°C (ohne Abführung der Wärme) Relative Feuchtigkeit der Luft: 80 % bei 20°C = 13,8g H ₂ O/cbm.	Luftmenge: 125 Ltr/Stunde Strömungsgeschwin- digkeit: 0,20m/sec. Verweil- zeit: 1,6 sec.
---	---	---	---

Regenerierung mit trockener Luft bei 140° - 120° C.

Im Intervall von - bis		Wasser- gehalt der ge- trock- neten Luft in g H ₂ O pro cbm	Er- reich- ter Trock- nungs- grad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in g H ₂ O pr.Kie- selgel- rohr- füllg.		Wasser- gehalt der ge- trock- neten Luft in g H ₂ O pro cbm	Er- reich- ter Trock- nungs- grad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in g H ₂ O pr.Kie- selgel- rohr- füllg.	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pr.100 g Kie- selgel	g H ₂ O pr.100 g Kie- selgel			g H ₂ O pr.100 g Kie- selgel	g H ₂ O pr.100 g Kie- selgel
0	125	0,04	99,7	1,72	3,58	0,07	99,2	1,71	3,56
125	250	0,21	98,0	1,69	3,52	0,28	98,0	1,69	3,52
250	375	1,18	91,6	1,58	3,29	1,02	92,7	1,60	3,33
375	500	3,85	71,9	1,24	2,58	3,61	73,6	1,27	2,64
500	567,5	5,58	59,2	0,51	1,06	5,83	56,9	0,49	0,98
567,5	633	6,30	54,6	0,47	0,98	6,21	54,5	0,47	0,92
633	700	6,90	51,0	0,43	0,92	7,14	44,3	0,38	0,79
700	767	7,2	44,4	0,38	0,79	7,10	44,2	0,38	0,79
767	833	7,7	39,5	0,34	0,71	7,50	41,8	0,36	0,75
833	900	8,4	34,6	0,30	0,62	8,34	34,7	0,30	0,62
900	1400	9,5	31,3	2,15	4,48	10,26	25,8	1,78	3,71
				10,82	22,53				
				g H ₂ O	g H ₂ O				
Bei der Regene- rierung zurück- gewonnen:				10,4					
				g H ₂ O		10,8			
						g H ₂ O			

Skizze B

Trocknungsgrad der Luft

Luft

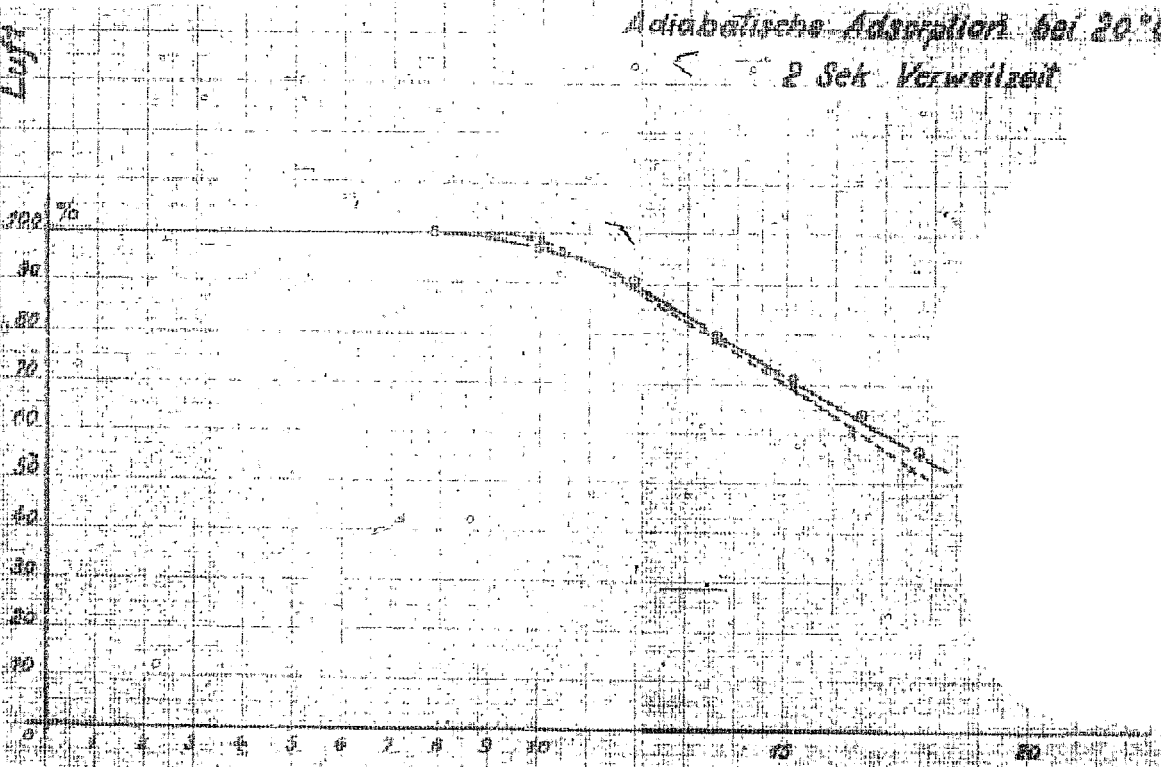
100 %
90
80
70
60
50
40
30
20
0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 15 20

Adiabatische Adsorption bei 20°C (Eing.)
• < 2 Sek. Verweilzeit

8208

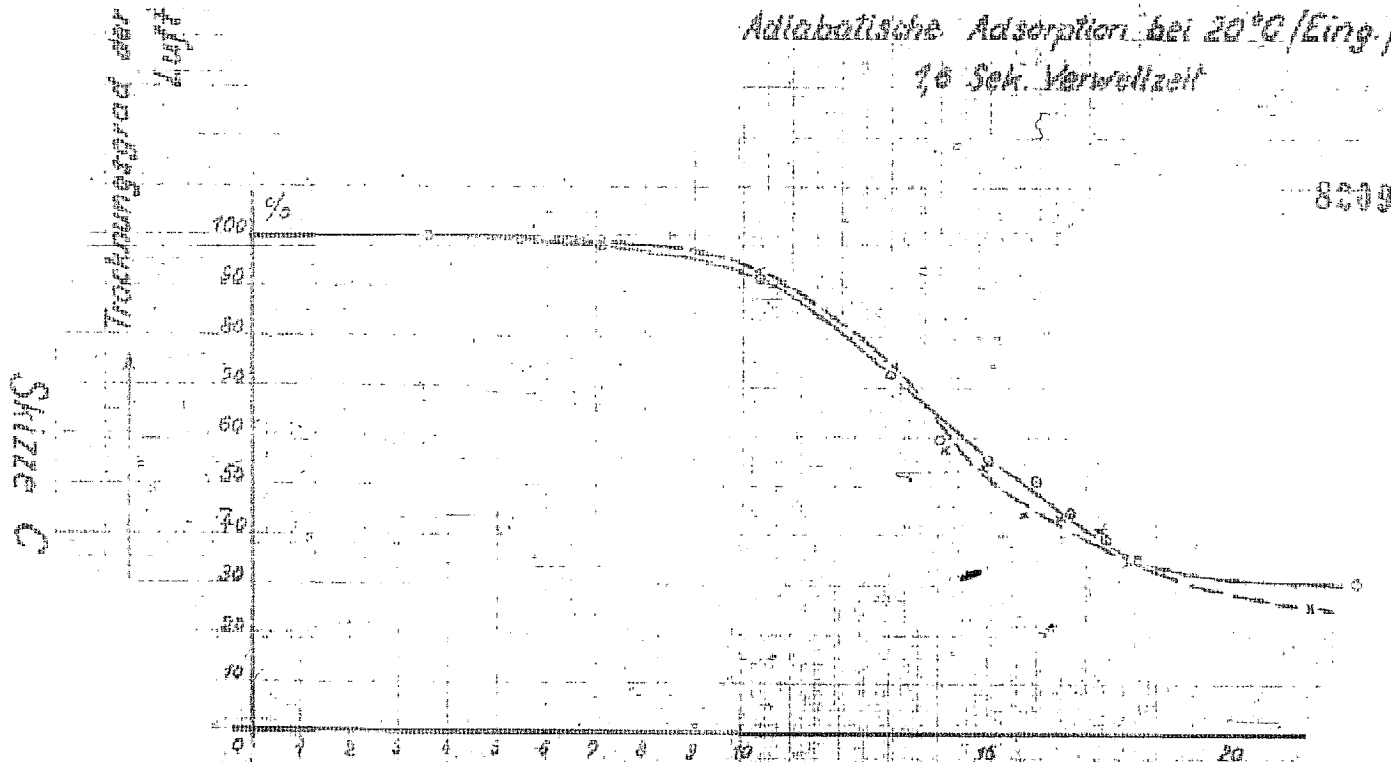
Wasseraufnahme des Kieselgels
in g H₂O/100 g Gel-



Adiabatische Adsorption bei 20°C (Eing.)

70 Sek. Verweilzeit

8200



Wasseraufnahme des Kieselgels

in g H₂O/100 g Gel

Tabelle 5.

Adiabatische Adsorption

Silikagel Standard der Chem. Fabrik Coswig Korngröße: 0-2 mm = 62,5% 2-4 mm = 37,5%	Lichte Rohrweite: ca. 21 mm Schicht- höhe: 50 cm Silikagel: 140 g ~ 157 cm	Eintrittstemp- eratur d. Luft: 22°C Austrittstemp. der Luft: ca. 32°C (Ohne Wärmeabfüh- rung) Relative Feuchtigkeit der Luft: 80 % bei 20°C = 13,8 g H ₂ O/cbm.	Luftmenge: 225 Ltr./Stunde Strömungsgeschwin- digkeit: 0,20 m/sec. Verweil- Zeit: 2,5 sec.
---	---	---	---

Regeneration mit trockener Luft bei 200°C.

Im Intervall von - bis		Wasser- gehalt der ge- trock- neten Luft in g H ₂ O pro cbm	Er- reich- ter Trock- nungs- grad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wasser- gehalt der ge- trock- neten Luft in g H ₂ O pro cbm	Er- reich- ter Trock- nungs- grad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pro Kie- selgel- rohr- füllg.	g H ₂ O pro 100 g Kie- selgel			g H ₂ O pro Kie- selgel- rohr- füllg.	g H ₂ O pro 100g Kiesel- gel
0	500	0	100	6,90	4,93	0	100	6,90	4,93
500	700	0,89	94,0	2,58	1,84	1,99	85,6	2,36	1,69
700	900	4,67	66,0	1,83	1,31	6,06	56,1	1,55	1,11
900	1100	7,40	46,0	1,32	0,94	8,50	38,4	1,06	0,73
1100	1300	9,08	34,0	0,94	0,67	10,24	25,8	0,71	0,51
1300	1500	9,31	33,0	0,90	0,64	9,9	28,2	0,76	0,54
1500	1700	9,56	31,0	0,85	0,61			13,34	9,53
1700	1900	10,60	23,0	0,64	0,46			g H ₂ O	g H ₂ O
1900	2100	11,74	15,0	0,41	0,29				
2100	2300	11,36	17,7	0,49	0,35				
2300	2500	11,35	17,6	0,49	0,35				
2500	2700	10,86	21,3	0,59	0,42				
2700	2900	11,79	14,6	0,40	0,29				
				18,34	13,10				
				g H ₂ O	g H ₂ O				
Bei der Regene- rierung zurück- gewonnen:				18,1		13,2			
				g H ₂ O		g H ₂ O			

Isotherme Adsorption.

Um die Abhängigkeit der Adsorption von der Temperatur zu prüfen, wurden die isothermen Adsorptionskurven bei 15°, 25°, 35°, 45°, 55°, 65° und 75°C bestimmt. Da bei den Versuchen - wie bereits weiter oben angegeben - Luft getrocknet wurde, deren relative Feuchtigkeit bei 20°C 80 % betrug, erübrigte es sich, isotherme Adsorptionskurven für Temperaturen unter 15°C zu bestimmen, da der "Taupunkt" der Versuchsluft bei ca. 15°C liegt und ein großer Teil des Wassers dann nicht durch Adsorption mittels Kieselgel, sondern durch Kondensation aus der zu trocknenden Luft entfernt werden würde.

Die Bestimmungen wurden, wie bereits weiter oben beschrieben, ausgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 6 - 12 wiedergegeben.

Die Versuchsbedingungen waren folgende:

1. Adsorptionsrohr:

Quarzrohr, wie weiter oben beschrieben;
ca. 20 mm lichte.
Fassungsraum bis 50 cm Schichthöhe: 157 cm.

2. Kieselgelfüllung:

125 g Kieselgel A, Partie 5 vom 8.11.1937.
2-4 mm Körnung; Schüttgewicht: 72.

(Der Fassungsraum faßte 125 g Kieselgel infolge fester Pressung; lose geschüttet hätte er nur $\frac{157 \times 72}{100} = 113,5$ g gefaßt.)

3. Luft:

80 % relative Feuchtigkeit bei 20°C
= 13,8 g H₂O/cbm.

Strömungsgeschwindigkeit: 0,20 m/sec.

Luftmenge: 225 Liter/Stunde.

Temperatur der Eingangsluft } untereinander gleich
" " Ausgangsluft } und gleich der jeweiligen Bestimmung-
des Kieselgels } temperatur der be-
und der Apparatur } treffenden Tabelle.

Tabelle 6.

Isotherme Adsorption bei 15°C.

Im Bereiche von - bis		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Von Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Von Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllg.	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllg.	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel
0 - 100		0,09	99,4	1,37	1,10	0	100	1,38	1,10
100 - 300		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
300 - 500		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
500 - 700		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
700 - 900		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
900 - 1100		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
1100 - 1300		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
1300 - 1500		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
1500 - 1700		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
1700 - 1900		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
1900 - 2100		0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
2100 - 2300		0,23	98,5	2,72	2,16	0	100	2,76	2,21
2300 - 2500		1,16	95,4	2,53	2,02	1,38	90,0	2,46	1,97
2500 - 2700		2,25	83,7	2,31	1,85	3,73	72,9	2,01	1,61
2700 - 2900		5,94	57,0	1,57	1,26	5,92	57,0	1,57	1,26
2900 - 3100		8,40	39,1	1,08	0,86	8,36	39,0	1,08	0,86
3100 - 3300		9,88	28,4	0,76	0,61	9,91	28,3	0,77	0,62
3300 - 3500		11,80	14,5	0,40	0,32	11,74	14,3	0,41	0,33

Berechneter Wassergehalt d. 125g Kieselgelfüllg:

Bei der Regenerierung mit bei 20°C mit Wasser gesättigter Luft bei 140-120°C wieder zurück-erhalten:

40,34
g H₂O

41,0
g H₂O

40,04
g H₂O

41,4
g H₂O

Tabelle 7.

Isotherme Adsorption bei 25°C.

Im Bereiche von - bis		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Von Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Von Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllung	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllung	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel
0 -	100	0,09	99,3	1,37	1,10	0	100	1,38	1,10
100 -	300	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
300 -	500	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
500 -	700	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
700 -	900	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
900 -	1100	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
1100 -	1300	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
1300 -	1500	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
1500 -	1700	0,10	99,2	2,75	2,20	1,53	89,2	2,46	1,93
1700 -	1900	1,62	87,7	2,42	1,94	2,85	79,3	2,19	1,75
1900 -	2100	4,88	64,5	1,78	1,42	5,69	58,7	1,62	1,30
2100 -	2300	9,24	33,1	0,91	0,73	7,66	44,5	1,23	0,98
2300 -	2500	12,23	18,4	0,31	0,25	9,76	29,4	0,81	0,65
2500 -	2700	12,42	9,8	0,27	0,22	11,45	17,0	0,47	0,38
Berechneter Wassergehalt d. 125g Kieselgelfüllung:				29,13 g H ₂ O		29,48 g H ₂ O			
Bei der Regenerierung mit bei 20°C mit Wasser gesättigter Luft bei 140-120°C wurden zurück erhalten:				29,5 g H ₂ O		29,3 g H ₂ O			

- 16 -

Tabelle 8.

Isotherme Adsorption bei 35°C.

Im Bereiche von - bis		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllg.	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllg.	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel
0	100	0,11	99,3	1,37	1,09	0	100	1,38	1,10
100	300	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
300	500	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
500	700	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
700	900	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
900	1100	1,35	90,1	2,49	1,99	1,10	93,9	2,54	2,03
1100	1300	4,50	64,2	1,77	1,42	3,92	71,8	1,98	1,58
1300	1500	8,16	41,0	1,13	0,90	7,52	45,8	1,26	1,01
1500	1700	10,32	25,2	0,70	0,56	9,54	31,2	0,86	0,69
1700	1900	13,06	5,6	0,15	0,12	11,82	14,0	0,40	0,32
Berechneter Wassergehalt der 125g Kieselgelfüllg.:				18,65				19,44	
				g H ₂ O				g H ₂ O	
Bei der Regenerierung mit bei 20°C mit Wasser gesättigter Luft bei 140-1200 wurden zurück erhalten:				19,0				19,2	
				g H ₂ O				g H ₂ O	

Tabelle 9.

Isotherme Adsorption bei 45°C.

Im Bereiche von - bis		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Von Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Von Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pr. Kieselgelrohrfüllung	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel			g H ₂ O pr. Kieselgelrohrfüllung	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel
0	100	0,25	98,2	1,35	1,06	0	100	1,38	1,10
100	300	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
300	500	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
500	700	2,06	85,9	2,35	1,88	2,30	83,3	2,30	1,82
700	900	6,56	52,5	1,45	1,16	7,91	43,4	1,18	0,94
900	1100	8,92	35,4	0,78	0,62	11,04	20,0	0,55	0,44
1100	1300	13,8	0	0	0	12,5	9,4	0,26	0,21
Berechneter Wassergehalt 1.125g Kieselgelfüllung:					11,45			11,19	
					g H ₂ O			g H ₂ O	
Bei der Regenerierung mit bei 20°C mit Wasser gesättigter Luft bei 140-120°C wurden zurück erhalten:					11,3			11,6	
					g H ₂ O			g H ₂ O	

Tabelle 10.

Isotherme Adsorption bei 55°C.

Im Bereiche von - bis		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro ccm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro ccm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllung	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllung	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel
0 -	100	0	100	1,38	1,10	0,21	98,5	1,36	1,09
100 -	300	0	100	2,76	2,21	0	100	2,76	2,21
300 -	500	2,36	82,9	2,29	1,83	2,25	83,7	2,31	1,85
500 -	700	8,98	34,8	0,98	0,78	9,7	29,4	0,82	0,64
700 -	900	11,72	15,1	0,42	0,34	12,6	8,7	0,24	0,19
900 -	1100	11,84	14,2	0,39	0,31	17,1 ^{x)}	-	-0,66	-0,49
Berechneter Wassergehalt d. 125g Kieselgelfüllung:				8,22				6,83	
				g H ₂ O				g H ₂ O	
Bei der Regenerierung mit bei 20°C mit Wasser gesättigter Luft bei 140-120° wurden zurück- erhalten:				8,4				7,2	
				g H ₂ O				g H ₂ O	

x) Temperatur war versehentlich auf 65°C gestiegen.

Tabelle 11.

Isotherme Adsorption bei 65°C.

Im Bereiche von - bis		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllg.	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllg.	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel
0 - 100		0,3	97,8	1,35	1,08	0	100	1,38	1,10
100 - 200		0	100	1,38	1,10	0	100	1,38	1,10
200 - 300		3,43	75,1	1,04	0,83	3,61	73,7	1,02	0,82
300 - 400		8,54	38,1	0,53	0,42	5,32	61,5	0,85	0,68
400 - 500		11,64	15,7	0,22	0,18	9,90	28,2	0,39	0,31
500 - 700						12,33	10,6	0,15	0,12
Berechneter Wassergehalt d. 125g-Kieselgelfüllung:				4,52				5,17	
				g H ₂ O				g H ₂ O	
Bei der Regenerierung mit bei 20°C mit Wasser gesättigter Luft bei 140-120° wurden zurück erhalten:				4,6				5,3	
				g H ₂ O				g H ₂ O	

Tabelle 12.

Isotherme Adsorption bei 75°C.

Im Bereiche von - bis		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in		Wassergehalt der getrockneten Luft in g H ₂ O pro cbm	Erreichter Trocknungsgrad der Luft %	Vom Kieselgel adsorbierte Wassermenge in	
Ltr.	Ltr.			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllung	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel			g H ₂ O pr. Kieselgelfüllung	g H ₂ O pro 100 g Kieselgel
0 - 100		0	100	1,38	1,10	0	100	1,38	1,10
100 - 200		1,0	92,7	1,28	1,02	4,1	70,3	0,97	0,78
200 - 300		6,43	53,6	0,74	0,59	10,0	27,5	0,38	0,30
300 - 400		13,6	1,45	0,02	0,02	10,8	21,7	0,30	0,21
Berechneter Wassergehalt d. 125g Kieselgelfüllung:				3,42				3,03	
Bei der Regenerierung mit bei 20°C mit Wasser gesättigter Luft bei 140-120° wurden zurück erhalten:				3,5				3,1	
				g H ₂ O				g H ₂ O	
				g H ₂ O				g H ₂ O	

In der folgenden Tabelle 13 sind die Mittelwerte der Tabellen 6 - 12 zusammengestellt und in der Skizze D als isotherme Adsorptionskurven für den Temperaturbereich von 15° - 75°C dargestellt.

Die Kurven zeigen deutlich die starke Temperaturabhängigkeit der Adsorption; aber auch, daß das Kieselgel noch über 75°C ein gewisses Trocknungsvermögen hat. Die Temperaturabhängigkeit der Adsorption ist besonders stark in dem Temperaturbereich von 15° - 35°C .

Nach den Bestimmungen können 100 g Kieselgel bei 15°C ca. 25 g Wasser adsorbieren, bei 75°C dagegen nur noch 1,2 g Wasser, wenn Trocknung der Luft unter $0,1 \text{ g H}_2\text{O}/\text{cbm}$ erreicht werden soll.

Die Schnittpunkte mit der Abszisse geben an, wieviel Wasser 100 g Kieselgel bei den verschiedenen Temperaturen zu adsorbieren vermögen, unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit des zu trocknenden Gases, also die „Gleichgewichtsbeladung“. Die „Krümmungspunkte“ der Kurven, - das sind diejenigen Punkte, wo die Kurven sich von der durch den 100%ige Adsorption anzeigenden Punkt gezogenen Wagerechten entfernen -, geben an, wie hoch das Kieselgel bei $0,20 \text{ m}/\text{sec}$. Strömungsgeschwindigkeit beladen werden kann, um einen Trocknungsgrad von 100% zu erhalten; also die „Durchbruchbeladung“. Aus der Differenz zwischen „Krümmungspunkt“ und Schnittpunkt der einzelnen Kurven kann man die Mindestschichthöhen berechnen, welche bei $0,20 \text{ m}/\text{sec}$. Strömungsgeschwindigkeit bei der betreffenden Temperatur erforderlich sind, um quantitative Trocknung zu erreichen. Diese Berechnung ist folgendermaßen:

Bei 15°C liegt der „Krümmungspunkt“	bei 24 %
der „Schnittpunkt“	
mit der Abszisse	bei 32,7 %
Die Schichthöhe beträgt	50 cm.

Skizze D

8221

Uhrzeit pro Tag



Winkel pro Tag
15. 5. 1900

Also verhält sich die bis zum Gleichgewicht beladene Schichthöhe - denn die Adsorption erfolgt zonenweise bis zur Gleichgewichtsbeladung des Kieselgels - zur Gesamtschichthöhe von 50 cm:

$$x : 50 = 24 : 32,7$$

$$x = 36,7.$$

Die Mindestschichthöhe für 0,20 m/sec. Strömungsgeschwindigkeit bei 15°C ist also $50 - 36,7 = 13,3$ cm.

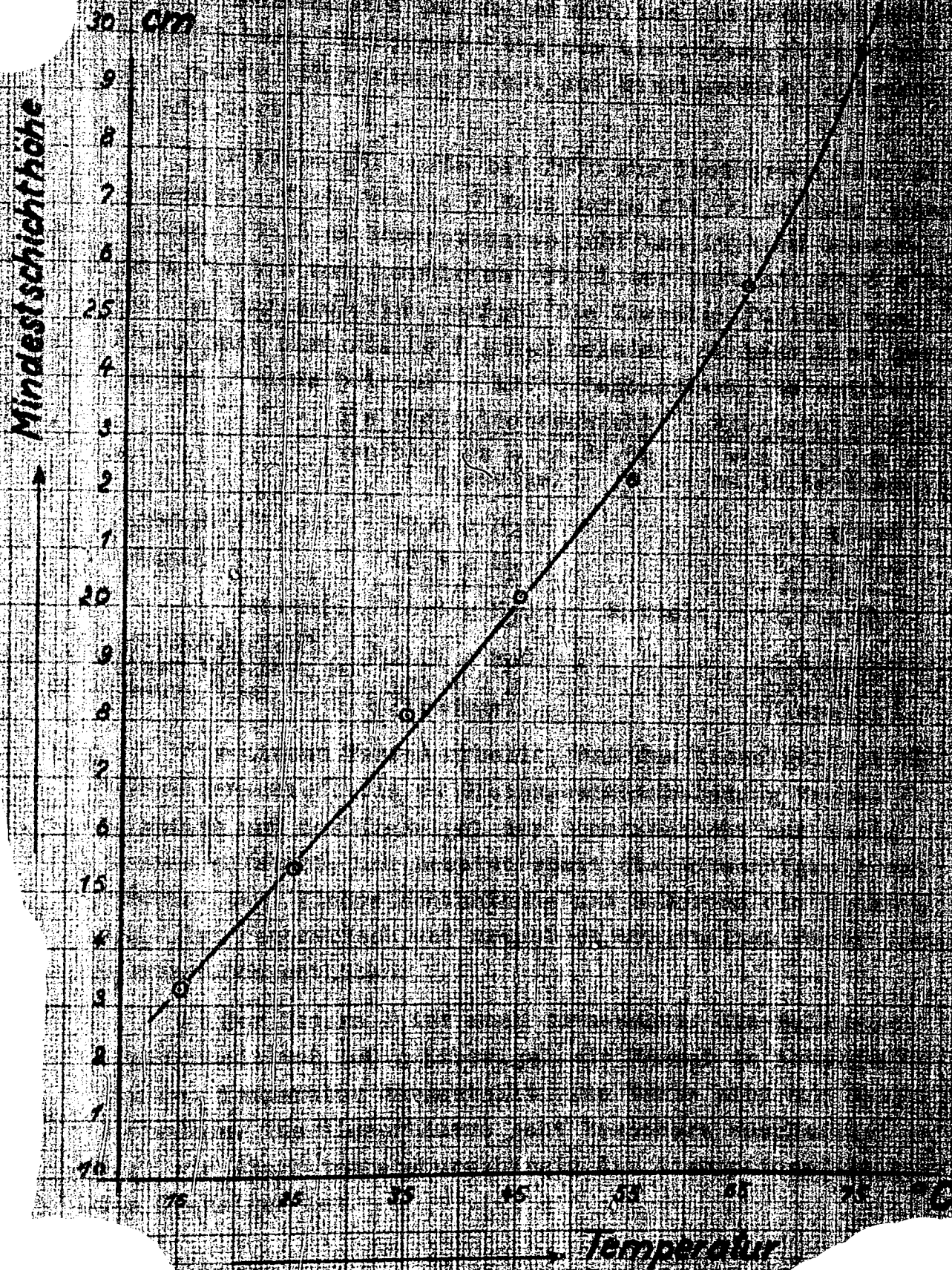
In der folgenden Tabelle 14 sind die "Durchbruchbeladungen" und "Gleichgewichtsbeladungen", wie sie sich aus der Tabelle 13 und der dazugehörigen Skizze D ergeben, mit den daraus berechneten Mindestschichthöhen angegeben.

Tabelle 14.

Temperatur °C	Durchbruch- beladung %	Gleichgewichts- beladung %	Mindest- schichthöhe cm
15	24,0	32,7	13,3
25	16,6	24,0	15,4
35	10,0	15,7	18,1
45	5,52	9,25	20,2
55	3,4	6,2	22,6
65	2,03	4,2	25,8
75	1,10	2,75	30

Die Werte der berechneten Mindestschichthöhen sind in der Skizze E graphisch dargestellt. Es zeigt sich, daß die Mindestschichthöhen auch temperaturabhängig sind. Und zwar beträgt sie bei 15°C ca. 13,3 cm, während sie bei 75°C schon ca. 30 cm betragen muß.

Bei der Verwendung von Kieselgel zu Adsorptionszwecken muß diese Mindestschichthöhe stets als "Schutzschicht" vorhanden sein; erst die über diese Schutzschicht hinaus angewandte Kieselgelmenge ist die wirksame "Adsorptionsschicht". Die Höhe der "Schutzschicht" ist bei gegebener Strömungsgeschwindigkeit (0,20 m/sec.) abhängig von der Temperatur und ist von unveränderlicher Größe; die Höhe der "Adsorptionsschicht" hängt aber davon ab, wie lange man sie benutzen will



Skizze E

Um festzustellen, wie weit die "Schutzschicht" mit Wasser beladen wird und ob tatsächlich die Adsorptionsschicht beim "Durchbruch" bis zum Gleichgewicht beladen ist, wurde Adsorptionsschicht und Schutzschicht getrennt regeneriert.

Das Kieselgel wurde bei 25°C zur isothermen Adsorption verwendet. Nach Tabelle 7 kann durch die 50 cm hohe Gesamtschicht (34,6 cm Adsorptionsschicht und 15,4 cm Schutzschicht) bis zum Durchbruch 1500 Liter Luft mit 13,8 g H₂O pro cbm durchgeleitet werden. Die Kieselgelfüllung von 125 g wird also mit 20,7 g H₂O beladen. Nachdem dies geschehen war, wurde bei 140° - 120°C regeneriert. Es enthielt:

	<u>die Adsorptionsschicht:</u>	<u>die Schutzschicht:</u>
	von 34,6 cm = ca. 86,5g Kieselgel	von 15,4 cm = ca. 38,5g Kieselgel
Versuch a)	19,0 g H ₂ O	2,1 g H ₂ O
Versuch b)	18,6 g H ₂ O	2,3 g H ₂ O
	<hr/>	<hr/>
Mittel:	18,8 g H ₂ O	Mittel: 2,2 g H ₂ O
Das entspricht einer H ₂ O-Be- ladung von:	21,7 g H ₂ O pro 100 g Kieselgel	5,6 g H ₂ O pro 100 g Kieselgel.

Aus diesen Werten erhellt, daß das Kieselgel der Adsorptionsschicht bis zu Gleichgewichtsbeladung Wasser adsorbiert und das Kieselgel der Schutzschicht nur wenig Wasser aufnimmt, und beweist somit die Notwendigkeit der Schutz- bzw. Mindestschichthöhe und außerdem die Richtigkeit der rechnerisch und graphisch ermittelten Werte dieser Mindest-Schichthöhen.

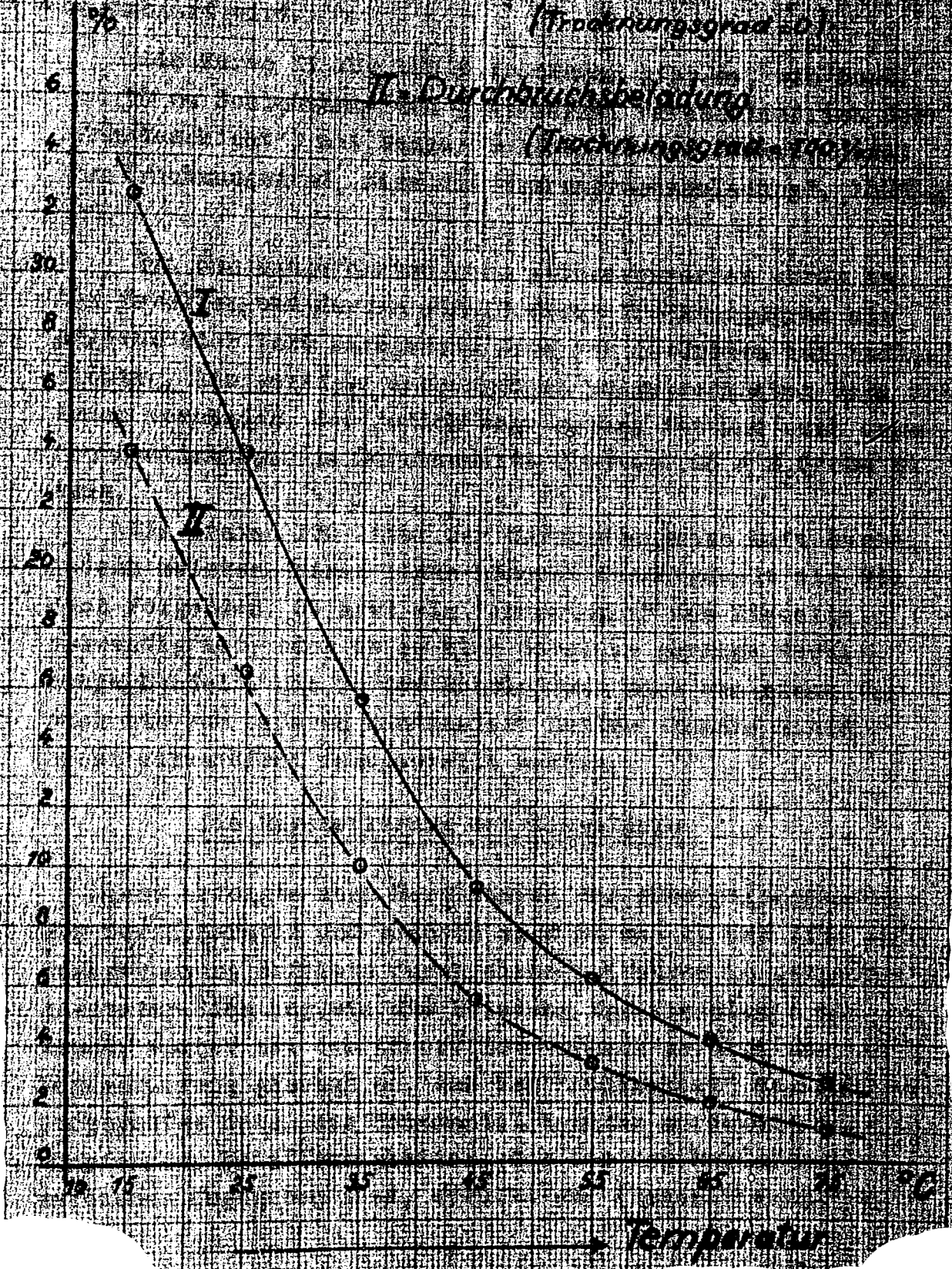
In der Skizze F ist noch kurvenmäßig die Beladungsmöglichkeit von 100 g Kieselgel mit Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Die Werte sind aus Skizze D entnommen. Aus dieser Kurve geht besonders anschaulich hervor, wie stark temperaturabhängig die Adsorptionsfähigkeit von Kieselgel ist.

Durchtritts- und Gleichgewichtsbeladung

I. Gleichgewichtsbeladung
(Trocknungsgrad 50)

II. Durchtrittsbeladung
(Trocknungsgrad 100%)

Wasseraufnahme des Kieselgels



Skizze F

Die Kurve I für 0 % Trocknung ist diejenige, bei der das gesamte Kieselgel bis zum Gleichgewicht beladen ist und aus der feuchten Luft kein Wasser mehr durch Kieselgel adsorbiert wird.

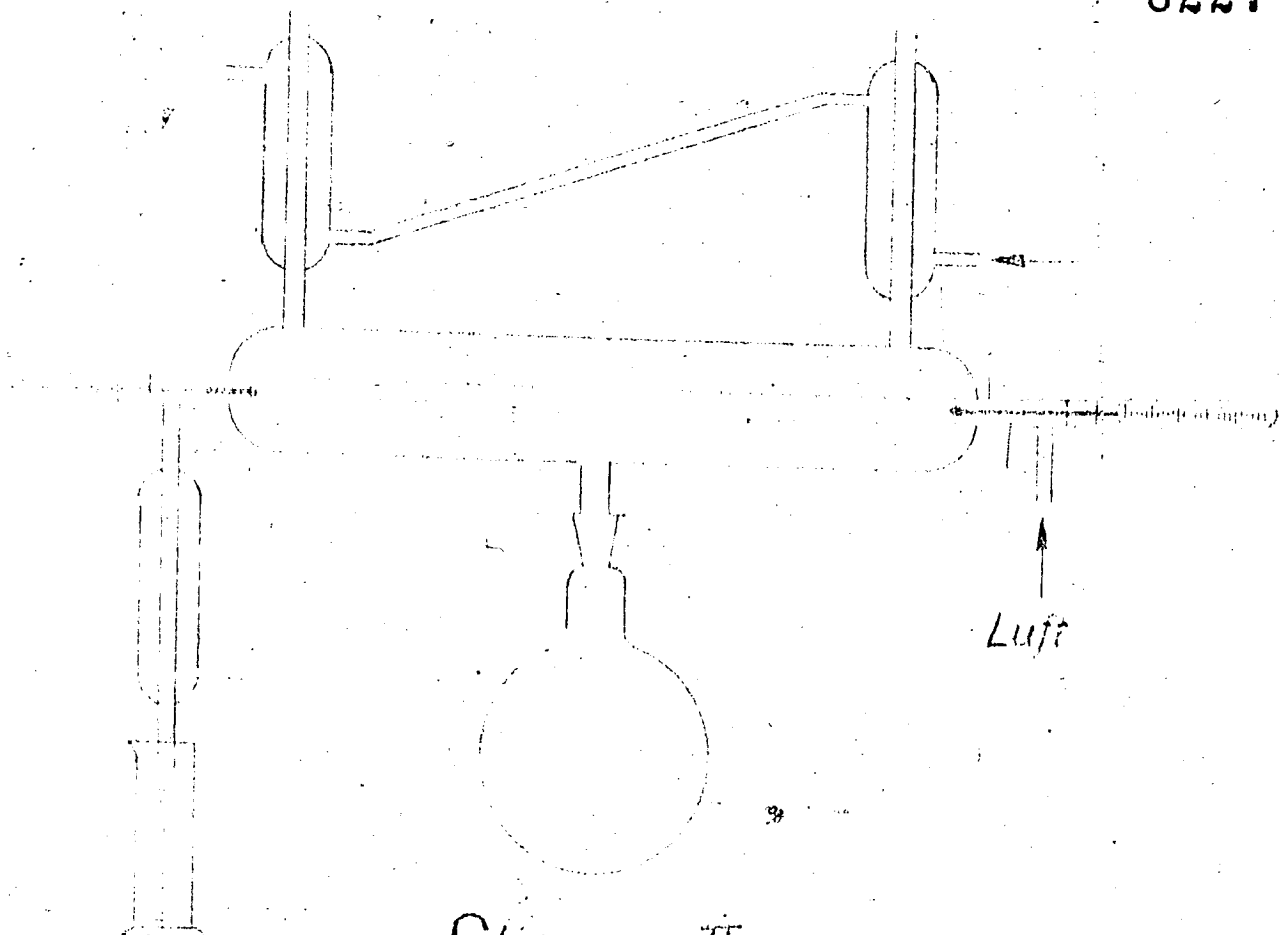
Die Kurve II für 100 % Trocknung gibt an, wie hoch bei 50 cm Schichthöhe 100 g Kieselgel (einschließlich der "Schutzschicht") mit Wasser beladen werden können, damit der Trocknungsgrad, also die "Durchbruchbeladung", 100%ig ist.

Bei den ausgeführten Adsorptionsversuchen wurde in den Tabellen und Kurven ein 100%iger Trocknungsgrad als abgerundeter Wert angegeben. Dies ist natürlich nur bedingt richtig. Ein geringer Wassergehalt im getrockneten Gase ist immer vorhanden, der jedoch sehr gering ist und nach unseren Bestimmungen im Durchschnitt 0,05 - 0,06 g H₂O/cbm betrug.

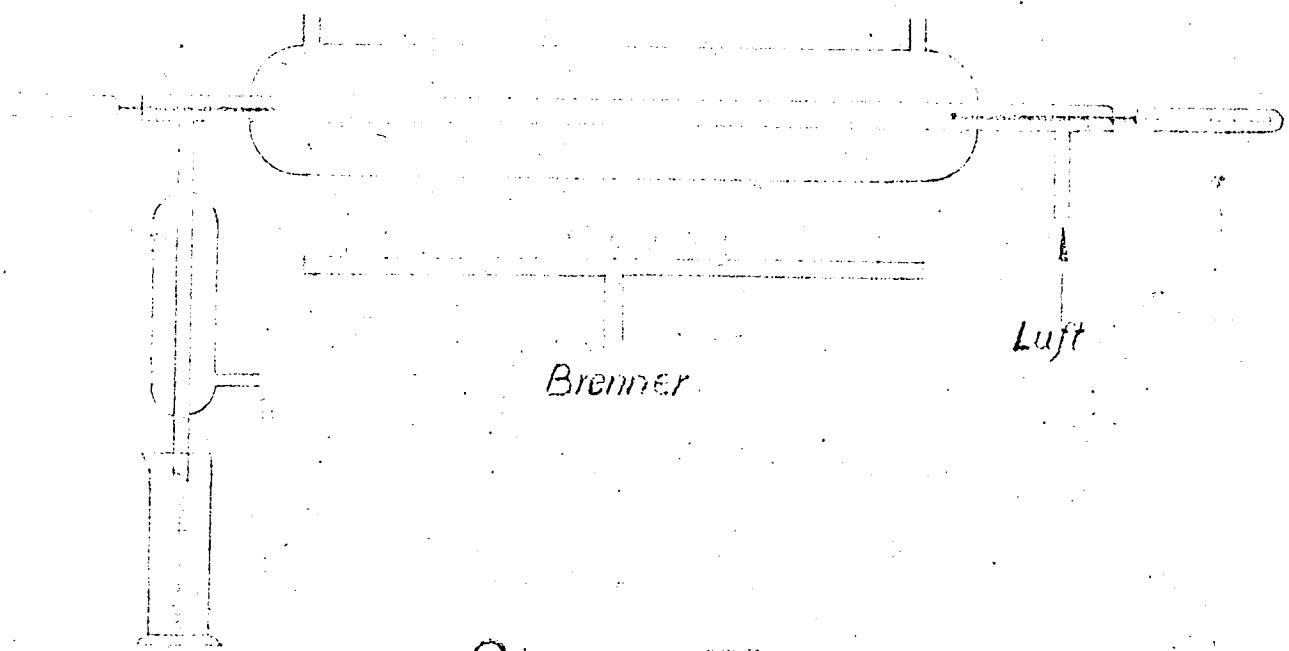
Die ersten 100 Liter der durchgegangenen Luft hatten jedoch meistens einen etwas höheren Wassergehalt als die dann folgenden. Ob erst ein "Anspringen" des Kieselgels notwendig ist, oder ob es sich dabei um geringe Wassermenge handelt, die in der Rohrleitung sich von einem Versuch bis zum anderen kondensiert hatten, konnte bisher nicht einwandfrei festgestellt werden.

Die Regenerierung des Kieselgels.

Diese erfolgte nach Herausnahme des Adsorptionsrohres E aus der Apparatur und geschah nach Skizze II und III. Die Regenerierung erfolgte durch einen Luftstrom in entgegengesetzter Richtung, wie die Beladung des Kieselgels mit Wasser vorher bei dem Adsorptionsversuch erfolgt war. Die Regenerierung geschah so, daß der "Kühlmantel" des Adsorptionsrohres dabei als Heizmantel benutzt wurde und mit den Dämpfen der Heizflüssigkeiten, die bei den Regenerierungsversuchen angegeben sind, erfüllt war (Regenerierung im



Skizze II



Skizze III

Thermostaten, Skizze II); oder aber das Adsorptionsrohr wurde durch Verbrennungsgase von Bunsenbrennern äußerlich soweit erwärmt, daß bei der Regenerierung durch die vorher auf die Regenerierungstemperatur erhitzte Luft die abstrahlende Wärme durch die zugeführte Wärme der Verbrennungsgase ersetzt wurde (Skizze III).

Anfangs wurde das Kieselgel unter Durchleiten von mit H_2SO_4 , Natronkalk und P_2O_5 getrockneter Luft bei 200° regeneriert. Die Regenerierung geschah - wie schon oben bemerkt in der umgekehrten Richtung, wie die Beladung erfolgt war.

Es wurde dann die Regenerierungstemperatur bis auf $100^\circ C$ herabgesetzt. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 15 zusammengestellt und in Skizze G graphisch dargestellt. Wie sich aus den Versuchen ergibt, kann das Kieselgel bei $100^\circ C$ regeneriert werden, und hatte auch die gleiche Adsorptionsfähigkeit, wie bei $200^\circ C$ regeneriertes Kieselgel. Da in der Praxis selten getrocknete Luft zur Regenerierung zur Verfügung steht, wurde statt dessen die Regenerierung noch mit bei $20^\circ C$ mit Wasser gesättigter Luft durchgeführt. Es wurden dabei die gleichen Ergebnisse erhalten wie mit trockener Luft.^{x)} Nur mußte das Kieselgel in vom der Luft abgeschlossenen Zustande erkalten. Durch "Kaltblasen" mit der feuchten Luft tritt natürlich eine "Vorbeladung" des Kieselgels mit Wasser ein, dessen Höhe beträchtlich ist, da nicht nur das Kieselgel gekühlt wird, sondern zusätzlich die Adsorptionswärme abgeführt werden muß, die schon auftritt, wenn das Kieselgel wenig unter $100^\circ C$ warm ist, denn es nimmt ja - wie aus Skizze F ersichtlich - schon wenige Grade unter 100° wieder Wasser auf.

x) Siehe Tabelle 16.

- 27 -

Tabelle 15.

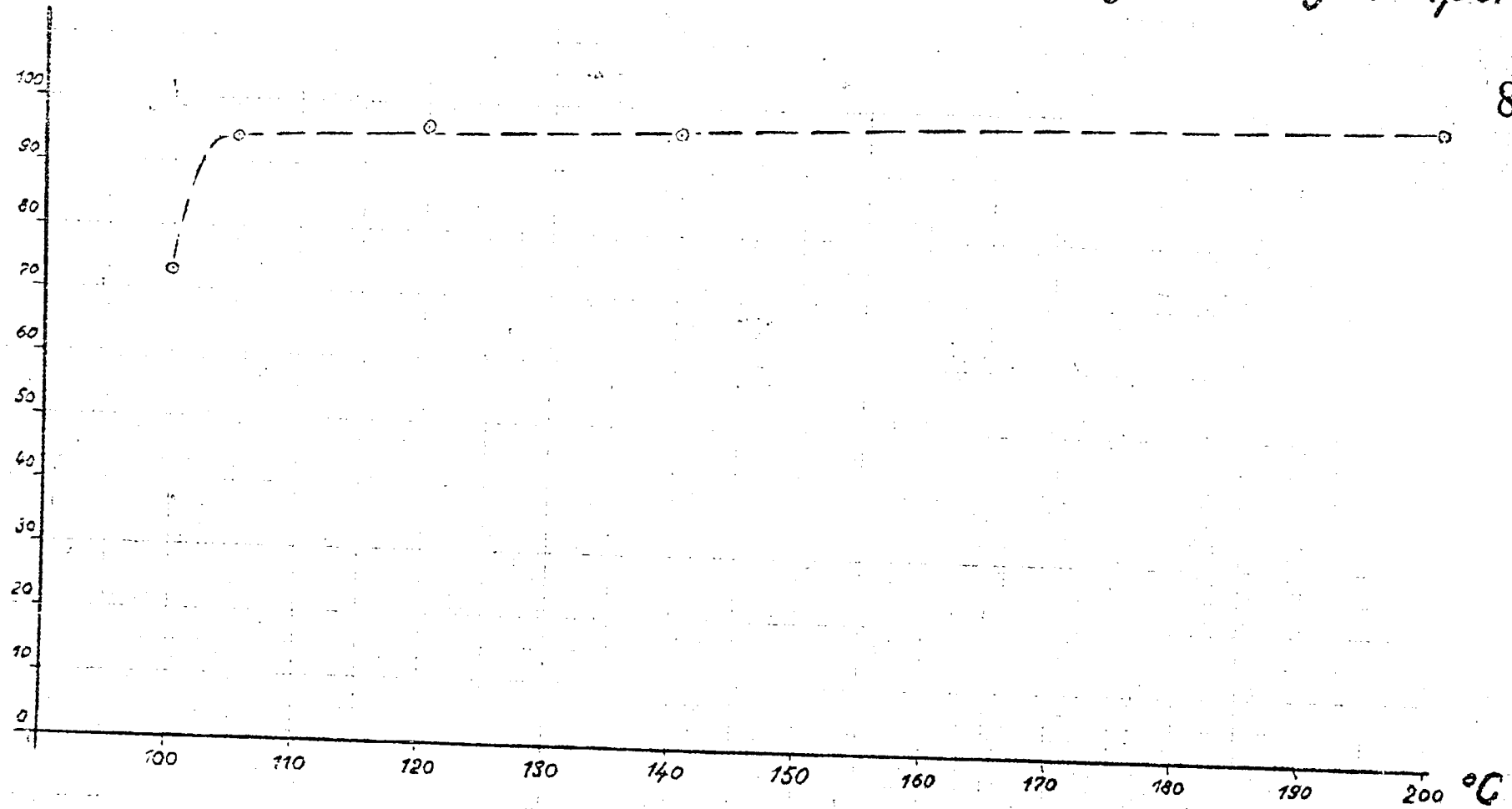
Regenerierung von 125 g Kieselgel der Adsorptions-
versuche durch getrocknete Luft, vorgewärmt auf
Regenerierungstemperatur.

Temperatur			Menge der Regene- rierungs- luft Ltr/Std.	Regenerierung			Nachregenerierung bei 200°C		
im Thermo- staten (Behei- zungsart) °C	der Ein- gangs- luft °C	der Aus- gangs- luft °C		Dauer Std.	Ausgetriebenes Kondenswasser		Dauer Std.	Ausgetriebenes Kondenswasser	
					in ccm	in % v. Gesamt- Wasser		in ccm	in % v. Gesamt- wasser
200° (Gas- heizung)	200°	190°	2	1	18,1	98,37	1,5	0,3	1,63
	200°	190°	2	1	17,0	98,84		0,2	1,16
	200°	190°	2	1	16,8	99,11		0,15	0,89
140° (Xylol- dampf)	140°	130°	2	1	16,7	95,43		0,8	4,57
	140°	130°	2	1	16,6	96,51		0,6	3,49
	140°	130°	2	1	10,0	96,15		0,4	3,85
	140°	130°	2	1	10,4	96,30		0,4	3,70
120° (Gas- heizung)	120°	110°	2	1	16,3	96,45		0,6	3,55
	120°	110°	2	1	17,1	96,07		0,7	3,93
105° (Toluol- dampf)	105°	100°	2	1	15,0	93,75		1,0	6,25
	105°	100°	2	1	15,3	94,44		0,9	5,56
100° (Wasser- dampf)	100°	100°	2	1	13,2	71,75		5,2	28,25
	100°	100°	2	1	14,1	74,20		4,9	25,80

Skizze G

% des wieder ausgetriebenen
adsorbierten Wassers

Abhängigkeit der in 1 Std. ausgetriebenen
Wassermenge von der Regenerierungs-Temperatur.



8230

Regenerierungs-Temperatur

Tabelle 16.

Regenerierung von 125 g Kieselgel der Adsorptions-
versuche mit feuchter Luft (13,8g/cbm), vorgewärmt
auf Regenerierungstemperatur.

Temperatur			Menge der Regene- rierungs- luft Ltr/Std.	Regenerierung			Nachregenerierung bei 200°C		
im Thermo- staten (Behei- zungsart) °C	der Ein- gangs- luft °C	der Aus- gangs- luft °C		Dauer Std.	Ausgetriebenes Kondenswasser		Dauer Std.	Ausgetriebenes Kondenswasser	
					in ccm	in % v. Gesamt- Wasser		in ccm	in % v. Gesamt- Wasser
200° (Gas- heizung)	200°	190°	2	1	18,0	98,90	1,5	0,2	1,10
	200°	190°	2	1	17,3	98,86	1,5	0,2	1,14
140° (Xylol- dampf)	140°	130°	2	1	37,4	94,68	1,5	2,6	6,32
	140°	130°	2	1	37,5	93,0	1,5	2,9	7,0
140° (Gas- heizung)	140°	120°	2	1	28,2	95,6	1,5	1,3	4,4
	140°	120°	2	1	28,2	96,25	1,5	1,1	3,75
	140°	120°	2	1	18,4	96,85	1,5	0,6	3,15
	140°	120°	2	1	18,5	96,35	1,5	0,7	3,65
140° (Gas- heizung)	140°	120°	2	2	11,3	100	1,5	0	0
	140°	120°	2	2	11,6	100	1,5	0	0
	140°	120°	2	2	8,4	100	1,5	0	0
	140°	120°	2	2	7,1	98,61	1,5	0,1	1,39
	140°	120°	2	2	4,6	100	1,5	0	0
	140°	120°	2	2	5,2	98,12	1,5	0,1	1,88
	140°	120°	2	2	3,5	100	1,5	0	0
	140°	120°	2	2	3,1	100	1,5	0	0

Das Kieselgel mit Luft regeneriert werden kann, die bei gewöhnlicher Temperatur ganz oder zum Teil mit Wasser gesättigt ist, geht auch aus der Kurve der Gleichgewichtsbeladung der Skizze F hervor. Die Kurve würde, bei Verlängerung bis zur Abszisse, diese ungefähr bei 95°C schneiden. Eine Regenerierung bei dieser Temperatur mit bei 16°C mit Wasser gesättigter Luft ($= 13,8 \text{ g H}_2\text{O/cbm}$) ist die untere Grenze, bei welcher das Kieselgel nach der Regenerierung noch die gleiche Adsorptionsfähigkeit hat, als wenn die Regenerierung bei höheren Temperaturen erfolgt wäre.

Eine Regenerierung des Kieselgels bei z.B. 75°C wäre - wie gleichfalls aus der Kurve der Gleichgewichtsbeladung hervorgeht - mit Luft mit einem Wassergehalt von $13,8 \text{ g H}_2\text{O/cbm}$ nur bis zur Gleichgewichtsbeladung - das sind bei 75°C $2,75 \text{ g H}_2\text{O/100 g Kieselgel}$ - möglich. Das Gel würde also mit $2,75 \text{ g H}_2\text{O}$ "vorbeladen" bleiben. Um festzustellen, ob dieses tatsächlich der Fall ist, wurde mit der 125 g Kieselgelfüllung des Adsorptionsrohres Luft mit $13,8 \text{ g H}_2\text{O}$ pro cbm bei 20°C bis zur Gleichgewichtsbeladung des Kieselgels getrocknet, und das Kieselgel danach bei 75°C im Thermostaten mit der gleichen Luft und einer Durchflußmenge von 225 Liter/Stunde $4\frac{1}{2}$ Stunden regeneriert. Das Kieselgel enthält dann nach Tabelle 14 $24 \text{ g H}_2\text{O/100 g Kieselgel}$; die 125 g Kieselgel des Versuchsrohres enthalten demnach 30 g Wasser.

Nach $4\frac{1}{2}$ -ständiger Regenerierung sind bei einer Durchflußmenge von $225 \text{ Litern/Stunde}$ ca. 1 cbm Trocknungsluft verwandt worden.

An Kondenswasser wurden erhalten:

$26,0 \text{ g H}_2\text{O}$.

Bei nunmehriger Steigerung der Temperatur auf ca. 140°C unter Verwendung von getrockneter Luft wurden noch erhalten:

$3,4 \text{ g H}_2\text{O}$.

$3,4 \text{ g H}_2\text{O/125 g Kieselgel}$ entsprechen $2,72 \text{ g H}_2\text{O}$, während nach Tabelle 14 das Kieselgel noch mit $2,75 \text{ g H}_2\text{O}$ vorbeladen sein dürfte.

Zusammenfassung.

- 1.) Es wurden die adiabatischen Adsorptionskurven für Luft mit $13,8 \text{ g H}_2\text{O/cbm}$ (= 80 % rel. Feuchtigkeit bei 20°C) bestimmt. Es ergab sich, daß das Kieselgel bei 20° Eingangstemperatur nur bis $9,5 \text{ g H}_2\text{O}/100 \text{ g Kieselgel}$ beladen werden kann. Die Änderung der Verweilzeiten hat auf die Höhe der Wasserbeladung fast keinen Einfluß.
- 2.) Es wurden die isothermen Adsorptionskurven für den Temperaturbereich von $15^\circ - 75^\circ \text{ C}$ bestimmt. Es stellte sich dabei heraus, daß auch bei 75°C das Kieselgel noch Wasserdampf adsorbiert.
- 3.) Es wurde festgestellt, daß die Adsorption stark temperaturabhängig ist.
- 4.) Kieselgel trocknet die Luft bis auf einen Wassergehalt von $0,05 - 0,06 \text{ g/cbm}$.
- 5.) Die Adsorption erfolgt zonenweise, bis zur Gleichgewichtsbeladung des Kieselgels der einzelnen Zonen. Es ist eine Mindestschichthöhe von Kieselgel erforderlich, welche außer von der Strömungsgeschwindigkeit noch von der Temperatur abhängig ist.
- 6.) Es wurden die Mindestschichthöhen bei $0,20 \text{ m/sec}$ Strömungsgeschwindigkeit für $15^\circ - 75^\circ \text{ C}$ berechnet und kurvenmäßig dargestellt.
- 7.) Es wurde festgestellt, daß die Regenerierung des Kieselgels bei Temperaturen bis zu 100°C und darunter erfolgen kann, ohne daß die Adsorptionsfähigkeit des Gels sich ändert. Die Regenerierung kann auch mit bei 16° mit Wasser gesättigter Luft, das entspricht $13,8 \text{ g H}_2\text{O/cbm}$, erfolgen, wenn das Gel nicht mit dieser feuchten Luft "kaltgeblasen" wird. Beim Regenerieren mit dieser feuchten Luft ist die untere Temperaturgrenze ca. 95°C .

