

Beitrag zur Kenntnis der Tonerdehydratabscheidung nach Bayer*

E. Herrmann**

Institut für Leichtmetalle, Zagreb, Kroatien

Eingegangen am 26. September 1952

Es wird der Lösungsvorgang von Hydrargillit in 4n-NaOH-Lösung kinetisch bei verschiedenen Temperaturen verfolgt. Bekanntlich ist für die meisten Lösungsvorgänge die Diffusion der geschwindigkeitsbestimmende Faktor, was unter der Voraussetzung gilt, wenn die eigentliche Lösungsreaktion an der Grenzfläche mit unendlicher Geschwindigkeit erfolgt. Beim Lösungsvorgang von Hydrargillit in NaOH-Lösung ist diese Voraussetzung nicht erfüllt. Der Vorgang wird rechnerisch behandelt und gezeigt, daß an der Phasengrenzfläche keine Sättigung herrscht. Man findet eine Konzentration γ (kleiner als die Sättigungskonzentration), die aber im Hinblick auf die Geschwindigkeit des Vorgangs verhältnismäßig groß ist. Die Ursachen der Verzögerung beim Ablauf der Lösungsreaktion werden diskutiert.

EINFÜHRUNG

Bei der industriellen Herstellung von kristallisiertem Aluminiumhydroxyd durch Ausfällung aus Natriumaluminatlösungen ist man bekanntlich gezwungen, die Abscheidung durch »Impfen« zu beschleunigen. In früheren Arbeiten wurde gezeigt, daß sich der Vorgang der Abscheidung von $\text{Al}(\text{OH})_3$ in der Hauptsache als Keimbildungsproblem auffassen läßt.¹ Es gehört nämlich zu den bemerkenswertesten Eigenschaften von Natriumaluminatlösungen, daß sie trotz verhältnismäßig starker Überschreitung der Löslichkeitsgleichgewichte unter Umständen einige Wochen lang haltbar sind und nur in sehr geringem Maße dazu neigen, spontan kristallisiertes $\text{Al}(\text{OH})_3$ auszuscheiden. Dieses Verhalten verdient besonders im Zusammenhang mit der Beschreibung der Natur solcher Lösungen hervorgehoben zu werden, da es bekanntlich nur unter Einhaltung besonderer Vorsichtsmaßnahmen gelingt bei gut löslichen Salzen stärker übersättigte Lösungen präparativ herzustellen.² Für den Vorgang der Ausscheidung von kristallisiertem $\text{Al}(\text{OH})_3$ ist es wesentlich die Keimbildung durch Zusatz von bereits ausgeschiedenem $\text{Al}(\text{OH})_3$ zu erzwingen. Eine solche Maßnahme begünstigt die Keimbildung und es entsteht die Frage, in welcher Weise die eingebrachten Impfkristalle die Ausscheidung einleiten und beschleunigen. Es zeigt sich nämlich, daß der sogenannten »Impfwirkung« recht komplizierte Vorgänge zugrunde liegen.³ Die Geschwindigkeit des Vorgangs

* Vortragen auf der Zusammenkunft der jugoslawischen Chemiker und dem Ersten Kroatischen Kongress für reine und angewandte Chemie, Zagreb, Oktober 1952.

** Bei den Experimenten hat stud. chem. Zarko Stojanac mitgewirkt.

wird von der Vorgeschichte und der Korngröße des Impfstoffes entscheidend beeinflusst. Die Kristalle des Impfstoffes wirken nicht selbst als Keime, sondern nur von ihnen losgelöste Splitter. Feindisperse Teilchen von $\text{Al}(\text{OH})_3$ sind in besonderem Maße geeignet eine große Zahl von Keimen abzuspalten. Für dieses Verhalten gibt es zahlreiche Beweise und besonders Erfahrungen aus der industriellen Praxis. Bei der technischen Herstellung von Tonerde nach Bayer besteht nämlich die Forderung ein gut filtrierbares Präparat zu erhalten, was bedeutet, daß auf ein möglichst grobkörniges Produkt hingearbeitet werden muß.

Es konnte gezeigt werden, daß als Keime nur sehr kleine Teilchen von amorphen oder schwach kristallisiertem $\text{Al}(\text{OH})_3$ wirksam sind, die sich nach dem Einbringen des Impfstoffes von den Kristalloberflächen ablösen und in der Lösung bis zu einer bestimmten Größe wachsen. Dieser Befund wurde auf anderem Wege durch mikrokolorimetrische Messungen von Calvet, Boivinot, Thibon und Maillard bestätigt.⁴

Man findet jedoch, daß auch die durch Impfstoff katalysierte Reaktion, besonders wenn man das hohe Maß der Unterkühlbarkeit von Aluminatlösungen in Betracht zieht und ein gut filtrierbares Präparat zu erhalten wünscht, verhältnismäßig langsam abläuft. Über die Gründe dieser geringen Ausscheidungsgeschwindigkeit ist bisher wenig bekannt. Zwar ist es vor kurzem Wrigge und Ginsberg⁵ gelungen die Ausscheidungsgeschwindigkeit, ohne daß feinkörnige Teilchen zu befürchten sind, in der Weise zu erhöhen, daß man die Lösung mit extrem hohen Mengen (450—1000%) Aluminiumhydroxyd, welches bei der Produktion nach Bayer anfällt, impft. Durch die Zugabe solcher großer Mengen Impfstoff verändern sich natürlich wesentlich die Reaktionsbedingungen in der Lösung. Die Neubildung von Teilchen tritt in den Hintergrund und der Ausscheidungsvorgang beruht in der Hauptsache darauf, daß die eingebrachten Teilchen von $\text{Al}(\text{OH})_3$ in der Lösung weiterwachsen, wobei von den genannten Autoren angenommen wird, daß die Abscheidung vorwiegend an Leerstellen einsetzt.

Die Erzwingung einer größeren Ausscheidungsgeschwindigkeit ist daher nur unter Anwendung extremer Reaktionsbedingungen, das heißt durch starke Veränderung des Verhältnisses von Oberfläche der Impfkristalle zum Volumen der Lösung, möglich.

Zur Erforschung der Ursachen über die verhältnismäßig geringe Ausscheidungsgeschwindigkeit von kristallisiertem $\text{Al}(\text{OH})_3$ aus Natriumaluminatlösungen scheint es vorteilhaft zu sein, einmal den Vorgang in der entgegengesetzten Richtung, die Auflösung von $\text{Al}(\text{OH})_3$ in NaOH-Lösung zu verfolgen. Man findet nämlich, daß auch die Auflösung von Hydrargillit in NaOH-Lösung im Temperaturbereich von 20—50° C mit relativ geringer Geschwindigkeit abläuft.

Gibt man beispielsweise in eine Lösung von Aluminiumchlorid Natronlauge, so resultiert zunächst eine voluminöse, gelartige Ausfällung von Aluminiumhydroxyd, welche im Überschuß der Lauge unter Bildung von Natriumaluminat leicht löslich ist. Der Vorgang geht mit großer Geschwindigkeit vor sich, die Entstehung von Natriumaluminat durch Lösung eines $\text{Al}(\text{OH})_3$ -Gels ist daher mit keiner nennenswerten Aktivierungswärme verbunden. Umgekehrt gelingt eine feindisperse Ausscheidung von $\text{Al}(\text{OH})_3$ aus einer Natriumaluminatlösung unter Umständen gleichfalls in kurzer Zeit.

Die Langsamkeit der Ausscheidung ist daher an den Wachstumsvorgang eines gut kristallisierten Hydrargillits gebunden. Die gleiche Überlegung gilt für den Auflösungs Vorgang von kristallisiertem Hydrargillit.

DIE KINETIK DER AUFLÖSUNGSVORGÄNGE

Bei den meisten Auflösungs vorgängen von Salzen oder anderen Substanzen in einem Lösungsmittel ist auf Grund der Arbeiten von Noyes und Whitney⁶ die Annahme zulässig, daß die Lösungsreaktion an der Grenzfläche Kristall-Lösung mit unendlich großer Geschwindigkeit erfolgt und daher an der Phasengrenze das Lösungsgleichgewicht dauernd erhalten bleibt. Streng ist diese Forderung natürlich nicht erfüllbar, da Abweichungen vom Gleichgewicht unvermeidbar sind⁷, doch genügt diese Hypothese in erster Annäherung für die kinetische Behandlung des Vorgangs. Für die in der Zeiteinheit aufgelöste Menge ist dann ausschließlich die Geschwindigkeit maßgebend, mit welcher die aufgelösten Teilchen (Moleküle oder Ionen) von der Grenzfläche in die Lösung gelangen. Wird nun durch Rührung eine Bewegung erzeugt, so lassen sich die Konzentrationsunterschiede verhältnismäßig rasch ausgleichen. Nun folgt aus einem bekannten hydrodynamischen Gesetz, daß trotz lebhaftester Rührung an der Grenzfläche fest-flüssig eine »adhärierende« Schicht vorhanden ist, die nicht mitbewegt wird. Diese dünne Flüssigkeitsschicht δ , welche von der Rührgeschwindigkeit abhängig ist und meist die Größenordnung von etwa 10^{-3} cm besitzt⁸, können die gelösten Teilchen nur mit Hilfe der Diffusion passieren, sodaß letzten Endes hier die Diffusion für die Geschwindigkeit des Auflösungs vorgangs maßgebend ist.

Bedeutet c_s die Sättigungskonzentration, c_x die Konzentration der Lösung nach der Zeit τ , O die Gesamtoberfläche der Kristalle, so gilt die Gleichung

$$\frac{dc_x}{d\tau} = k O (c_s - c_x) \dots \dots \dots (1)$$

Wie Nernst⁹ zeigte, läßt sich Gleichung (1) noch in der Weise vervollständigen, daß man den Verlauf des Vorgangs durch Einführung der Diffusionskonstanten D und der Dicke δ der Grenzschicht zum Ausdruck bringt

$$\frac{dc_x}{d\tau} = \frac{D}{\delta} O (c_s - c_x) \dots \dots \dots (2)$$

Faßt man alle konstanten Werte in der Größe K zusammen, so erhält man durch Integration für K

$$K = \frac{2,3}{\tau} \log \frac{c_s}{c_s - c_x} \dots \dots \dots (3)$$

Der Lösungsvorgang entspricht einer Reaktion erster Ordnung. Die Anwendbarkeit von Gleichung (3) ist an zahlreichen Auflösungs vorgängen erprobt worden.⁶

DER LÖSUNGSVORGANG VON $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ Hydrargillit IN NaOH -LÖSUNG

Die Temperaturabhängigkeit der Geschwindigkeitskonstante K wird vor allem durch die Abhängigkeit der Diffusionskonstanten D von der Temperatur bestimmt. Denn die Temperaturabhängigkeit aller Reaktionen, deren Geschwindigkeit durch Diffusionserscheinungen bestimmt wird, muß offenbar die gleiche sein, wie die des Diffusionskoeffizienten. Dieser nimmt im Durchschnitt nur um etwa 2—3% pro Grad zu.¹⁰

Die Prüfung der Anwendbarkeit von Gleichung (3) ist daher durch die Temperaturabhängigkeit von K leicht zu ermitteln.

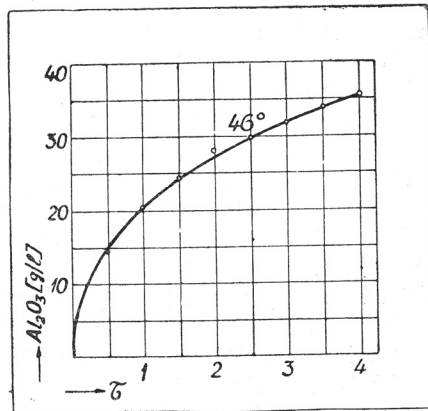


Abb. 1. Der Verlauf der Lösungsvorgangs von Hydrargillit in 4n-NaOH-Lösung. Versuchsbedingungen: 300 g $\text{Al}(\text{OH})_3$ per Liter NaOH-Lösung; Temperatur 46°C.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen den experimentell bestimmten Verlauf des Lösungsvorgangs von Hydrargillit in 4n-NaOH-Lösung in graphischer Darstellung. Die Abszisse enthält die Zeit τ in Stunden, während auf der Ordinate die in Lösung gegangene Menge Hydrargillit, umgerechnet auf g $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{l}$, aufgetragen ist.

Aus den Resultaten ist ersichtlich, daß die Geschwindigkeit des Lösungsvorgangs stark temperaturempfindlich ist. Aus den Werten in Abbildung 2 erhält man die Lösungsgeschwindigkeit $\left(\frac{dc}{d\tau}\right)^*$ für verschiedene Temperaturen und verschiedene Zeiten, welche Tabelle 1 enthält. In Tabelle 2 ist die prozentuelle Zunahme der Lösungsgeschwindigkeit für drei Temperaturen nach verschiedener Zeit des Versuches eingetragen.

Der Lösungsvorgang von Hydrargillit in 4n-NaOH-Lösung ist daher nicht allein durch Diffusionsvorgänge bestimmt, sie spielen vielmehr bei Berücksichtigung der Gesamtgeschwindigkeit des Prozesses eine nur untergeordnete Rolle. Die augenblickliche Einstellung des Lösungsgleichgewichtes an der Grenzfläche stellt nämlich einen besonders günstigen Grenzfall dar.

* Die Bildung des Differentialquotienten $\frac{dc}{d\tau}$ erfolgte nicht auf graphischem Wege, sondern durch Differenzreihenbildung, Vgl. dazu Nernst-Schönflies, *Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften*, München-Berlin 1931. S. 308.

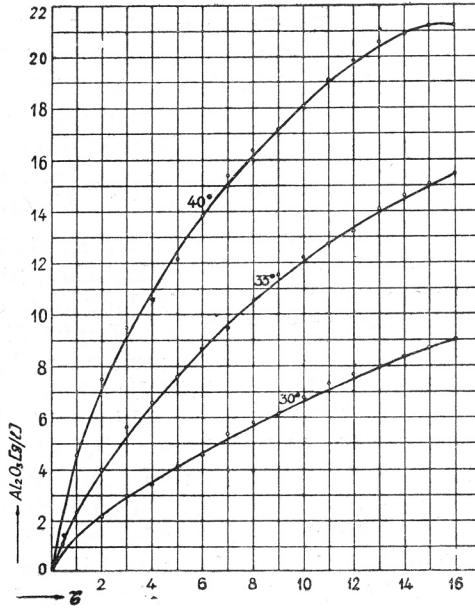


Abb. 2. Der Verlauf des Lösungsvorgangs von Hydrargillit in 4n-NaOH-Lösung. Versuchsbedingungen: 150 g Al(OH)₃ per Liter NaOH-Lösung. Temperatur: 30°, 35° und 40° C.

TABELLE 1

Die Lösungsgeschwindigkeit $\left(\frac{dc}{d\tau}\right)$ von Hydrargillit in 4n-NaOH-Lösung bei verschiedener Temperatur und zu verschiedenen Zeiten

Temperatur	$\frac{dc}{d\tau}$ (Lösungsgeschwindigkeit) nach 1,5 3,5 und 5,5 Stunden		
	1,5	3,5	5,5
30°	0,834	0,584	0,500
35°	1,616	1,316	1,116
40°	2,758	1,708	1,358

TABELLE 2

Prozentuale Zunahme der Lösungsgeschwindigkeit bei den Temperaturen 30°, 35° und 40°

Zeit in Stunden	Zunahme im Temp. Int. 30—35°	Zunahme pro °C	Zunahme im Temp. Int. 35—40°	Zunahme pro °C
1,5	93,7%	18,7 %	70,87%	14,3 %
3,5	125,9%	25,07%	29,79%	5,95%
5,5	123,2%	24,64%	21,68%	4,33%

TABELLE 3

Der Verlauf der Auflösung von Hydrargillit in 4n-NaOH-Lösung bei 46° C.
Vergleich der experimentell bestimmten Werte mit dem berechneten
(vgl. Abb. 1)

τ (Stunden)	c_v (exp.)	c_v (ber.)
0,5	14,5	12,45
1,0	20,5	19,90
1,5	24,3	24,50
2,0	27,0	27,10

TABELLE 4

Der Verlauf der Auflösung von Hydrargillit in 4n-NaOH-Lösung bei verschiedenen
Temperaturen. Vergleich der experimentell bestimmten Werte mit den berechneten.
(vgl. Abb. 2)

τ (Stunden)	30°		35°		40°	
	c_x (exp.)	c_x (ber.)	c_x (exp.)	c_x (ber.)	c_x (exp.)	c_x (ber.)
1	1,45	0,98	2,35	1,82	4,55	3,82
2	2,25	1,90	3,90	3,46	7,20	6,90
3	3,05	2,71	5,95	5,95	10,05	9,95

Es fällt auf, daß in Tabelle 3 und 4 für eine Zeit von $\tau = 0,5$ bzw. 1 und 2 Stunden zwischen den experimentell ermittelten und den berechneten Werten Abweichungen auftreten. Diese finden durch den Umstand, daß das zum Lösen verwendete Tonerdehydrat nicht vollkommen homodispers war, ihre Erklärung. Die experimentellen Werte sind durchwegs größer, weil sich feindisperse Teilchen mit einer grösseren Geschwindigkeit auflösen.

Die GröÙe K_1 mit den Dimensionen τ^{-1} , d. h. einer reziproken Zeit, stellt die Geschwindigkeitskonstante des Auflösungs Vorgangs dar. Sie besitzt auf Grund der obigen Ausführungen eine andere physikalische Bedeutung als K in Gleichung (3). Aus Gleichung (2) und (3) folgt, daß die GröÙe K von der Oberfläche, dem Diffusionskoeffizienten und der Dicke der adhärrierenden Schicht bestimmt wird. In K_1 ist jedoch auch der Grenzübergangsprozeß der Al- und OH-Jonen aus dem Gitter in die Phasengrenzschicht eingeschlossen. Nun ist aber bemerkenswert, daß die Konzentration γ in der Phasengrenzschicht keineswegs einen kleinen Wert besitzt und auf Grund dieser Tatsache die Auflösung eigentlich geschwinder verlaufen müÙte.

Trägt man $\log K_1$ gegen $\frac{1}{T}$ auf, so liegen die Punkte nicht auf einer Geraden, was bedeutet, daß sich die Temperaturabhängigkeit nicht durch die bekannte Arrhenius'sche Gleichung darstellen läÙt. Bekanntlich ist die Zahl der Reaktionen, welche nicht der genannten Gleichung folgen, recht gering. In manchen Fällen sind Abweichungen darauf zurückzuführen, daß der Umsatz im Prinzip durch zwei Vorgänge zustande kommt, die sich überlagern.¹⁵

Es können daher für den Auflösungs Vorgang von Hydrargillit in NaOH-Lösung folgende charakteristische Faktoren angeführt werden:

a) Die Konzentration γ in der Phasengrenzschicht ist, im Vergleich zur Geschwindigkeit, groß. Die Al- und OH-Jonen des Kristallgitters müÙten, sobald sie in der Phasengrenzschicht angelangt sind, dementsprechend geschwinder in die Lösung gelangen.

b) Die Geschwindigkeit des Vorgangs ist stark temperaturabhängig, daher mit einer beträchtlichen Aktivierungswärme verbunden. Die Temperaturabhängigkeit läÙt sich nicht nach der Arrhenius'schen Gleichung darstellen.

Dieses Verhalten führt zur Vorstellung, daß die Ionen des Hydrargillitkristalls nach dem Ablösen von der Oberfläche, wobei sich Natriumaluminat bildet, in die Phasengrenzschicht wandern und dort längere Zeit durch Adsorptionskräfte festgehalten werden. Offenbar ist der Übertritt aus der Grenzschicht nur solchen Ionen möglich, die über eine hinreichend große kinetische Energie verfügen, mit deren Hilfe es ihnen gelingt, die im Phasengrenzraum wirksamen, zurückhaltenden Kräfte zu überwinden. Es überlagern sich daher zwei Prozesse: Der Übertritt der Ionen von der Kristalloberfläche in die Grenzschicht und der Übergang in die Lösung.

Um diese Vorstellungen besser zu begründen, sind vor allem weitere Versuche mit verschiedenen Konzentrationen des Lösungsmittels notwendig. Desgleichen sind Lösungsversuche mit KOH-Lösung erforderlich.

Jedoch kann schon jetzt vermutet werden, daß diese Kräfte elektrostatischer Natur sind, bedingt durch Wechselwirkungen zwischen Ionen des Kristallgitters und Ionen des Lösungsmittels. Bekanntlich liegt bei der Adsorption einzelner Ionen durch ein polares Gitter der einfachste Fall einer elektrostatischen Kraftwirkung vor. Solche Kräfte werden im allgemeinen die Ionen in

der Phasengrenzfläche im Sinne einer Anziehung in bevorzugte Lagen treiben, während die Wärmebewegung* dieselben regellos zu vertreiben sucht.

Man wird beim Wachstumsvorgang von Hydrargillit, dem Vorgang in der entgegengesetzten Richtung, mit ähnlichen Verhältnissen rechnen müssen. Bekanntlich geht dem Kristallwachstumsvorgang eine Adsorption des einzubauenden Ions und eine Oberflächenwanderung voraus.¹⁶

Der Auflösungsprozess verläuft, wenn man die gelöste Menge Al_2O_3 in Abhängigkeit von der Zeit aufträgt, eindeutig und stetig, während beim umgekehrten Vorgang, bei der Hydrargillitabscheidung aus Aluminatlösungen, bei Wahl kleiner Zeitintervalle, diskontinuierliche Sprünge auftreten. Über diese Erscheinungen wird in einer folgenden Arbeit berichtet.

LITERATUR

1. E. Herrmann und J. Stipetić, *Z. anorg. Chem.* **262** (1950) 258.
2. A. van Hook und A. J. Bruno, *Crystal Growth, Discussion of the Faraday Society* **5** (1949) 112.
3. E. Herrmann und J. Stipetić, *Rad Jugosl. Akad.* **277** (1950) 165; E. Herrmann, J. Stipetić und V. Ledinski, *Razprave Slov. akad., razred III., serija A, knjiga II* (1951) 91.
4. E. Calvet, P. Boivin, H. Thibon und A. Maillard, *Bull. soc. chim. France* **5-6** (1951) 402.
5. Fr. W. Wrigge und H. Ginsberg, *Z. anorg. Chem.* **264** (1951) 285.
6. A. A. Noyes und R. Whitney, *Z. physik. Chem.* **23** (1897) 689.
7. W. Jaenicke, *Z. Elektrochem.* **56** (1952) 473.
8. J. Eggert, *Lehrbuch der physikalischen Chemie*, Leipzig 1937. S. 588.
9. W. Nernst, *Theoretische Chemie*, Stuttgart 1926. S. 669.
10. A. Eucken, *Lehrbuch der chemischen Physik*, Leipzig 1932. S. 624.
11. Vgl. dazu Impfhydrat II in der Arbeit E. Herrmann und J. Stipetić, *Rad Jugosl. Akad.* **277** (1950) 173.
12. H. D. Megaw, *Z. Krist.* **87** (1934) 185.
13. R. Fricke in Fricke-Hüttig, *Hydroxyde und Oxyhydrate*, Leipzig 1937. S. 65.
14. R. Fricke und H. Severin, *Z. anorg. u. allgem. Chem.* **205** (1932) 287.
15. A. Eucken, *Lehrbuch der chemischen Physik*, II. Bd., 2. Teilbd., Leipzig 1944. S. 1131.
16. M. Volmer, *Kinetik der Phasenbildung*, Dresden und Leipzig 1939. S. 32.

IZVOD

Prilog poznavanju izlučivanja aluminijskog hidroksida po Bayeru

E. Herrmann

Jedno je od najznačajnijih svojstava otopina natrijeva aluminata, da te otopine uz određene uvjete i kod razmjerno znatnog prekoračenja ravnoteže topljivosti ostaju po nekoliko nedjelja stabilne i da su samo u maloj mjeri sklone spontanom izlučivanju kristaliziranog $\text{Al}(\text{OH})_3$. To ponašanje treba naročito istaknuti u vezi s opisom prirode tih otopina, jer je poznato, da kod tvari, koje se dobro otapaju, samo uz naročite mjere opreznosti polazi za rukom prirediti prezasićene otopine. Kod tehničke provedbe Bayerova postupka potrebno je stoga »cijepiti« aluminatne otopine s već izlučenim aluminijevim hidroksidom, kako bi se iznudilo stvaranje jezgara. O procesima, koji dovode do stvaranja jezgara nakon dodavanja cjepiva, bilo je govora u prijašnjim radovima.

* Es kommt hier vor allem die Wärmebewegung in Frage, weil die Wirkung der Rührung sich ja bekanntlich nur bis zur adhärierenden Schicht und nicht bis an die Phasengrenzfläche erstreckt.

Pokazalo se ipak, da se reakcija odvija razmjerno polako unatoč dodanom cjepivu, naročito kad se želi dobiti grubozrnati produkt, kakav je potreban u pogonskoj praksi. Zasad se vrlo malo zna o razlozima te slabe brzine izlučivanja.

Čini nam se korisno, da se za rješenje toga pitanja ispita jedamput cijeli proces u obrnutom smjeru, t. j. da se istraži otapanje kristaliziranog $\text{Al}(\text{OH})_3$ u natrijevoj lužini. Galertasti voluminozni $\text{Al}(\text{OH})_2$ lako se otapa u natrijevoj lužini, a otapanje ide i u hladnom velikom brzinom. Nasuprot tome je otapanje kristala hidrargilita kod temperatura od 20—60° relativno sporo. Fino disperzni $\text{Al}(\text{OH})_3$ izlučuje se međutim iz aluminatnih otopina uz povoljne okolnosti u kratkom roku. Prema tome je brzina izlučivanja vezana na proces rasta dobro kristaliziranog hidrargilita.

Poznato je, da je difuzija redovno onaj faktor pri otapanju, koji određuje brzinu procesa. To vrijedi onda, kad se reakcija otapanja odvija na graničkoj površini kristal-otopina neizmjernom brzinom. Pokazalo se, međutim, da te pretpostavke nisu ispunjene pri otapanju kristala hidrargilita u otopinama NaOH , jer je izdvajanje Al -iona i OH -iona s površine kristalne rešetke spori proces, tako da difuzija ima podređeni utjecaj s obzirom na brzinu otapanja. Do tog zaključka može se doći i na temelju ovisnosti brzine otapanja o temperaturi. Računskom obradom procesa otapanja može se pokazati, da se na graničnoj površini faza nikada ne uspostavlja koncentracija zasićenja. Iz karaktera procesa otapanja može se dalje zaključiti, da se ioni i nakon oslobađanja zadržavaju zbog adsorpcijskih sila duže vremena na površini kristala. Te su sile vjerojatno elektrostatske prirode, uvjetovane uzajamnim djelovanjem iona kristalne rešetke i iona u elektrolitnoj otopini. Očevidno je prijelaz iz graničnog sloja moguć samo onim ionima, koji imaju dosta veliku kinetičku energiju, pomoću koje mogu nadvladati sile, koje ih zadržavaju u graničnom sloju faza.

Ako se uzmu u obzir otopljene količine Al_2O_3 u ovisnosti o vremenu, proces otapanja odvija se jednoznačno i kontinuirano, dok se pri obratnom procesu izlučivanja aluminijske hidroksida iz aluminatnih otopina pojavljuju diskontinuirani skokovi.