

Befindet sich in einem inhomogenen Magnetfeld ein Körper mit einer Suszeptibilität, die sich von derjenigen seiner Umgebung unterscheidet, so werden auf ihn *Maxwellsche* Druckkräfte ausgeübt, die ihn zu Stellen größerer oder kleinerer Kraftflußdichte zu bewegen suchen, je nachdem, ob seine Suszeptibilität größer oder kleiner als die seiner Umgebung ist. Diesen Kräften ist das durch den Heizdraht auf höhere Temperatur gebrachte Gasvolumen ausgesetzt, und es wird, da es diamagnetisch gegenüber der kälteren Umgebung ist, aus dem Felde herausgedrängt. Damit bildet sich ein kontinuierlicher Strömungsvorgang aus, der ständig kühleres Gas an den Heizdraht heranführt und ihn abkühlt.

Die Größe der Abkühlung ist von der Stärke der Strömung und damit von dem Gehalt des Gases an der paramagnetischen Komponente O_2 abhängig.

Zur Messung des Effektes legt man den Heizdraht in den einen Zweig einer *Wheatstoneschen* Brücke, in dessen anderem Zweig sich ein Vergleichsdraht befindet, der die gleichen Abmessungen hat wie der Meßdraht, sich im übrigen aber im feldfreien Raum befindet (Abb. 2).

Bei dieser Anordnung gibt das Meßinstrument die Temperaturänderung des Meßdrahtes an; die Ausschläge können direkt in Prozent Sauerstoff geeicht werden. Die beobachtete Temperaturänderung ist in der Richtung entgegengesetzt und dem Betrage nach wesentlich größer als beim *Senftleben-Effekt*. Es erschien daher aussichtsreich, ein Meßverfahren für O_2 in dieser Richtung zu entwickeln.

Bezüglich der Ausgestaltung der Meßbrücke sei noch erwähnt, daß bei der Speisung mit Gleichstrom eine starke Unsymmetrie durch die Überlagerung der Felder des Heizstromes und des Magneten und der dadurch bedingten Kraftwirkung auf den Meßdraht entsteht. Infolgedessen ist der Nullpunkt der Brücke nicht konstant. Um dies zu beseitigen, haben wir für die Heizung der Meßdrähte Wechselstrom so hoher Frequenz verwendet, daß jede mechanische Beanspruchung mit Sicherheit ausgeschlossen war. Als Magneten verwendeten wir einen *Oerstil*-Magneten der Deutschen Edelstahlwerke, welcher für den vorliegenden Zweck gesondert hergestellt wurde (Abb. 3). Die Feldstärke in seinem 2 mm breiten Luftspalt betrug etwa 7500 Oe. Die Pole des Magneten wurden

mit der Meßkammer gasdicht verbunden (Abb. 4). Die beiden Heizdrähte sind an Haltern befestigt, die in den Buchsen b, b justierbar angeordnet sind.

Eine erste Ausführung eines nach dem angegebenen Prinzip gebauten Gerätes gibt Abb. 5 wieder. Das Gerät ist mit Netzanschluß 220 V, 50 Perioden versehen. Die beiden Hähne H_1 und H_2 dienen der Gaszu- und -abfuhr. Der eine dieser Hähne ist derart mit einem Schalter gekoppelt, daß das Anzeigegerät erst angeschlossen wird, wenn der Hahn geschlossen ist. Diese Maßnahme soll verhindern, daß bei starker Strömungsgeschwindigkeit während des Durchströmens Schwankungen des Zeigerausschlages infolge ungleichmäßiger Abkühlung der Drähte auftreten. Es ist jedoch auch möglich, mit strömendem Gas, das durch eine Pumpe gefördert wird, zu arbeiten, wenn die Strömungsgeschwindigkeit auf einen bestimmten unteren Wert begrenzt wird.

Tabelle.

Gas	Temperatur $^{\circ}\text{C}$	$K \cdot 10^{-5}$
O_2	16	+0,145
N_2	16	+0,001
NO	16	+0,05
Luft	16	+0,03
H_2	16	-0,0001
A	0	-0,001
Cl_2	15	-0,007
He	0	-0,0008
CO_2	16	+0,017
C_2H_6	16	+0,008
CH_4	16	+0,001
Ne	15	-0,0003

Die Analysengenauigkeit kann — nach den ersten Versuchen — fast allen praktischen Anforderungen angepaßt werden. So ist es z. B. möglich, den Bereich von 0—100% O_2 auf der gesamten Instrumentsskala unterzubringen mit einer Genauigkeit von $\sim 1\%$ O_2 oder ferner einen bestimmten kleineren Bereich mit größerer Genauigkeit zu erfassen, z. B. das Intervall 0—20% O_2 mit einer Genauigkeit von $\sim 0,2\%$.

Herrn Dr. habil. N. Riehl, Direktor der Wissenschaftlichen Hauptstelle der Auergesellschaft, danken wir für das fördernde Interesse, das er der Durchführung der Arbeit entgegengebracht hat.

Eingeg. 28. Juli 1941. [A. 62.]

Die Entkieselung von Wasser mit Verbindungen der Erdalkalien¹⁾

Von Dr. WILLI UFER, Leverkusen

Als man in den letzten Jahren im Dampfturbinenbetrieb auf Drucke von über 60 atü ging, störten bald Ablagerungen von Silicaten auf den Turbinenschaufeln. Man beschreitet, um diese Übelstände zu vermeiden, vornehmlich zwei Wege: 1. Man arbeitet mit Kondensat, das man in Umläufen gewinnt, oder 2. man entfernt mit den anderen Salzen auch die Kieselsäure.

Dafür erwiesen sich Magnesiumoxyd, auch andere Metalloxyde bzw. -hydroxyde, a's geeignet. Nach *Berl* u. *Staudinger*²⁾ schien Calciumhydroxyd eine Ausnahme zu bilden. Bei einem Molverhältnis 2:1 (Kalk:Kieselsäure) gelang es ihnen, die Kieselsäure bis auf 17,5 mg/l zu vermindern. Gleichzeitige Anwesenheit von Chloriden und Sulfaten sollte stören. Nach einer unveröffentlichten Arbeit von *Seyb* kommt man bis auf 2 mg/l SiO_2 herunter, wenn man das Molverhältnis $CaO:SiO_2$ erhöht. Jedoch reicht auch dieser Wert nicht für einen störungsfreien Betrieb aus.

Es wurde nun erneut geprüft, ob nicht doch die Entkieselung mit Kalk zu besseren Ergebnissen führen kann. Gleichzeitig wurden andere Erdalkaliverbindungen untersucht.

Unsere Untersuchungen erstreckten sich mit wenigen Ausnahmen auf ein der Praxis entsprechendes Wasser (Tab. 1).

Tabelle 1. Zusammensetzung des Versuchswassers.

$CaSO_4$	70—95 mg/l
$CaCO_3$	110—120 mg/l
$MgCO_3$	25—40 mg/l
$MgCl_2$	10—25 mg/l
$NaCl$	120—150 mg/l
$NaNO_3$	5—12 mg/l
SiO_2	7—8 mg/l
Deutsche Härtegrade:	
Carbonathärte	8—9°
Sulfathärte	2,8—4°
Chloridhärte	0,5—1,5°
Gesamthärte	12—13,6°

¹⁾ Die Arbeit wurde in erweiterter Form als Dissertation der T. H. Charlottenburg vorgelegt und am 10. März 1941 genehmigt.

²⁾ „Über die Entkieselung von kieselsäurehaltigen Wässern“, diese Ztschr. **40**, 1813 [1927].

Gelegentlich wurden auch andere Wässer (permutiertes und besonders verunreinigtes Wasser) untersucht.

Da bekanntlich durch den Angriff des Wassers auf Glas Kieselsäure in die Lösung gelangen kann³⁾, wurden Glasgefäße nach Möglichkeit durch solche aus Eisen, V₂A-Stahl oder Kunststoffe ersetzt und mit SiO_2 -freiem Wasser gespült, mit dem auch die Analysenproben verdünnt wurden.

Die Kieselsäure wurde absolutcolorimetrisch nach *Zimmermann*⁴⁾ bestimmt. Gelegentlich vorhandene kolloide Kieselsäure wurde durch Kochen mit Bicarbonat „aufgeschlossen“.

Entkieselungsversuche mit Verbindungen der Erdalkalien.

Hydroxyde: Der Entkieselungsvorgang läßt sich in 3 Stufen einteilen:

1. Stufe: Zusatz des löslichen Entkieselungsmittels.
2. Stufe: Entfernung der gebildeten Silicate und des festen Entkieselungsmittels.
3. Stufe: Ausfällen des überschüssigen, gelösten Entkieselungsmittels (meistens mit CO_2) und Beseitigung der Niederschläge.

Barium- und Strontiumhydroxyd sind leichter löslich als Calciumhydroxyd. Die zugesetzten Mengen blieben innerhalb der Löslichkeitsgrenze. Mit beiden Hydroxyden kann entkiesel werden, und zwar mit $Ba(OH)_2$ bis auf 1,5 mg/l und mit $Sr(OH)_2$ bis auf 0,96 mg/l, wenn man $1/4$ der Sättigungs menge an Hydroxyd anwendet.

Wir entkieselten in erster Linie mit Kalk, der allein — außer MgO — für die praktische Verwendung billig genug ist. Auch bestand Aussicht, die Kalkentkieselung mit der üblichen Kalk-Soda-Aufbereitung des Kesselspeisewassers zu

³⁾ F. Foerster, Nachruf auf Franz Mylius, Ber. dtsch. chem. Ges. **64**, 167 [1931].

⁴⁾ Zimmermann, erscheint demnächst in dieser Ztschr.

verknüpfen. Zum Entfernen des gelösten Kalkes konnte die Kohlensäure im Rauchgas vorgesehen werden. Tab. 2 gibt die Versuchsergebnisse bei 100° und 30° wieder.

Tabelle 2.
Entkieselung von Rohwasser mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bei 100° und 30°.
Zahlen geben mg/l SiO_2 an.

Zusatzmenge CaO mg/l	Einwirkungszeit des Kalkes							
	5 min		10 min		20 min		40 min	
	100°	30°	100°	30°	100°	30°	100°	30°
150	1,6 ₀	n. b.	1,2 ₀	n. b.	1,0 ₀	n. b.	0,6 ₀	n. b.
300	1,0 ₀	n. b.	1,0 ₈	n. b.	0,5 ₀	n. b.	0,6 ₀	n. b.
600	1,0 ₈	n. b.	1,2 ₄	n. b.	1,1 ₀	n. b.	0,8 ₁	n. b.
1200	0,7 ₇	n. b.	0,7 ₂	0,7 ₂	0,6 ₀	n. b.	0,6 ₈	n. b.
2400	0,4 ₂	0,4 ₂	0,3 ₂	0,4 ₂	0,3 ₈	0,4 ₇	0,4 ₀	0,3 ₉
4800	0,2 ₈	0,2 ₈	0,3 ₀	0,2 ₉	0,3 ₂	0,2 ₀	0,3 ₆	0,2 ₉
9600	n. b.	0,3 ₂	n. b.	0,1 ₆	n. b.	0,1 ₄	n. b.	0,1 ₆

Die Versuche bei 100° wurden in einem Eisengefäß mit Rückflußkühler ausgeführt. Vor dem Kalkzusatz wurde die Carbonathärte durch einstündiges Kochen weitgehend entfernt. Vor dem Ausfällen des gelösten Kalkes wurden die Proben filtriert. Aus später dargelegten Gründen wurde CO_2 nur bis zur eben verbleibenden Phenolphthaleinrötung eingeleitet.

Tab. 2 zeigt, daß die Entkieselung bei kleiner Zugabe (unterhalb der Löslichkeit) bei 100° von der Zeit abhängt, jedoch nicht, wenn festes Hydroxyd vorhanden ist. Ein Zusatz von 4800 mg/l bei 30° bewirkt einen Gehalt von 0,2₀ mg/l SiO_2 , der vollkommen den Betriebsanforderungen genügt.

Dieses günstige Ergebnis wird auch dann erhalten, wenn Wasser doppelt soviel Neutralsalze enthält. Die Beobachtung von *Berl u. Staudinger*²⁾, daß Neutralsalze (NaCl und CaSO_4) die Kalkentkieselung ungünstig beeinflussen, trifft also für holie Kalkzusätze nicht zu. Gleich gute Ergebnisse lieferte ein sehr schmutziges Betriebswasser (Gesamthärte 17—18° dH), das noch organische Substanzen enthielt.

Versuche bei verschiedenen Temperaturen.

Die Temperatur ist bei einem Überschuß an festem Kalk weitgehend ohne Einfluß. Geht man aber mit dem Kalkzusatz nicht allzu hoch über die Löslichkeitsmenge hinaus (1,3 g/l) und steigert dann allmählich die Temperatur, so wird die Entkieselung verbessert (Tab. 3), weil die Löslichkeit von Kalk mit steigender Temperatur sinkt und dadurch fester Kalk ausgeschieden wird, der dann SiO_2 adsorbiert.

Tabelle 3.
Entkieselung von Rohwasser bei allmählich steigender Temperatur.

Zusatzmenge mg/l CaO	Temperatur der Probenahme	Aufheizzeit min	SiO_2 -Gehalt mg/l
1. { 1300	15	40	0,6 ₈
	30	10	0,7 ₆
	60	15	0,5 ₂
	90	15	0,4 ₇
2. { 1300	30	10	0,7 ₂
	60	15	0,4 ₄
	90	15	0,3 ₆

Versuche mit Kalken verschiedener Herkunft.

Nicht jede Kalkart entkieselst gleich gut. Teilchengrößenbestimmungen nach dem Schlämmanverfahren⁵⁾ beweisen, daß die Wirksamkeit von physikalisch-chemischen Eigenschaften (Oberfläche, Korngröße) abhängt (Tab. 4).

Tabelle 4.
Feinheit verschiedener Kalkarten.

Teilchengröße in μ	Kalk aus Spat %	Weißkalk Dornap %	Kalk aus Marmor p. A. Merck %
<5	1,7	7,7	0,3
5—10	14,8	7,8	2,8
10—20	36,7	0,1	3,6
20—30	11,6	0,8	0,9
30—40	1,5	1,4	0,3
40—50	1,4	1,0	0,4
50—60	3,3	0,7	0,2
>60	29,0	80,4	91,5

Der Kalk aus Spat, der vorwiegend verwendet wurde, da er am wirksamsten war, hat laut Tab. 4 eine weit größere Oberfläche als z. B. der Kalk aus Marmor von *Merck*, bei dem über 90% der Teilchen > 60 μ sind.

⁵⁾ H. Gräßer: Die Schlämmanalyse, Leipzig 1931.

Filterversuche.

Um das Wasser gut zu entkieseln, muß man es also mit einer genügend großen Kalkoberfläche in Berührung bringen. Deshalb wurde die Verwendbarkeit von Filtern geprüft. Aktivkohle und andere poröse Stoffe wurden mit Kalkmilch oder Kalkwasser getränkt, dann in Filterrohre gefüllt, durch die das vorher kalkgesättigte, zu entkieselnde Wasser geleitet wurde. Es trat eine weitere Entkieselung ein, allerdings wurde viel Kalk mit fortgespült. Die erschöpften Filter konnten mit NaOH und Kalkmilch regeneriert werden. Mit Kalkwasser gesättigte Aktivkohle war wirkungslos.

Der Zusatz von Flockungsmitteln. Nachentkieselung.

Da das aus den Filtern ablaufende Wasser meistens nicht klar war, dies aber wegen der Rückzersetzung von Silicaten bei der Kohlensäurefällung unbedingt erforderlich ist, wurden dem Wasser Flockungsmittel, wie Aluminium- und Eisensalze, zugesetzt. Sie sollten darüber hinaus nachentkieselnd wirken. Wenn auch die Klärung des Wassers nur unvollkommen war, so zeigt Tab. 5 doch deutlich den Erfolg.

Tabelle 5. Nachbehandlung von vorgekalktem Wasser bei 20° mit Fe-, Al- und Mg-Salzen.

Ohne Nachbehandlung	0,4 ₂ mg/l SiO_2
+ 5 mg/l FeCl_3 + 5 mg/l AlCl_3	0,2 ₆ mg/l SiO_2
+ 20 mg/l FeCl_3 + 20 mg/l AlCl_3	0,1 ₄ mg/l SiO_2
+ 5 mg/l MgCl_2 + 5 mg/l AlCl_3	0,3 ₄ mg/l SiO_2
+ 10 mg/l FeCl_3 + 50 mg/l MgO	0,2 ₂ mg/l SiO_2
+ 10 mg/l FeCl_3 + 100 mg/l MgO	0,2 ₀ mg/l SiO_2
+ 10 mg/l FeCl_3 + 250 mg/l MgO	0,2 ₀ mg/l SiO_2

Der Vorgang der Entkieselung an der Oberfläche des Kalkschlamms.

Wendet man 1,3 g/l CaO an, so erhält man stets einen Kieselsäurewert von 0,7₀ mg/l, unabhängig von dem Anfangsgehalt; demnach stellt dieser Wert die Sättigungskonzentration der Kieselsäure in Kalkwasser dar. Fügt man nun festes $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hinzu, so wird der SiO_2 -Gehalt vermindert, da SiO_3 -Ionen oder Silicatmoleküle an der festen Kalkphase adsorbiert werden. Man kann annehmen, daß die Adsorption durch restvalenzchemische Bindung an der Oberfläche des festen Kalkes stattfindet. Dann müßten an der Oberfläche größtenteils so viel $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Moleküle vorhanden sein, wie SiO_2 -Teilchen in der Lösung verblieben sind. Daß dies tatsächlich der Fall ist, wurde durch Berechnung nachgewiesen. Aus dem Ergebnis der Schlämmanalyse (Tab. 4) wurden, wobei kugelförmige Gestalt der Teilchen angenommen wird, aus dem Durchmesser das Volumen und die Oberfläche berechnet. Aus der prozentualen Verteilung der Teilchengrößengruppe und dem spez. Gewicht von Kalk (2,24) konnte die Teilchenzahl je Gruppe ermittelt werden. Damit war die Oberfläche jeder Gruppe und somit auch die Gesamtobерfläche des festen Kalkes bekannt. Sie betrug für 100 g Kalk $16,1 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$. Nimmt man ferner für die Gestalt des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Moleküls im Kristall einen Würfel an, so läßt sich seine Kante aus dem Molvolumen und der *Avogadroschen* Zahl berechnen. Sie beträgt $3,79 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$. Die Gesamtzahl der die Oberfläche des festen Kalkes bildenden Moleküle ist dann

$$\text{Oberfläche} = 16 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Quadrat d. Kantenlänge} = (3,79 \cdot 10^{-8})^2 = 1,12 \cdot 10^{20}$$

Bei den folgenden Versuchen wurde kalkgesättigtes Wasser mit 1,45 g/l und mit 6,34 g/l festem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ entkieselst. Das Wasser enthielt 0,7₀ mg/l SiO_2 , entsprechend $7 \cdot 10^{-18} \text{ SiO}_3$ -Ionen. Diesen stehen die Oberflächenmoleküle des festen Kalkes zur Verfügung. Es ergeben sich dann folgende Molekülverhältnisse (Tab. 6):

Tabelle 6. Oberflächenmoleküle in 100 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = $1,12 \cdot 10^{20}$.

festes $\text{Ca}(\text{OH})_2$ g/l	Oberflächen- moleküle $\text{Ca}(\text{OH})_2$	SiO_3 - Ionen	$\text{Ca}(\text{OH})_2 : \text{SiO}_3$ - Ionen
1,45	$1,63 \cdot 10^{18}$	$7,00 \cdot 10^{18}$	1:4,3
6,34	$7,10 \cdot 10^{18}$	$7,00 \cdot 10^{18}$	1:1

Wenn auch diese Rechnung infolge der vereinfachenden Annahmen nur Näherungswerte liefert, so beweist sie doch, daß genügend Restvalenzen vorhanden sind, um die Kieselsäure zu binden. Die Adsorption müßte demnach dem *Freundlichischen* Adsorptionsgesetz⁶⁾ gehorchen. Mit einwand-

⁶⁾ H. Freundlich: Kapillarchemie, Leipzig 1930. 4. Aufl., Bd. 1, S. 244.

frei reinen Chemikalien wurden die Kurven der Abb. 1 erhalten.

$$a = \alpha \cdot c^{1/n}$$

Kurve 1 (Adsorptionsversuche mit 1,45 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$) ist eine Gerade, folgt also dem Gesetz. Dies trifft aber für Kurve 2 (6,34 g/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$) nicht mehr zu, da sich die Gleichgewichtskonzentration der Lösung unabhängig vom Anfangsgehalt auf 0,2 mg/l einstellt. Die Adsorptionsisotherme gilt also nicht mehr für höhere Zusätze an $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

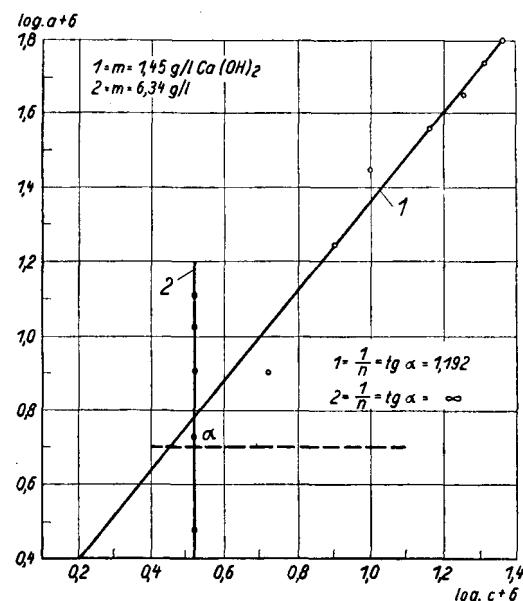


Abb. 1. Adsorptionsisotherme nach *Freundlich* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — SiO_2 .

Entkieselung im halbtechnischen Maßstab.

Wegen des hohen Kalkbedarfs wurde bei der technischen Durchführung an eine Entkieselung im Dauerverfahren gedacht, bei dem der Kalkschlammlum ständig umgewälzt und damit besser ausgenutzt wird. Die Versuche wurden in einer

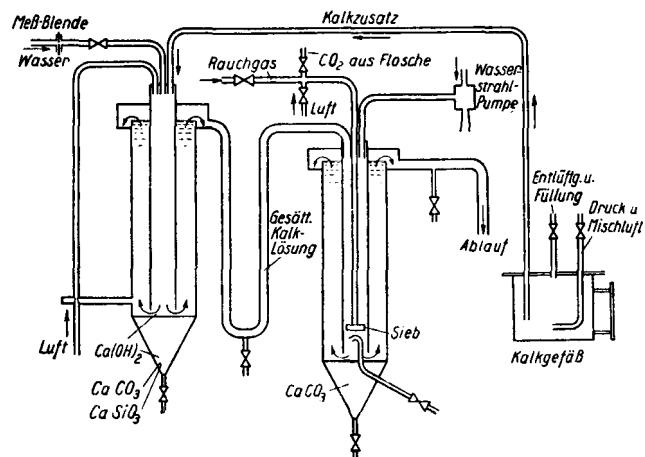


Abb. 2. Schema der Anlage zur Entkieselung im halbtechnischen Maßstab.

Apparatur durchgeführt, die in Abb. 2 schematisch dargestellt ist. Der Wasserdurchsatz betrug 200 l/h.

Tabelle 7.
Entkieselung mit Kalk im halbtechnischen Dauerverfahren.

laufende CaO -Zugabe mg/l	Restkieselsäure mg/l
1100	1,8
2200	1,1
3006	1,2
5000	0,3

Die Ergebnisse (Tab. 7) waren nur bei sehr hohen Zusätzen gut. Dies lag in erster Linie am schlechten Absitzen der Kalk- und Silicateilchen, die bei der nachfolgenden CO_2 -Behandlung teilweise rückersetzt wurden. Ähnlich verliefen

^{7) a = Adsorbierte Menge, c = Gleichgewichtskonzentration, α und n sind Konstanten.}

Standversuche im halbtechnischen Maßstab. Nur bei Zugaben von 5000 mg/l CaO konnte ein SiO_2 -Gehalt von 0,2₀ mg/l erreicht werden, während er bei 2000 mg/l noch 0,3₆ betrug.

Die Bedeutung der CO_2 -Fällung.

Das vom überschüssigen Kalk abfiltrierte kalkhaltige Wasser enthielt mehr SiO_2 als das, dessen Kalk durch Kohlensäure entfernt wurde. So betrug bei einem Versuch der SiO_2 -Gehalt vor der Fällung 1,0 mg/l und nach der Fällung nur 0,5 mg/l. Die Vermutung, daß das ausfallende, voluminöse CaCO_3 weitere Kieselsäure adsorbiert, konnte zwar durch Fällungsversuche mit *Merckschem* Calciumcarbonat nicht erbracht werden, jedoch muß aus eingehenden Versuchen geschlossen werden, daß das ausfallende Carbonat feinere Silicateilchen, die anfangs zum Teil als Kolloide vorliegen und deshalb durch das Filter gehen, aus der Lösung entfernen kann. Dabei ist es für die Entkieselung gleichgültig, ob es sich hierbei um Adsorption im engeren Sinne oder um mechanisches Mitreißen durch Umhüllung handelt.

Die Entkieselung ist grundsätzlich unabhängig von der Art, wie man den Kalk aus der Lösung entfernt. Die Verwendung von oxalsaurem Ammonium statt Kohlensäure z. B. brachte gleiche Restkieselsäurewerte.

Mit CO_2 darf nur bis zur schwach verbleibenden Phenolphthaleinrötung behandelt werden, anderenfalls werden die Calciumsilicate wieder zersetzt, da Kohlensäure eine stärkere Säure als Kieselsäure ist⁸⁾. Dies zeigt sich besonders, wenn man vor der CO_2 -Fällung die festen Verbindungen nicht durch Filtration entfernt. Hier liegt der Grund für die ungünstige Entkieselung im halbtechnischen Maßstab, wo nicht filtriert werden konnte.

Carbonate und Sulfate.

Calcium- und Bariumcarbonat entkieselten fast gar nicht, Strontiumcarbonat nur sehr unvollkommen, Calciumsulfat nur dann inerktbar, wenn man den p_H -Wert durch Zugabe von NaOH bedeutend erhöhte, Magnesiumsulfat gar nicht.

Zusammenfassung.

Die Entkieselung von Wasser mit den Hydroxyden der Erdalkalien, insbesondere des Calciums, läßt sich in 3 Vorgänge unterteilen:

1. In der homogenen flüssigen Phase Bildung von schwerlöslichen Calciumsilikaten, deren Löslichkeit laut Massenwirkungsgesetz durch gleichionigen Zusatz stark herabgesetzt werden kann,
2. Adsorption an oder Reaktion mit dem festen Hydroxyd und
3. Niederschlagen von feinem oder kolloidal gelöstem Silicat der Erdalkalien.

Für den praktischen Gebrauch kommt nur Kalk in Frage. Man erreicht durch genügend große Zusätze eine Entkieselung bis auf 0,2₀ mg/l SiO_2 . Dieser Wert konnte durch Erhöhung des Zusatzes nicht unterschritten werden. Die Temperatur hat nur dann Einfluß, wenn man mit dem Zusatz in der Nähe der Löslichkeitsgrenze bleibt. Neutralsalze beeinflussen die Entkieselung nicht. Die Schwierigkeiten bei der technischen Ausführung mit den in der Wasserreinigungstechnik gebräuchlichen Apparaten beruhen hauptsächlich auf dem schlechten Absitzen der festen Verbindungen. Andere Salze der Erdalkalien wirkten nur unvollkommen.

Die vorliegende Arbeit wurde auf Veranlassung von Herrn Obering. H. Tietz von der I. G. Farbenindustrie, Leverkusen, durchgeführt, der mich gemeinsam mit Herrn Dr. Werner, ebenda, durch seine Erfahrung und seinen Rat unterstützte. Fr. cand. chem. Rehe führte einen Teil der Versuche, insbesondere während ich im Felde war, durch. Die Direktion der I. G. Farbenindustrie, Leverkusen, gestattete mir, die vorliegende Arbeit zur Dissertation zu benutzen. Allen sage ich auch hier meinen aufrichtigen Dank.

In besondere möchte ich den Herren Dr. A. Splittergerber, Vereinigung der Großkesselbesitzer, und Dr. H. Helberger, Technische Hochschule Berlin, für ihre Mühlwaltung als Berichter und Mitberichter herzlich danken.

Eingeg. 1. September 1941. [A. 75.]

⁸⁾ A. Splittergerber: Die Kieselsäure und ihre Bedeutung im Hochdruckkesselbetrieb. Vortrag, gehalten auf der 29. Hauptvers. d. Vereinig. d. Großkesselbesitzer E. V. am 8. Juni 1930 in Salzburg.