

## Über die Kieselsäure im Bayer-Prozeß\*

Von M. GOHL

Forschungsinstitut der Schweizerischen Aluminium AG, Neuhausen

*Professor August Guyer gewidmet*

### Summary

It could be shown that within the extreme alkaline Bayer conditions with temperatures of at least 110°C, the combined silica in bauxite always reacts to a fairly constant sodium-alumosilicate composition. This silicate has a sodalite structure which, with increased soda content ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) of the aluminate liquor, expands and finally distorts into the so-called "basic" cancrinite configuration. The formation of this silicate which influences the economical aspect of the Bayer-Process always takes place with the digestion of hydrargillite. As in the case of bauxite, the main silica content is combined as koalinite; the insoluble binding of alumina and alkali on this silica, in consequence of the Bayer-Process, is thus unavoidable and correspondingly the production costs of alumina increases. In accordance with digestion conditions, an alkali loss of 0.6 to 0.7 g  $\text{Na}_2\text{O}$  and about 1 g  $\text{Al}_2\text{O}_3$  of non-digestible alumina must be reckoned within each gram of combined silica in bauxite. Cutting out these losses, in other words, the formation of the silicate, is only possible under conditions which are no longer economically justified.

### Der Bayer-Prozeß und die Kieselsäure im Bauxit

Das durch K. J. BAYER eingeführte Verfahren zur Gewinnung von Tonerde hat sich als das weitaus wirtschaftlichste durchgesetzt. Es ist sogar so, daß der von BAYER patentierte Aufschluß von Bauxit mit Natronlauge nun schon bald acht Jahrzehnte im Prinzip unverändert beibehalten worden ist. Lediglich die Apparaturen haben sich gewandelt, Arbeitsvorgänge wurden verkürzt, rationalisiert und im Hinblick auf das Produkt verfeinert. Dieser technischen Vervollkommnung des Prozesses steht der immer noch unbefriedigende chemische Ablauf der Aufschlußreaktion gegenüber.

Während ein gewisser Energiebedarf unumgänglich ist und im Falle dieses Verfahrens schon weitgehend auf

ein Minimum herabgesetzt wurde, ist es erstaunlich, daß immer noch mit relativ hohen Alkaliverlusten gearbeitet werden muß. Dieser Verlust ist direkt proportional zum Siliciumdioxidgehalt des Bauxites. Die Alkaliverluste werden daher bei Verwendung von Kieselsäurereichen Bauxiten viel mehr ins Gewicht fallen und führen zu einem unwirtschaftlichen Bayer-Verfahren. Es ist nicht nur der mit zunehmendem Kieselsäuregehalt ansteigende Alkaliverbrauch, sondern auch die proportional verlaufende Verminderung der Tonerdeausbeuten und damit der Kapazität der Anlage, welche die Wirtschaftlichkeit entscheidend beeinflussen.

Tabelle 1. Einfluß des  $\text{SiO}_2$ -Gehaltes (gebunden) im Bauxit auf den Bayer-Prozeß

% $\text{SiO}_2$ im Bauxit	Theoretisch maximale Ausbeute % $\text{Al}_2\text{O}_3$	t Bauxit t $\text{Al}_2\text{O}_3$	t RS* t $\text{Al}_2\text{O}_3$	Alkaliverluste	
				a) kg $\text{Na}_2\text{O}$ t $\text{Al}_2\text{O}_3$	b) kg $\text{Na}_2\text{O}$ t $\text{Al}_2\text{O}_3$
0	100	1,82	0,826	0	6,5
2	96,4	1,89	0,923	26	6,8
4	92,7	1,96	1,021	54	7,1
6	89,1	2,04	1,132	84	7,3
8	85,5	2,12	1,245	117	7,6
10	81,8	2,22	1,383	153	8,0
12	78,2	2,33	1,525	192	8,4

\* RS = Rotschlamm

a) als Folge des  $\text{SiO}_2$ -Gehaltes

b) als Folge des  $\text{TiO}_2$ -Gehaltes von 3%

Auf Grund der heutigen Erfahrung ergibt sich, je nach  $\text{SiO}_2$ -Gehalt im Bauxit, das in Tabelle 1 aufgeführte Bild wesentlicher Daten im Bayer-Prozeß. Für die Ermittlung dieser Werte ist ein Bauxit mit einem

\* Eingegangen am 29. März 1967.

guten mittleren Tonerdegehalt von 55% neben 3%  $\text{TiO}_2$  und die gesamte Kieselsäure in gebundener Form (Kaolinit) angenommen worden. Die Annahme einer nur in Form von Kaolinit vorliegenden Kieselsäure muß gemacht werden, da bei Trihydratbauxiten – die eventuell noch einen Anteil an ungebundenem  $\text{SiO}_2$  (Quarz) enthalten und unter milden Bedingungen aufgeschlossen werden – der Quarzanteil nur als inerter «Ballaststoff» den Prozeß mitmacht.

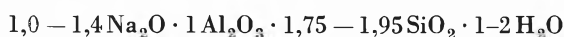
Die Ursache für diese mit zunehmender Kieselsäure schlechter werdenden Prozeßdaten ist die Bildung eines Natrium-Aluminium-Silicates während des Bayer-Prozesses. Diese Silicatbildung wird einerseits angestrebt, da auf ihr die Entkieselung der Aluminatlauge beruht, andererseits wird dadurch die Wirtschaftlichkeit des Bayer-Verfahrens für silicatreiche Bauxite in Frage gestellt. Wenn also gleiche Bauxittypen wirtschaftlich unabhängiger von deren Kieselsäuregehalt verarbeitet werden sollen, so ist dies im Idealfall nur dann denkbar, wenn die Kieselsäure nicht mehr an Alkali und Tonerde stabil gebunden wird. Eine unter Bayer-Bedingungen stabile Bindung der Kieselsäure nur an Tonerde in einem vernünftigen molekularen Verhältnis von  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  wäre wegen der relativ hohen Laugenpreise auch schon von entscheidender Bedeutung.

Um so erstaunlicher ist es, daß die Kenntnisse über das beim Bayer-Aufschluß aus dem Kaolinit sich bildende Natrium-Aluminium-Silicat bis vor wenigen Jahren relativ gering und teilweise widersprechend waren. Der Grund hierfür liegt in der komplexen Natur der Silicatbildung im Bayer-Prozeß, der vorläufig immer noch zur Verfügung stehenden Bauxite mit erträglichen Kieselsäuregehalten, dann in der allgemein geringen Kenntnis über Silicatbildungen unter hydrothermalen, extrem alkalischen Bedingungen und in der Problematik der Meßmethode zur Verfolgung eines hydrothermalen Vorganges bei parallel verlaufendem Aufschluß.

#### Identifikation des im Bayer-Prozeß gebildeten Silicates

Die anfangs der sechziger Jahre durchgeführten Versuche zur Identifikation des unter Bayer-Bedingungen sich bildenden Natrium-Aluminium-Silicates<sup>1</sup> wurden durch ähnliche Arbeiten zur selben Zeit in den USA<sup>2</sup> und in Japan<sup>3</sup> bestätigt und werden es auch noch weiter, vor allem durch Publikationen russischen Ursprungs<sup>4</sup>.

Heute kann die molekulare Zusammensetzung des unter Betriebsbedingungen allgemein entstehenden Silicates wie folgt angegeben werden:



<sup>1</sup> M. GOHL, Dissertation ETH, Nr. 3430 (1963).

<sup>2</sup> R. G. BREUER, L. R. BARSOTTI und A. C. KELLY, *Extractive Metallurgy of Aluminium*, Vol. 1, Interscience (1963), S. 133.

<sup>3</sup> S. SEIMIYA, *ibid.* 115.

<sup>4</sup> M. G. MANVELYAN und B. A. TALIASHVILI, *Izv. Akad. Nauk Arm. SSR, Khim. Nauki* 18 (1965) Heft 5, S. 446. T. I. ADVEEDA und A. A. NOVOLDSKAYA, *Zh. Prikl. Khim.* 39 (1966) Heft 2, S. 293.

Die Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung sind vor allem als Funktion der Laugenkonzentration, Aufschlußtemperatur und Aufschlußdauer zu sehen.

Umfangreiche Syntheseveruche zeigten, daß bei höheren Laugenkonzentrationen und Aufschlußtemperaturen mit größeren Alkaliverlusten gerechnet werden muß. So muß heute in europäischen Tonerdewerken bzw. bei Verarbeitung von Monohydrat-Bauxit mit Verlusten von 1,34 Mol  $\text{Na}_2\text{O}$  pro 2 Mol  $\text{SiO}_2$  oder 0,69 g  $\text{Na}_2\text{O}$  pro g  $\text{SiO}_2$  im Bauxit gerechnet werden. Entsprechend muß man für die theoretisch mögliche Ausbeute mit einem Verlust von 1,0 g  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pro g  $\text{SiO}_2$  im Bauxit rechnen (siehe Tabelle 1).

Mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie und insbesondere der Infrarotspektroskopie, die den Vorteil hat, daß sie unabhängig von der Kristallinität der Substanz ist und Eisen- und Titanoxide im üblichen IR-Bereich keine störenden Banden aufweisen, konnte der am wahrscheinlichsten gebildete Silicattyp identifiziert werden. Auf Grund von Syntheseveruchen unter Bayer-Bedingungen, ausgehend von Kaolin oder Silicagel und Hydrargillit als Edukte, muß im Bayer-Prozeß mit der Bildung eines Silicates mit Sodalithstruktur gerechnet werden. Die bei den Syntheseveruchen eindeutige Identifikation dieses Silicates konnte beim Einsatz von Bauxit nicht wiederholt werden.

Bei den Syntheseveruchen konnte aber gezeigt werden, daß die Bildung von Sodalith unter Zusatz von Natriumchlorid gefördert werden kann, d. h. NaCl scheint als Mineralisator zu wirken. Wird Bauxit unter Zusatz von NaCl aufgeschlossen, so kann im Aufschlußrückstand mit Hilfe der Infrarotspektroskopie eindeutig Sodalith identifiziert werden. Das typische IR-Spektrum (KBr-Tablette) von Sodalith ist in Abb. 1 wiedergegeben.

Die für Silicatgitterstrukturen typische, aber wenig spezifische, komplexe und breite Absorptionsbande bei

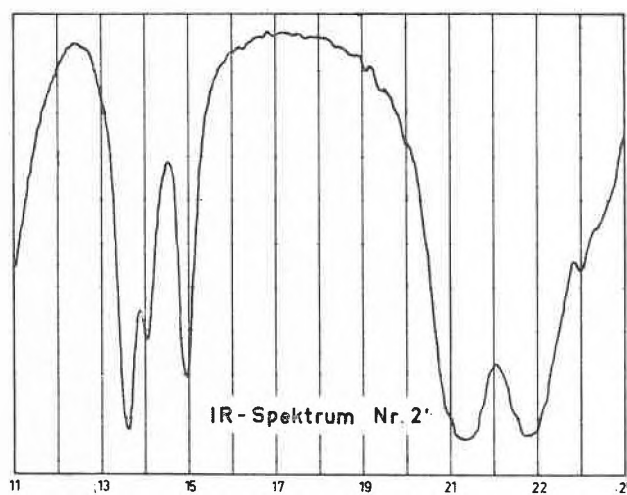


Abb. 1. Typisches IR-Spektrum (11–25  $\mu$ ) eines unter Bayer-Bedingungen gebildeten Sodalithes

rund  $10 \mu$  tritt auch bei diesem Alumosilicat auf. Bei den Syntheseprodukten erfolgt praktisch Totalabsorption im Bereich von  $9,7$  bis  $10,4 \mu$ .

Wenn also die beobachtete Mineralisatoreigenschaft von Natriumchlorid beim Bauxit zu einem identifizierbaren Alumosilicat im Rotschlamm führt und dieses Silicat identisch ist mit dem synthetischen Reaktionsprodukt, mit oder ohne NaCl-Zugabe, so muß im Bayer-Prozeß mit der Bildung eines mindestens sodalithähnlichen Silicates gerechnet werden.

Bei der Verarbeitung von Bauxit mit Aluminatlauge relativ hohen Sodagehaltes (85 und weniger Prozent kaustisch) scheint auch das Natriumcarbonat sichtbar mineralisierend zu wirken. Dieses Alumosilicat wird wegen seiner röntgenographischen Ähnlichkeit mit Cancrinit als *basic-Cancrinit* bezeichnet und als gelockerte, im Extremfall schließlich deformierte Sodalithstruktur angesehen.

Bezeichnend für diese deformierende Wirkung großer Anionen sind die Synthesversuche in Gegenwart von Natriumsulfat. Beim Zusatz von Natriumsulfat zur Aluminatlauge resultiert ein röntgenographisch und im Infrarot absolut identisches Alumosilicat wie bei Synthesen in Gegenwart von Soda.

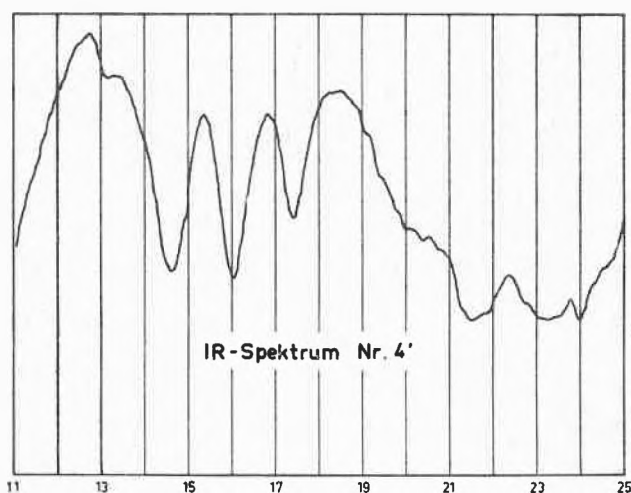


Abb. 2. Typisches IR-Spektrum ( $11-25 \mu$ ) eines unter Bayer-Bedingungen gebildeten sogenannten *basic-Cancrinit*s

Ein solches Alumosilicat weist das in Abb. 2 wiedergegebene IR-Spektrum auf. Die komplexe, breite Bande bei  $10 \mu$  ist von derjenigen beim Sodalith nicht zu unterscheiden.

Für das Bayer-Verfahren liegt die Bedeutung der Identifikation des unter Bayer-Bedingungen sich bildenden Alumosilicates vor allem darin, daß die umfangreichen Synthesversuche folgende Aussagen erlauben:

Innerhalb der extrem alkalischen Bayer-Bedingungen mit Temperaturen von mindestens  $110^\circ\text{C}$  bildet sich immer ein

Natrium-Aluminium-Silicat mit ziemlich konstanter chemischer Zusammensetzung. Dieses Silicat besitzt Sodalithstruktur, die mit zunehmendem Sodagehalt der Aluminatlauge gelockert und schließlich zu einer als *basic-Cancrinit* bezeichneten Konfiguration deformiert wird.

### Bildung des Alumosilicates im Bayer-Prozeß

Die Verfolgung der Silicatbildung kann sich praktisch auf die Aufschlußphase des Bayer-Prozesses beschränken. Im Verhältnis zum totalen Kieselsäuregehalt des Bauxites bzw. Rotschlammes wird bei der Entkieselung nur noch wenig Kieselsäure ausgeschieden. Um die Silicatbildung während des Aufschlusses zu verfolgen, sollten die absoluten Alkali- und Tonerdegehalte in der Lauge bestimmt werden können. Dies ist aber nur möglich bei Kenntnis des entsprechenden Laugenvolumens, das aber als Folge des In-Lösung-Gehens von Tonerde während des Aufschlusses nicht konstant ist, sondern zunimmt. Bei einer Konzentrationsabnahme des Alkalis in der Aufschlußlauge weiß man also nicht, in welchem Maße dies von der Volumenzunahme oder der Silikatbildung abhängig ist.

Die direkte Bestimmung des Laugenvolumens ist wegen des variierenden Gemisches von Feststoff und Flüssigkeit nicht möglich. Versuche mit Markiersubstanzen (Ampholyte, Anionen) haben gezeigt, daß solche Ionen teilweise in das Sodalithgitter eingelagert werden und nicht zur Volumenermittlung eingesetzt werden können. Der Aufschlußvorgang ist daher mit sogenanntem synthetischem Bauxit (Mischung von Kaolin mit Hydrargillit oder Böhmit) zur möglichsten Eliminierung der Beeinflussung der Laugenkonzentration durch die übrigen Bauxitkomponenten durchgeführt worden.

In Abb. 3 ist eine typische Resultatsreihe graphisch dargestellt. Daraus geht eindeutig hervor, daß die Bildung des Alumosilicates im Bereich von  $80$  bis  $110^\circ$  erfolgte und damit im Aufschlußbereich des Hydrargillits stattfindet. Die Silicatbildung kann nicht über eine stabile Lösungsphase erfolgen, da die Aluminatkonzentration im Bildungsbereich konstant geblieben ist.

Versuche mit reiner Natronlauge und Kaolin zeigten ferner, daß die Silicatbildung vom Aluminatgehalt der Lauge unabhängig ist. Es kann daher ganz allgemein ausgesagt werden, daß für Laugenkonzentrationen von  $200$  bis  $300 \text{ Na}_2\text{O/l}$  die Umwandlung von Kaolin in das sodalithähnliche Silicat schon in der Aufheizphase des Aufschlusses erfolgt. Bei  $200 \text{ g Na}_2\text{O/l}$  lag der Umwandlungsbereich zwischen etwa  $90$  bis  $110^\circ\text{C}$  und bei  $300 \text{ g Na}_2\text{O/l}$  bei etwa  $80$  bis  $100^\circ\text{C}$ .

Versuche mit verschiedenen Kaolin- und Laugenkonzentrationen in einem Bombenrohr aus Glas erlaubten die Umwandlungsreaktion direkt zu beobachten. Dabei zeigte sich, daß bei Konzentrationen, wie sie auch im Bayer-Aufschluß vorkommen, nie klare Lösungen entstanden, obschon im Feststoff kein Kaolin mehr nachgewiesen werden konnte. Je nach Laugenkonzentration

wurden bei 130°C bis zu 4,5 g Kaolin/l Lauge gelöst. Beim Abkühlen und dann nochmals beim Verdünnen (Praxis: Entkieselung) ist aber wieder das bekannte sodalithähnliche Silicat ausgeschieden worden.

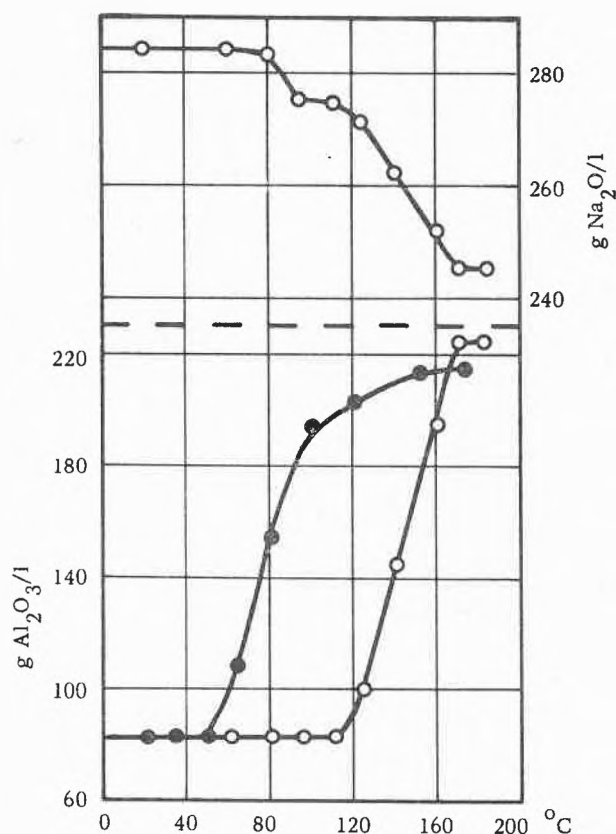


Abb. 3. Tonerde- und Alkalikonzentration der Aufschlußlauge als Funktion der Temperatur. ● Synthetischer Hydrargillit-Bauxit, ○ synthetischer Böhmit-Bauxit

Es wurden Versuche ausgeführt durch Einschluß von Hydrargillit und Silicagel in separate Beutel aus Teflongewebe (a). Ebenso in Teflonbeutel eingeschlossen wurde ein kaolinentsprechendes Gemisch von Hydrargillit und Silicagel (b) oder dann direkt Kaolin (c). Diese so vorbereiteten Eduktvarianten wurden verschiedenen Bayer-Aufschlußbedingungen ausgesetzt. Bei der Variante (a) hatte sich das sodalithähnliche Silicat in der Lauge ausgeschieden, während bei (b) und (c) das Alumosilicat direkt im Beutel gebildet worden ist.

Bei Variante (a), im besonderen Falle des Versuches mit reiner Natronlauge, mußten primär Silicagel und Hydrargillit als Natriumsilicat und -aluminat in Lösung gehen, bevor die Bildung des Alumosilicates möglich war. Varianten (b) und (c) zeigen, wie unter den gegebenen Konzentrationsverhältnissen praktisch unmittelbar aus verschiedenen Edukten ein identisches Natrium-Aluminium-Silicat gebildet wird.

Als primär ausschlaggebend für die Bildung des Alumosilicates unter Bayer-Bedingungen erscheint die An-

wesenheit von Natrium-Silicationen. Wenn also der Kieselsäureträger im Bauxit in Bayer-Laugen bzw. unter Bayer-Bedingungen löslich ist, so bildet sich unweigerlich das unter diesen Bedingungen schwerlösliche Natrium-Aluminium-Silicat. Die Art des ursprünglichen Kieselsäureträgers erscheint dabei irrelevant.

Dadurch, daß das Bayer-Verfahren ein Kreisprozeß ist, kommt der Löslichkeit der Kieselsäure bzw. des Natrium-Aluminium-Silicates in Bayer-Laugen hinsichtlich Alkali- und Tonerdeverluste praktisch keine Bedeutung zu. Um so entscheidender ist aber diese Löslichkeit für den Entkieselungsgrad der Aluminatlauge bzw. die Reinheit der produzierten Tonerde.

Die Löslichkeit des Alumosilicates in Aluminatlaugen ist proportional der Laugenkonzentration  $-(\text{Na}_2\text{O}) \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3)$ , während man annehmen muß, daß die Temperatur vor allem für die Bildungsgeschwindigkeit bestimmend ist.

Bei der Interpretation von Literaturangaben über die abnehmende Löslichkeit des Silicates in Aluminatlauge bei steigender Temperatur<sup>5</sup> muß berücksichtigt werden, daß Löslichkeitsuntersuchungen mit Natrium-Aluminium-Silicat in deren Mutterlauge problematisch sind. Schon die je nach Aufschlußbedingungen etwas variierende chemische Zusammensetzung und schwankenden Netzebenenabstände des gebildeten Silicates deuten Unterschiede an, die sich auch in einer unterschiedlichen Stabilität des Silicates zeigen können.

Unabhängig von der Ursache begünstigt dieses Löslichkeitsverhalten die Entkieselung der Aluminatlauge schon während des Aufschlusses und dann nach dem Verdünnen. Das spezifische Temperaturverhalten ermöglicht vor allem eine Zersetzung ohne nennenswerte Silicatausscheidung, obschon als Folge des abnehmenden Tonerdegehaltes in der Lauge eine entsprechende Übersättigung an Natriumsilicat stattfindet. Diese Übersättigung bzw. der Einfluß der Temperatur auf die Bildungsgeschwindigkeit des Silicates kann im Betrieb sehr schön beobachtet werden. Beim Wiederaufwärmen der zersetzten Aluminatlaugen im Gegenstrom in Wärmeaustauschern findet eine Verkrustung der Rohre vorwiegend in den letzten, wärmeren Austauschern statt.

Übertragen auf den Bayer-Prozeß, können heute hinsichtlich der Bildung des sodalithähnlichen Silicates folgende Aussagen gemacht werden:

Die Bildung des die Wirtschaftlichkeit des Bayer-Prozesses beeinflussenden Natrium-Aluminium-Silicates fällt immer mindestens mit dem Aufschluß von Hydrargillit zusammen. Ist, wie im Falle von Bauxit, die zur Hauptsache gebundene Kieselsäure Kaolinit, so ist die unlösliche Bindung von Tonerde und Alkali an diese Kieselsäure, als Folge des Bayer-Prozesses, unvermeidlich. Eine Beeinflussung der Bildung dieses Natrium-Aluminium-Silicates durch die Prozeßführung (ohne Zusatzstoffe) ist daher nicht denkbar.

<sup>5</sup> I. P. KRAUS, V. A. DEREVYANKIN und S. KUZNETSOV, *Tsvet. Metall* 38 (1965) 55.

### Beeinflussung der Silicatbildung im Bayer-Prozeß

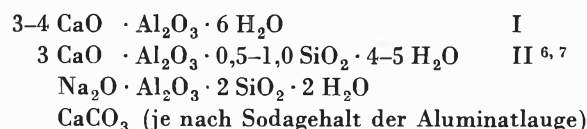
Von der Förderung der Bildung des Natrium-Aluminium-Silicates zur Erzielung einer möglichst maximalen Entkieselung der Aluminatlauge vor deren Zersetzung sei hier abgesehen. Geht es doch dabei um Kieselsäuremengen, die in Relation zur schon ausgeschiedenen, je nach Kaolinitgehalt des Bauxites, gering bis sehr gering sind. Eine, wenn auch nicht ideale, so doch relativ gute Entkieselung wird heute allgemein schon auf Grund der Löslichkeit der Kieselsäure bzw. des Natrium-Aluminium-Silicates erreicht. Die Entkieselung erfolgt bei möglichst hoher Temperatur und wird noch durch Kontakt (Rühren) der Lauge mit dem Rotschlamm bzw. schon gebildeten Silicatpartikeln, die als Kristallisationskeime wirken, gefördert.

Eine Beeinflussung der Silicatbildung im Bayer-Prozeß wäre schon dann von Bedeutung, wenn es gelingen würde, die Kieselsäure des Bauxites neben der Tonerde nicht auch noch stabil an Alkali zu binden. Wie schon erwähnt, ist dies ohne Zusatzstoff zum Bayer-Prozeß, abgesehen von einer separaten Vorbehandlung des Bauxites vor dem Bayer-Aufschluß, grundsätzlich nicht möglich. Als Zusatzstoffe kommen nur solche in Frage, die wirtschaftlich und hinsichtlich der Verunreinigung der Tonerde verantwortet werden können. Von dieser Warte aus gesehen, ist die Auswahl an Zusatzstoffen sehr beschränkt. Die Kieselsäure muß ausgeschieden werden, und dies ist unter Bayer-Bedingungen nur als komplexes Silicat möglich. Den Einsparungen an Alkali werden also immer Aufwendungen für den Zuschlagstoff gegenüberstehen.

Trotzdem fehlt es natürlich nicht an Versuchen, durch verschiedene Zusatzstoffe und Reaktionsbedingungen das Bayer-Verfahren auch für kieselsäurereiche Bauxite, im Extremfall ganz allgemein Alumosilicate, wirtschaftlich zu gestalten. Kalk steht dabei seit Jahrzehnten im Vordergrund. Kalk erwies sich auch als interessantester Reaktionspartner im Bayer-Prozeß, abgesehen von seiner Bedeutung im Kalksinterverfahren zur Gewinnung von Tonerde.

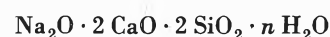
So hat es auch im Forschungsinstitut nicht an umfangreichen Versuchen gefehlt, wobei besonders die Möglichkeit einer hydrothermalen Feststoffreaktion zwischen Kalk und der Kieselsäure im Bauxit, als Vorstufe zum Bayer-Aufschluß, untersucht worden ist. Es zeigte sich aber auch hier, daß die extrem alkalischen Bayer-Bedingungen dominant erscheinen für die Reaktion von Kalk mit Kieselsäure. Man muß sich dabei ein komplexes

chemisches Gleichgewicht vorstellen, an dem folgende entscheidende Reaktionsprodukte teilnehmen:



Abgesehen von der Kaustifikationsreaktion, liegt aber dieses Gleichgewicht auf der Seite der Bildung von I, so daß Alkalieinsparungen, als Folge der Bildung von II, praktisch nur mit einer entsprechenden, zusätzlichen Ausbeuteverminderung möglich sind.

Unter Laugenkonzentrationen von 300 bis 500 g Na<sub>2</sub>O/l und Laugenfaktoren – g Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/l / g Na<sub>2</sub>O/l × 1,65 – nicht unter 12, womit man sich noch im Gebiet stabiler, nicht zersetzbarer Aluminatlaugen befindet, bildet Kalk mit Kaolinit oder ganz allgemein Alumosilicaten bei 270 bis 300 °C



wobei Tonerde als Natriumaluminat in Lösung geht.

Diese grundsätzlich interessante Veränderung des Gleichgewichtes ist, obschon in der Sowjetunion in neuester Zeit eingehend für die Gewinnung von Tonerde aus Alumosilicaten untersucht<sup>8,9</sup>, als Weiterentwicklung des Bayer-Prozesses hinsichtlich Alkaliverluste und/oder Ausbeutesteigerungen ohne wirtschaftliche Bedeutung, verglichen mit dem klassischen Bayer-Verfahren.

Eine separate Aufarbeitung des Rotschlammes, insbesondere des Alkalis, ist auch nicht wirtschaftlich durchführbar, so daß heute hinsichtlich der den Bayer-Prozeß belastenden Alkaliverluste und Ausbeuteverminderungen folgende Aussagen gemacht werden können:

Die Belastung der Herstellungskosten von Tonerde durch den Gehalt an gebundener Kieselsäure im Bauxit ist anscheinend nicht zu vermeiden. Die für den Bayer-Prozeß notwendigen Laugenkonzentrationen und Temperaturen sind bestimmend für die Bildung eines schwerlöslichen, sodalithähnlichen Silicates, womit für jedes Prozent gebundener Kieselsäure im Bauxit eine entsprechende Menge Natronlauge und Tonerde mit dem Rotschlamm verlorengeht. Die Vermeidung dieser Silicatbildung ist erst unter Bedingungen möglich, die wirtschaftlich nicht mehr verantwortet werden könnten.

<sup>6</sup> M.G. LEITEZEN und M.S. BELETSKII, *Tsvet. Metally* 36 (1963) Heft 9, S. 49.

<sup>7</sup> O.I. ARKEL'YAN et al., *Tsvet. Metally* 35 (1962) Heft 8, S. 54.

<sup>8</sup> V.D. PONOMAREV und V.S. SAZHIN, *Tsvet. Metally* 30 (1957) Heft 12, S. 45.

<sup>9</sup> L.P. NI, V.D. PONOMAREV et al., *Tret' go Vses. Sovesh. po Khim i Tekhnol. Glinozema* 145 (1964).