

# Das Bauxit- und Tonerdeprojekt der Alusuisse in Australien. 3. Teil: Verfahren und Auslegung des Tonerdewerkes Gove

Autor(en): **Kaeslin, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **91 (1973)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-71778>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

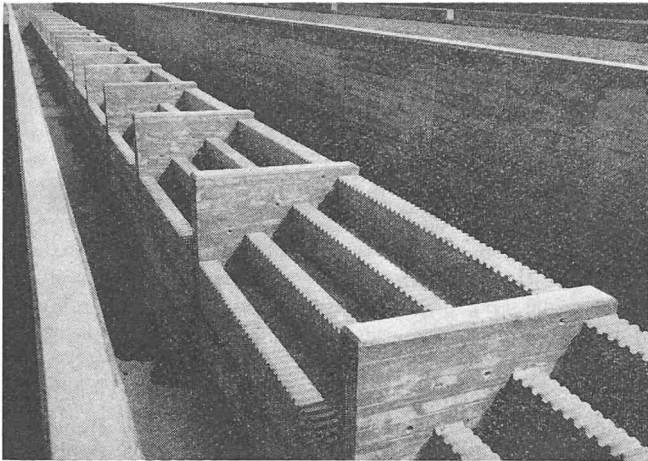


Bild 4. Anreicherung Aarberg. Belüftungskaskaden zwischen Vorfilter und Versickerungsbecken

Das Aarerohwasser wird aus dem Stau des Kraftwerkes Aarberg entnommen und durch eine Zementrohrleitung von 1,00 m Durchmesser und 2 km Länge zur Versickerungsanlage am Ufer nördlich des Hagneckkanales geführt. Die Konzessionsbedingung lautet auf eine Anreicherungs menge von 200 l/s, entsprechend dem von den Experten berechneten doppelten Wert der maximalen Verminderung der natürlichen Infiltration aus dem Hagneckkanal und ausbaubar bis 1200 l/s. Die Anlage wird bei trübem Aarewasser stillgelegt. Die Überwachung erfolgt automatisch durch einen bei der Fassung eingebauten Trübungsmesser, der die Drosselklappe schliesst, sobald der Trübungsgrad zu gross wird.

### 5. Betriebserfahrungen

Die Anlage steht seit dem Frühjahr 1971 in Betrieb und ist so konzipiert, dass die Versickerungsbecken nicht überstaut gefahren werden. Es ist aber nicht zu vermeiden, dass bei

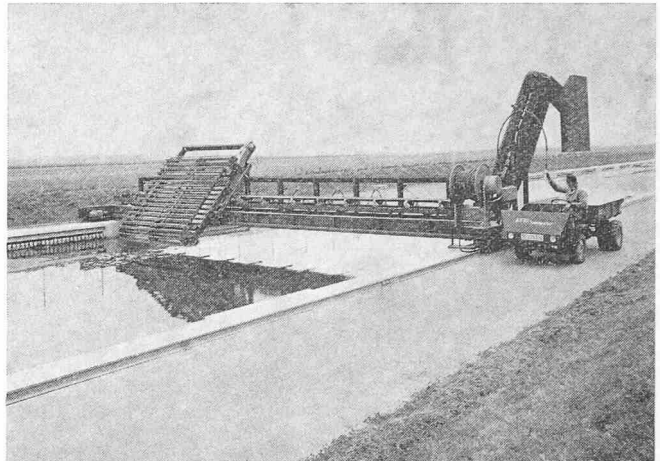


Bild 5. Grundwasseranreicherung Aarberg. Reinigungsmaschine zur Abschuppung der Versickerungsbecken (Photos R. Jeanneret, Lyss)

abnehmender Infiltrationsleistung die Beckenoberflächen benetzt werden. Die Verschmutzung und der Algenbewuchs auf den Beckenoberflächen ist je nach Jahreszeit, Witterung und Qualität des zur Versickerung gebrachten Aarewassers verschieden. Für ein einwandfreies Funktionieren der Anlage und Erreichen der benötigten Infiltrationsleistung ist eine häufige Reinigung der Beckenoberflächen erforderlich. Für die Reinigung wird eine eigens für diesen Zweck konstruierte Maschine eingesetzt, die ein Abschuppen der obersten Sandschicht erlaubt (Bild 5). Der Sand gelangt dabei über ein Kratzband auf Förderband, das den direkten Verlad in ein bereitgestelltes Transportfahrzeug übernimmt. Über weitere Betriebserfahrungen und entsprechende Verbesserungs massnahmen kann erst in einem späteren Zeitpunkt berichtet werden.

Adresse des Verfassers: P. Hartmann, dipl. Ing. ETH, Bernische Kraftwerke AG, Victoriaplatz 2, 3000 Bern 25.

## Das Bauxit- und Tonerdeprojekt der Alusuisse in Australien DK 669.712:553.492

### 3. Teil: Verfahren und Auslegung des Tonerdewerkes Gove

Von Kurt Kaeslin, Zürich

Fortsetzung von H. 45 und 51/1972, S. 1143–1151, bzw. 1327–1333

#### 1. Einleitung

Die Erzeugung von Aluminium erfolgt in zwei Herstellungsphasen. In der ersten Stufe wird aus dem Bauxit das Aluminiumoxid  $Al_2O_3$  – in der Umgangssprache meistens Tonerde genannt – extrahiert. Das wirtschaftlichste Verfahren ist immer noch das von Bayer entwickelte und im Jahre 1888 patentierte Verfahren, das allerdings nach dem Zweiten Weltkrieg in wirtschaftlicher Hinsicht wesentlich verbessert worden ist. Der Bayer-Prozess beruht im Prinzip darauf, dass das im Bauxit vorhandene Aluminiumhydroxid bzw. Aluminiumoxidhydrat in konzentrierter Natronlauge bei erhöhter Temperatur in Lösung geht, während die im Bauxit vorhandenen Begleitstoffe ungelöst bleiben und abgetrennt werden können. Durch Konzentrations- und Temperaturänderung kann dann das Aluminiumhydroxid aus der geklärten Lösung mit verhältnismässig hoher Reinheit abgeschieden werden.

Die Reduktion der Tonerde zu Rohaluminium erfolgt in der zweiten Herstellungsphase nach der von Héroult erfundenen Schmelzflusselektrolyse. Zur Erzeugung von einer Tonne

Aluminium werden in einem modernen Elektrolysewerk 14000 bis 15000 kWh elektrische Energie, etwa 2 t Tonerde und 500 kg Kohleanoden sowie 40 bis 50 kg Elektrolyt benötigt. Die Elektrolysefabriken werden im allgemeinen dort aufgestellt, wo billiger Strom erhältlich ist.

Die australische Regierung machte es zu einer Konzessionsbedingung, dass die Tonerdefabrik im «Northern Territory» gebaut wird. Vom Transport her gesehen, ist allgemein der zweckmässigste Standort eines Tonerdewerkes die unmittelbare Nähe der Bauxitmine bzw. des Umschlaghafens für die Rohstoffe und die Tonerde. Die Fabrik in Gove, mit einem jährlichen Ausstoss von 1 Mio t  $Al_2O_3$ , benötigt rund 2,7 Mio t Bauxit. Wenn das Erz über grössere Entfernungen transportiert werden müsste, was nur mit Frachtschiffen in der Grössenordnung von 50000 t noch wirtschaftlich bewerkstelligt werden kann, würde das bedeuten, dass jede Woche ein solches Schiff beladen bzw. entladen werden muss und, je nach Entfernung, mehrere solcher Frachter für diesen Erztransport im Einsatz zu stehen haben. Die grössten Bauxitvor-



Bild 1. Pilot Plant

kommen, die in den letzten 20 Jahren entdeckt worden sind, liegen nun aber vorwiegend in tropischen und subtropischen Gebieten, die zum Teil noch völlig unentwickelt sind (Ausnahme z. B. Jamaica). Das Aufstellen einer Tonerdefabrik in diesen Gegenden verlangt daher gleichzeitig die kostspielige Entwicklung einer umfassenden Infrastruktur, wie es im 1. Teil dieser Beitragsreihe bereits erwähnt worden ist.

Das Bauxitvorkommen in Gove weist eine nachgewiesene Erzmengende von mindestens 250 Mio t auf und kann als mittelgrosse Lagerstätte bezeichnet werden. Es handelt sich hier vorwiegend um einen Trihydratbauxit. Der Gehalt an Aluminiumoxid liegt im Mittel bei 50% und der Gehalt an Silikaten und Quarz, ausgedrückt als  $\text{SiO}_2$ , variiert zwischen 3 und 4%. Der Prozentsatz an Silikaten spielt für die Beurteilung einer Bauxitqualität eine sehr wichtige Rolle. Während der Quarz unter den üblichen Aufschlussbedingungen praktisch unlöslich ist, wird die Kieselsäure, die als Kaolinit vorliegt, angegriffen und verwandelt sich in ein unlösliches Natriumaluminiumsilikat, was gleichzeitig einen Verlust an Aluminium und Natronlauge bedeutet.

Das im Bau befindliche Tonerdewerk in Gove ist bemessen für eine Jahreskapazität von 1 Mio t  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Diese Fabrik umfasst zwei, praktisch identische Produktionsstrassen, wovon die erste Etappe mit einem jährlichen Ausstoss von 0,5 Mio t  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Mitte 1972 in Betrieb genommen wurde. Die Produktionsaufnahme der zweiten Strasse erfolgt ein Jahr später.

## 2. Auslegung des Prozesses

Die Auslegung des Prozesses ist in erster Linie abhängig von der Qualität des zu verarbeitenden Bauxits, dann aber auch vom gewünschten Tonerdetypus.

In der ersten Hälfte des Jahres 1966 haben Geologen der Alusuisse mit der Prospektion des Bauxitvorkommens und

dem Abbau von Erz für die Labor- und Pilot-Plant-Versuche begonnen. Die erste Schiffsladung verliess Gove mit 640 t in Säcken verpacktem Bauxit im Juli 1966. Zwei weitere Schiffe mit 2500 bzw. 2000 t Bauxit als Schüttgut wurden im Juli 1967 und Oktober 1968 beladen.

Die Analyse von 28000 Bauxitmustern wurde im Forschungsinstitut der Alusuisse in Neuhausen grösstenteils mit Hilfe eines Röntgenfluoreszenz-Spektral-Analysengerätes vorgenommen. Gleichzeitig hat man ausgedehnte Laborversuche durchgeführt, um Auskunft über die Aufschliessbarkeit des Bauxits, die Dekantationseigenschaften der Rückstände, die Auswirkung der Nebenbestandteile des Bauxits auf die Reinheit des Endproduktes, den Verlust an Natronlauge usw. zu erhalten. Aufgrund der hierdurch gewonnenen Erkenntnisse, zusammen mit dem Know-how und den Erfahrungen aus den bestehenden Fabriken, wurden die einzelnen Stufen des Kreislaufprozesses bestimmt und die annähernden Betriebsbedingungen festgelegt. An Hand dieser ersten Auslegung des Verfahrens wurden dann die geeigneten Apparaturen ausgewählt und die Produktionseinheiten, Behälter und Rohrleitungssysteme bemessen.

In der zweiten Hälfte 1967 mussten bereits Richtofferten für den Bau und die Ausrüstung der Tonerdefabrik vorliegen, um bis Ende des Jahres die Feasibility-Studie abschliessen zu können.

Es wäre zu riskant, die endgültige Auslegung einer Tonerdefabrik dieses Ausmasses vornehmen zu wollen, ohne den Bauxit nach dem gewählten Verfahren und unter den geplanten Bedingungen nicht über längere Zeit verarbeitet zu haben. Die Alusuisse hat sich im Hinblick auf das Gove-Projekt für den Bau einer Versuchsanlage auf dem Gelände eines bestehenden Konzernwerkes in der Nähe von Venedig entschlossen. Diese Miniaturfabrik ist Ende 1966 fertig erstellt worden. Apparaturen, wie sie heute zum grossen Teil in der Fabrik von Gove zu finden sind, wurden im kleinen Massstab aufgestellt. In dieser Pilot-Plant wird tausendmal weniger produziert als in der ersten Ausbaustufe in Gove. Wie aus Bild 1 ersichtlich, handelt es sich aber um eine ganz ansehnliche Anlage. Im 24-h-Betrieb wurde über mehr als 2 Jahre diese Pilot-Plant betrieben, um die günstigsten Prozessdaten zu ermitteln, Apparaturen und Neuentwicklungen zu prüfen. Die Pilot-Plant hat für die Auslegung der Produktionseinheiten wertvolle Dimensionskennwerte geliefert.

Parallel zu den Laborversuchen und den Untersuchungen in der Pilot-Plant befasste sich ein Stab von Prozess- und Computer-Ingenieuren mit der Ausarbeitung eines mathematischen Modells für den modifizierten Bayer-Prozess. Die Mengen- und Wärmebilanzen sowie die thermischen Vorgänge konnten mathematisch einwandfrei erfasst werden, während für die chemischen Reaktionsvorgänge anhand von empirischen Werten entwickelte Gleichungen sowie auf statistischen Angaben von bestehenden Fabriken beruhende Kurven verwendet worden sind.

Das Computerprogramm ist so gestaltet worden, dass der ganze Prozessablauf mit den Betriebsbedingungen in Form eines Blockdiagramms aufgezeichnet wird. Dieses Computerprogramm gestattet nun, in kürzester Zeit eine Grosszahl von Prozessvarianten innerhalb der durch Labor- und Pilot-Plant-Versuche bereits festgelegten Grenzen zu berechnen. Während die Durchrechnung einer Variante bisher einen Ingenieur mehrere Wochen beanspruchte, benötigt der Computer noch 2 bis 5 min. Dieses Hilfsmittel ermöglichte es dem Verfahreningenieur, die Prozessbedingungen und die Produktionsanlagen optimal auszulegen und auf minimale Verbräuche an Dampf, Strom, Natronlauge und Frischwasser abzustimmen.

Aufgrund des endgültigen Computerprogrammes sind dann die Materialflussschemata für sämtliche Produktionsanlagen

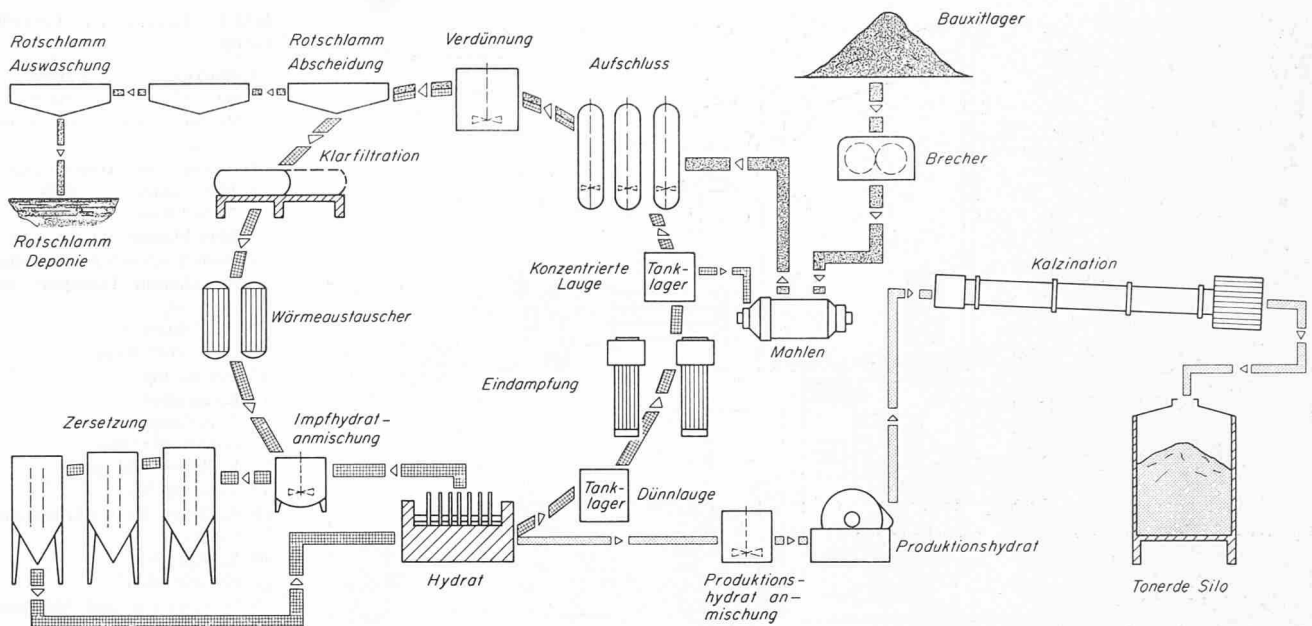


Bild 2. Schema des Bayer-Prozesses

und von denen wiederum die Rohrleitungs- und Instrumentenschemata entwickelt worden.

### 3. Verfahren zur Herstellung von Tonerde

Zur Herstellung von Aluminiumoxid wird praktisch ausschliesslich der Bayer-Prozess angewendet. Sowohl in den Grundzügen wie auch in allen wesentlichen Prozessstufen hat sich das Verfahren kaum verändert.

Die Weiterentwicklung des klassischen Bayer-Verfahrens richtete sich vorwiegend nach wirtschaftlichen Gesichtspunk-

ten. So sind vor allem die früher noch chargenweise durchgeführten Aufschluss- und Ausfällungsprozesse kontinuierlich gestaltet worden. Für den Aufschluss des Bauxites werden höhere Reaktionstemperaturen und tiefere Laugenkonzentrationen verwendet, wodurch die auszudampfende Wassermenge bei der Eindampfung der verdünnten Lauge geringer wird. In einzelnen Fabriken konnte auf eine getrennte Verdampfungsanlage sogar ganz verzichtet werden. Die Apparaturen sind von wesentlich grösserem Ausmass, und zudem kommen moderne Einrichtungen von besserem Wirkungsgrad und rationeller Bedienung zur Anwendung.



Bild 3. Tonerdefabrik auf der Halbinsel «Dundas Point»

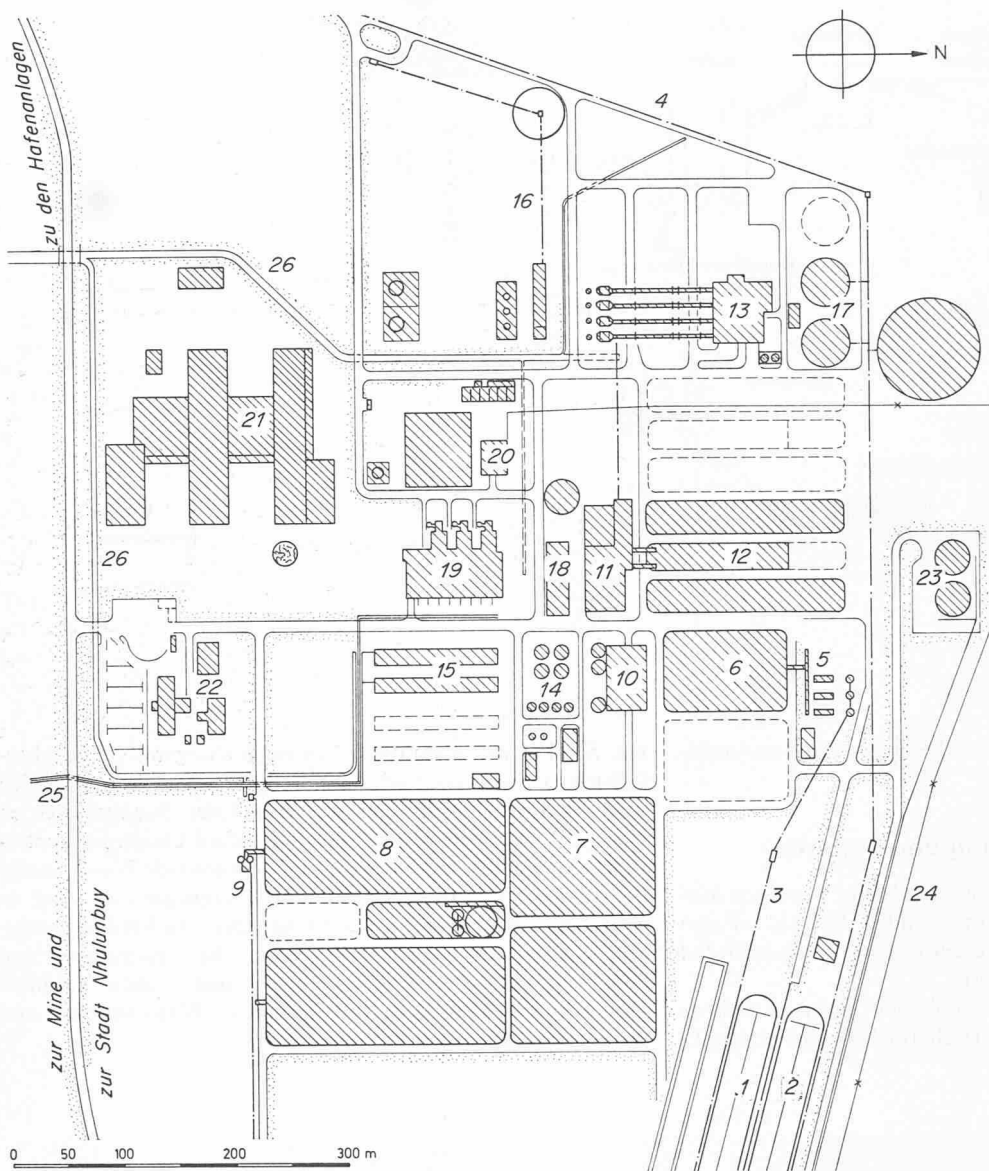


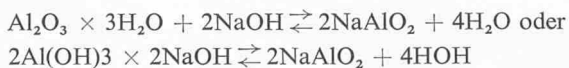
Bild 4. Layout der Tonerdefabrik

- 1 Bauxitlager für Fabrik
- 2 Bauxitlager für Export
- 3 Bauxittransport zur Mahlanlage
- 4 Bauxit- und Tonerdeexport
- 5 Mahlanlage
- 6 Aufschlussanlage
- 7 Rotschlamm-Abscheidung
- 8 Rotschlamm-Auswaschung
- 9 Rotschlamm-Transport zur Deponie
- 10 Klarfiltration
- 11 Hydratfiltration
- 12 Zersetzung
- 13 Kalzination
- 14 Tankfarm
- 15 Eindampfanlage
- 16 Kalkbrennanlage
- 17 Tonerdesilos
- 18 Zentraler Kontrollraum und Labor
- 19 Kraftwerk
- 20 Dieselstation
- 21 Werkstätten und Magazine
- 22 Administration
- 23 Frischwassertanks
- 24 Hochspannungsleitung
- 25 Meerwasserleitungen
- 26 Entwässerungskanäle

Das Prinzipschema des Kreislaufprozesses, nach welchem die Tonerdefabrik in Gove ausgelegt wurde, ist in Bild 2 dargestellt.

Die Aluminiumhydroxide, wie sie im Bauxit in Form von Monohydrat (Boehmit und Diaspor) und Trihydrat (Hydrargillit) vorkommen, werden in wässriger Natronlauge bei erhöhter Temperatur gelöst.

Der Lösevorgang ist reversibel und erfolgt nach folgender Formel:



Beim Aufschluss des Bauxits läuft die Reaktion von links nach rechts ab. Bei Erzen, in denen das Aluminium in Form von Trihydrat vorliegt, genügt zum Aufschluss bereits Siedetemperatur bei Atmosphärendruck. Monohydrat-Bauxite dagegen benötigen Aufschlusstemperaturen über 160°C. Bei höheren Laugenkonzentrationen und Aufschlusstemperaturen läuft die Reaktion wesentlich rascher ab, wobei das Anheben der Temperatur wirkungsvoller ist. Für Monohydrate werden heute Reaktionstemperaturen von 250°C und mehr angewendet. Im allgemeinen wirken sich höhere Aufschlusstemperaturen auch günstiger auf die Dekantation der Rückstände und damit auf die Klärung der Aluminatlauge aus. Die Suspension wird anschliessend auf Umgebungsdruck

entspannt und verdünnt. Wird die verdünnte Lauge während einiger Stunden nahe dem Siedepunkt gehalten, so scheidet sich das in Lösung gegangene Silizium wieder aus in Form von Natriumaluminiumsilikat, so dass ein für die Aluminatlauge zulässiger Restgehalt nicht überschritten wird.

Der nächste Schritt besteht nun darin, die Aluminatlauge unter möglichst geringen Verlusten an Aluminiumoxid und Natronlauge von den Aufschlussrückständen zu trennen. Diese Abscheidung erfolgt heute vorwiegend durch Dekantation der Rückstände in Eindicker-Apparaten. Die Klärung hängt sehr von der Bauxitsorte ab, kann aber durch die Mahlung, Aufschlusstemperatur oder Zugabe von Sedimentationshilfsmitteln beeinflusst werden. Bereits vor dem Zersetzungsprozess wird die Natriumaluminatlauge zur guten Klärung verdünnt. Man muss sich aber im klaren sein, dass das gesamte Verdünnungswasser wieder ausgedampft werden muss, um die Lauge mit genügend hoher Konzentration wieder dem Aufschluss zuzuführen. Bevor die Auskristallisation des Hydrates nach obiger Formel eingeleitet wird, müssen die in der Aluminatlauge enthaltenen Schwebstoffe noch abgeschieden werden, sonst fallen sie mit dem Hydroxid aus und verunreinigen das Endprodukt.

Vor der Ausfällung wird die Klarlauge abgekühlt. Je nach gewünschter Korngrösse und Struktur des Hydrates liegen die Zersetzungstemperaturen zwischen 50 und 70°C.

Diese Ausscheidung erfolgt am Aluminiumhydroxid selbst. Ein Überschuss des produzierten Aluminiumhydroxides wird als Impfstoff zugesetzt, zur Beschleunigung der Reaktion.

Das Aluminiumhydroxid  $\text{Al}(\text{OH})_3$  muss in der Folge in Aluminiumoxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$  übergeführt werden, was durch Kalzination bei einer Temperatur von 1150 bis 1250°C erfolgt. Dies geschieht heute noch vorwiegend in Drehrohröfen. Das Endprodukt – die Tonerde – ist ein weisses, leicht fließendes Pulver, das dann auf rund 70°C abgekühlt in die Vorratssilos gelangt.

Nach Filtrierung des Hydrates wird die Dünnlauge der Eindampfungsanlage zugeführt. Alle Verunreinigungen, die sich in der Aluminatlauge anreichern, wie Silizium, Phosphate und Vanadinsalze, Natriumkarbonate und Oxalate usw., müssen im Laufe des Kreisprozesses als Abfallsalze ausgeschieden werden, um die Reinheit der Tonerde zu gewährleisten. Hierfür müssen spezifische Nebenprozessstufen eingeschaltet werden, mit dem Ziel, die Verunreinigungen in der Natriumaluminatlauge in zulässigen Grenzen zu halten.

Die wichtigsten Rohstoffe, die in Gove für die Herstellung der Tonerde benötigt werden, sind:

- Schweröl (zur Erzeugung von Dampf und elektrischem Strom sowie zur Kalzination der Tonerde)
- Bauxit
- Natronlauge ( $\text{NaOH}$  50%)
- Frischwasser
- Kalkstein
- Dekantations- und Filterhilfsmittel.

#### 4. Lay-out der Fabrik

Nachdem die Lage des Hafens bestimmt war, wurde der wirtschaftlichste Standort der Tonerdefabrik zwischen Mine und Hafen, aufgrund von Transportstudien, festgelegt. Die Wahl fiel auf die knapp 2 km<sup>2</sup> grosse, ziemlich flache Halbinsel von Dundas Point (Bild 3). Die Entfernung von der Fabrik zur Mine beträgt 18 km und zum Hafen 3 km.

Das Hauptmerkmal des Fabrik-Lay-outs ist die Planung von vier praktisch identischen Produktionsstrassen, die weitgehend unabhängig voneinander erstellt und betrieben werden können. Mit vier Strassen wird eine Endkapazität für dieses Tonerdewerk von jährlich 2 Mio t  $\text{Al}_2\text{O}_3$  erreicht.

Die Forderungen an den Lay-out dieser Fabrik können in der Reihenfolge der Wichtigkeit etwa wie folgt zusammengefasst werden:

- Eine kompakte Bauweise der Anlagen der ersten zwei Produktionsstrassen, um unnötige Mehrinvestitionen zu sparen und um mit minimalem Personalbestand auskommen zu können. Gleichzeitig wurde verlangt, dass beim Ausbau der Fabrik gleichartige Produktionsanlagen möglichst zusammengelegt werden können
- Möglichst kurze Transportwege zwischen Rohmaterial- sowie Endproduktlager und der Fabrik, ferner zwischen den einzelnen Produktionsanlagen innerhalb des Werkes. Die Standorte des Bauxit- und Tonerdelagers wurden bestimmt durch den Antransport von der Mine her und den Abtransport zum Hafen
- Zentrale Anordnung des Kontrollzentrums sowie des autonomen Kraftwerkes mit möglichst kurzen Entfernungen zu den Hauptverbrauchern von Dampf und elektrischem Strom
- Berücksichtigung der Baugrundverhältnisse bei der Anordnung der schweren Gebäude, Behälter und Silos
- Ausnützung der Topographie und Berücksichtigung der Hauptwindrichtungen.

Diese Forderungen konnten weitgehend eingehalten werden. Wie aus dem Gesamtdispositionsplan, Bild 4, hervor-



Bild 5. Hydrat- und Sicherheitsfiltrationsgebäude

geht, ist der Antransport des Erzes vom Bauxitlager zu den Vorratssilos der Mahlanlage sowie der Abtransport der Tonerde von der Kalzination zu den 50000-t- bzw. 100000-t-Silos äusserst kurz, und die Lager liegen auf einer ziemlich direkten Verbindungslinie zwischen Mine und Hafen. Die gewaltigen Tonerdesilos und die schweren Hochzersetzer sowie das Kraftwerk konnten auf felsigen Untergrund gestellt werden, während das Bauxitlager und die grosse Zahl der flachen Eindicker-Apparate auf der Ostseite der Fabrik auf sandigem Boden stehen. Auch befindet sich die Verdampfanlage, als weitaus grösster Dampfverbraucher, in unmittelbarer Nähe des Kraftwerkes.

#### 5. Beschreibung der wichtigsten Produktionsanlagen

Die Tonerdefabrikation gehört zur Schwerchemie-Industrie. Das auffallendste am neuen Werk in Gove sind die Grösse der Fabrik selbst, die Abmessungen der Produktionsapparate, die gewaltigen Rohrleitungssysteme, in denen Ströme in der Grössenordnung von 1000 m<sup>3</sup>/h zwischen den Abteilungen zirkulieren, und die – dank einer umfassenden Automatisierung – verhältnismässig kleine Anzahl Betriebsleute.

Die Produktionsanlagen, wie sie nachfolgend beschrieben werden, sind für die beiden Ausbaustufen von je 0,5 Mio t  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Jahreskapazität praktisch identisch. Die folgenden Angaben beziehen sich deshalb jeweils nur auf eine Produktionsstrasse.

##### Bauxitlager

Im Interesse eines optimalen Betriebsablaufes ist eine Beschickung der Fabrik mit möglichst konstanter Bauxitqualität anzustreben. Je geringer die Abweichungen in der Zusammensetzung des Rohmaterials gehalten werden können, um so präziser wird die Chargierung der Aluminatlauge und damit

verbessert sich der Gesamtwirkungsgrad der Produktionsanlagen. In Gove wird die Qualität des aus der Grube angelieferten Materials durch geschicktes Einlagern und Abbauen des Bauxits auf den beiden Mischhalden von je  $2 \times 125\,000$  t Inhalt ausgeglichen (Bild 3). Der Absetzer und das Schaufelrohr-Haldenräumgerät sowie deren Arbeitsweise wurden bereits im 2. Teil, Abschnitt 5, «Bauxitlager» beschrieben.

Die Schwankungen in der Bauxitqualität bei der Anlieferung von der Mine von  $\pm 2$  bis 3% im Aluminiumoxid-Gehalt können so auf  $\pm 0,5$  bis 1,0% verringert werden.

#### Mahlanlage

Der Bauxit wird über eine Bandwaage kontinuierlich aus dem Vorratsbunker abgezogen. Gleichzeitig wird die Feuchtigkeit des Bauxits gemessen, so dass stets eine konstante Bauxitmenge gleichmässiger Qualität dem Prozess zugeführt werden kann.

Eine aus zwei Abteilen bestehende Kugel-Stangenmühle vermahlt den vorgebrochenen Bauxit auf die für den anschliessenden Prozess erforderliche Feinheit. Bei der Mahlung muss auf eine optimale Körnung geachtet werden, die es erlaubt, einerseits die Tonerde vollständig herauszulösen, andererseits aber keinen zu hohen Feinanteil aufweisen darf, der bei der Abscheidung der Rückstände durch Dekantation oder Filtration Schwierigkeiten bereiten könnte. Die Mühle verarbeitet unter Beimischung von Aluminatlauge stündlich 160 t Bauxit bei einer gesamten Stromaufnahme von rund 1700 kW.

#### Aufschlussanlage

Für die Aufheizung des Aufschlussgemisches, bestehend aus gemahlenem Bauxit und Natriumaluminatlauge, auf die erforderliche Aufschluss-temperatur sind verschiedene Methoden entwickelt und Anlagen gebaut worden, denen wirtschaftliche Überlegungen zugrunde liegen. Das stufenweise Aufheizen der Suspension in einer Reihe von Autoklaven, die mit Heizregistern ausgerüstet sind, ist unter dem Namen «Ein-stromverfahren» bekannt. Demgegenüber steht das «Zwei-

stromverfahren», bei dem die Lauge getrennt in dampf-beheizten Röhrenwärmeaustauschern aufgeheizt wird und die von der Mühle kommende Bauxitsuspension erst unmittelbar vor oder im Reaktor selbst mit der Hauptlauge menge gemischt und, falls erforderlich, durch direktes Einblasen von Dampf auf die Reaktionstemperatur gebracht wird. Eine Entwicklung der jüngsten Zeit ist der «Rohraufschluss», der aus einem mehrere hundert Metern langen – in Schleifen gelegten – Doppelrohr besteht, in dem die Wärme vom zu kühlenden Medium an die aufzuheizende Suspension abgegeben wird. Die Abkühlung der Suspension bei sämtlichen drei Systemen erfolgt vorwiegend in einer Reihe von Entspannungsgefässen. Die frei werdende Wärme in Brüden-Form wird vollständig in der Anlage zum Aufheizen der Lauge bzw. der Suspension ausgenutzt.

Die für Gove gewählte Aufschlussanlage ist nach dem «Zweistromverfahren» ausgelegt. Die Natriumaluminatlauge mittlerer Konzentration wird in zwei parallelen Strassen von Wärmeaustauschern stufenweise aufgeheizt und mit der Bauxit-Suspension unmittelbar vor der Einspeisung in den ersten Autoklaven gemischt. Die Enderwärmung und Deckung der Reaktionswärme erfolgt durch Einblasen von Frischdampf in die Autoklaven.

#### Abscheidung der Rückstände

Die entspannte Aluminatlauge wird dann auf die gewünschte Natronlaugekonzentration verdünnt und zur Anlage für die Abscheidung der Rückstände gefördert. In einem hochgestellten Hydroseparator werden zuerst die gröberen Rückstände ausgeschieden. Diese Vorabscheidung des sandigen Anteils ist erforderlich, um in den anschliessenden flachen Eindicker-Apparaten keine Störungen durch Sandanhäufung zu verursachen. In den grossen Eindicker-Apparaturen wird den Feststoffteilchen durch Verlangsamung des Laugenflusses Zeit gegeben, sich aufgrund der Schwerkraft abzusetzen. Die abgesetzten Rückstände werden dann durch ein langsam laufendes Krählwerk an die Peripherie des Behälters gefördert



Bild 6. Kalzinieranlage und Tonerdesilos im Bau

und dort durch Schlammumpfen abgezogen. Die gesamte Menge der abgeschiedenen Rückstände – Rotschlamm genannt – entspricht nahezu der Tonerdeproduktion. Die klare Aluminatlauge fliesst in die am Behälterrand der Eindicker befestigten Überlaufkanäle ab.

Da etwa 20% der Aluminatlauge dem Rotschlamm anhaftet, muss eine Gegenstrom-Auswaschung nachgeschaltet werden zur Rückgewinnung dieser Aluminatlauge. Für diese Operation werden Eindickerapparate ähnlicher Abmessung, wie oben erwähnt, verwendet. Die benötigte Anzahl Waschstufen beruht auf einer wirtschaftlichen Überlegung. Dabei spielen ausser den Beschaffungskosten der Eindicker der Preis der Natronlauge und die Eindampfungskosten für das Waschwasser eine entscheidende Rolle.

Der aus der letzten Waschstufe abgezogene Rotschlamm wird mit Meerwasser verdünnt und über eine Entfernung von etwa 5 km in einen Mangrovensumpf gepumpt. Dies trägt zur Landverbesserung bei, da die aufgefüllten Gebiete anschliessend neu bepflanzt werden. Als Leitungsmaterial wurden für den 1. Abschnitt aus Festigkeitsgründen Stahlrohre und für den 2. Abschnitt Polyäthylenrohre verwendet.

### Klarfiltration

Um die Aluminatlauge vor der Zersetzung so vollständig wie möglich von den restlichen Schwebestoffen zu befreien, wird der Klarlauf der Eindicker noch in Kelly-Druckfiltern abfiltriert. Die Filter sind erhöht aufgestellt, mit freiem Zulauf zu den Stapelbehältern. Gleichzeitig befinden sich im Erdgeschoss des Gebäudes die Behälter für die Filter-Hilfsmittel-Zubereitung und die Lagerbehälter für Reinigungsflüssigkeiten. Diese sind über ein komplexes Leitungssystem mit den Filtern verbunden.

### Wärmeaustauscheranlage

Für das Abkühlen der Klarlauge dienen Plattenwärmeaustauscher, wobei man als Kühlflüssigkeit die ausgerührte Dünnlauge benützt, die so auf dem Weg zur Eindampfanlage

vorgewärmt wird. Diese Plattenwärmeaustauscher weisen sehr hohe Wärmeübergangszahlen auf und können wegen ihrer kleinen Abmessungen zweckmässig im Gebäude aufgestellt werden. Es wurden die grössten zurzeit auf dem Markte erhältlichen Plattenwärmeaustauscher verwendet, die eine Gesamtfläche von 400 m<sup>2</sup> pro Einheit aufweisen. Die Endkühlung der gesättigten Aluminatlauge erfolgt mittels Kühlwasser.

Die Nachteile dieser Plattenwärmeaustauscher sind nach wie vor die Dichtungen, die bei Wasserschlägen oder sonstigen schnellen Druckschwankungen gerne herausplatzen und undicht werden.

### Zersetzung

Die markanten hohen Behälter (Bild 3) sind die Zersetzer, in denen die Aluminatlauge ausgerührt bzw. das Aluminiumhydroxid auskristallisiert wird. Am Anfang der Zersetzung stehen Behälter, die mit mechanischen Rührwerken ausgerüstet sind. Die Suspension wird dann in die mit Luft gerührten, konischen Zersetzer von 3000 m<sup>3</sup> gefördert. Diese stehen am Hang, was ein Überfließen der Suspension durch Schwerkraft gestattet.

Das mechanische Rührwerk erbringt pro Stunde eine 30fache Umwälzung des Inhaltes, während mit der Luftrührung eine zwei- bis dreifache Umwälzung pro Stunde erreicht wird. Die Handhabung von Suspension mit hohem Feststoffgehalt ist nicht ganz ungefährlich, da bei Ausfall von Luft oder Strom das Hydrat schnell absetzt.

### Hydratfiltration

Zur Abscheidung des Produktions- und Impfhydrates dienen Scheibenfilter. Während der grössere Anteil als Impfstoff über die Zersetzer rezirkuliert, gelangt der Produktionsanteil zur zweiten Filtrationsstufe. Auf Trommelfiltern wird aus dem Produktionshydrat die restliche Aluminatlauge zusammen mit weiteren Verunreinigungen ausgewaschen. Diese Scheiben- und Trommelfilter sind an ein gemeinsames Vakuumsystem angeschlossen. Die ganze Filterstation, zusam-



Bild 7. Kalksteinlager und Fabrikation von gebranntem Kalk



men mit den Vakuumpumpen und Plattenwärmeaustauschern, ist im Hydratfiltrationsgebäude (Bild 5, Mitte) untergebracht.

### Eindampfanlage

Die ausgerichtete Aluminatlauge wird in der Eindampfanlage aufkonzentriert. Es handelt sich hier um einen Mehrstufen-Entspannungsverdampfer. Das Prinzip besteht darin, dass die Lauge in Röhrenwärmeaustauschern auf 130 °C aufgeheizt wird und dann in 13 Entspannungsstufen auf 55 °C ausgedampft wird. Die Brüden der ersten 10 Stufen werden zur Aufwärmung des Laugenstromes verwendet, während in den letzten 3 Stufen die Brüden mit Meerwasser niedergeschlagen werden. Die in die Eindampfanlage eingespeiste Dünnlauge macht rund 50% des im System zirkulierenden Laugenstromes aus.

Die konzentrierte Lauge wird dann in grossen Zwischenbehältern gestapelt und von dort aus wieder der Aufschlussanlage zugeführt, womit der Laugen-Kreislauf geschlossen ist.

### Kalzination

Für die Kalzination des Aluminium-Hydroxides wurden Drehrohröfen mit Satellitenkühlern gewählt (Bild 6). Das Hydroxid wird im Gegenstrom durch das heisse Gas getrocknet und auf 1150 bis 1250°C erhitzt. Die Abkühlung erfolgt dann in den Satellitenkühlern mit der Sekundärluft für die Verbrennung auf 350°C. In Fluidisierkühlern wird die Tonerde durch indirekte Wasserkühlung weiter auf 90 °C abgekühlt.

Die mit den Rauchgasen mitgerissene Tonerde wird über Zyklone und elektrostatische Filter abgeschieden und dem kalten Ofenende wieder zugeführt. Die rezirkulierende Staubmenge kann grösser sein als die Produktionsmenge. Die Jahreskapazität eines Drehrohrrofens beträgt 0,25 Mio t Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Die Feuerung geschieht mit Schweröl, wobei je Tonne Tonerde rund 100 kg Öl verbraucht wird. Der Transport der Tonerde zu den Silos erfolgt pneumatisch. Das Material wird vertikal hoch transportiert und über schwach geneigte Fluidisierinnen in die Silos gefördert.

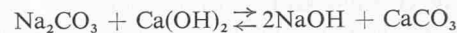
### Tonerde-Silos

Für die Lagerung der Tonerde sind zwei zylinderförmige Betonsilos gebaut worden mit einem Inhalt von je 50000 t. Der leicht zur Mitte hin geneigte Boden der Silos von über 40 m Durchmesser ist mit sternförmig angeordneten Fluidisierinnen abgedeckt, die eine stündliche Entladung von 2000 t

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ermöglichen. Für den Ausbau der Fabrik auf 1 Mio t Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ist ein Domsilo von 100000 t Inhalt und 90 m Durchmesser vorgesehen.

### Herstellung von Kalk und Kalkmilch

Die organischen Substanzen, die mit dem Bauxit in den Kreislauf gelangen, werden gelöst und bewirken über verschiedene Oxidationsstufen die Bildung von Natriumkarbonat. Soda in der Aluminatlauge bedeutet aber Ballast und wird deshalb in der Kaustifizierung – einem Nebenprozess – wieder in aktive Natronlauge umgewandelt nach der Formel:



Die erforderliche Kalkmilch wird aus gebranntem Kalk in einer kleinen Kalkmilchaufbereitungsanlage produziert.

Der gebrannte Kalk wird in Gove aus importiertem Kalkstein hergestellt. Der Kalkstein wird mit einem Transportband auf den Kegelfirst eines offenen Lagers gehoben. Über Rüttelschuppen wird das Material auf ein in einem unterirdischen Kanal verlegtes Transportband aufgegeben und dem Tagessilo zugeführt (Bild 7).

Beim Kalkbrennofen handelt es sich um einen zyklisch arbeitenden Gleichstrom-Regenerativ-Ofen. Wie der Name sagt, wird das Gut im Gleichstrom gebrannt und die Verbrennungsluft wird regenerativ vorgewärmt, was nur in einem Doppelschachtofen möglich ist, dessen Beheizung und Gasströmung periodisch umgesteuert wird.

### Werkstätte und Magazin

Für eine abgelegene Fabrik, wie das bei der Gove-Fabrik zutrifft, sind gut ausgerüstete mechanische und elektrische Werkstätten, sowie Rohrschlosserei, Schweisserei usw. ausserordentlich wichtig. Gleichzeitig muss auch gewährleistet sein, dass ein umfassendes Ersatzteillager vorhanden ist. Man rechnet in der Zukunft, dass bis zu 40000 Artikel am Lager sein werden.

Abschliessend sei noch erwähnt, dass mit wenigen Ausnahmen als Konstruktionsmaterial für die Apparaturen, Behälter und Rohrleitungssysteme normaler Stahl verwendet werden kann, was als ein wesentlicher Vorteil des Bayer-Verfahrens anzusehen ist.

*Fortsetzung folgt*

Adresse des Verfassers: Kurt Kaeslin, dipl. Ing. ETH, Prokurist, Aluisse Engineering AG, Postfach 390, 8048 Zürich.

## Schwedenschnitt – ja oder nein?

DK 691.55

Wenn heruntergehängte Decken zu verputzen sind – z. B. Perfecta- oder Moriggiadecken – so gilt es als selbstverständlich, dass der Putz von den angrenzenden Wänden getrennt wird. Der Putz wird also durchgeschnitten, man erstellt einen *Schwedenschnitt*. Dadurch wird erreicht, dass sich die Decke unabhängig von angrenzenden Bauteilen geringfügig frei bewegen kann und somit unliebsame Putzrisse an den Grenzonen verhindert werden.

Der Schwedenschnitt ist auch dann zu erstellen, wenn eine Decke verputzt wird, die vollflächig in die Schalung verlegte Isolierplatten (Perfecta-, Kork- oder Polystyrolplatten) aufweist, wie dies häufig unter Flachdächern anzutreffen ist. Damit kann der Entstehung von diagonalen Putzriszen wesentlich entgegengewirkt werden.

Ein nicht ganz gelöstes Problem stellt offenbar die Frage des Schwedenschnittes im Deckenputz auf Betondecken dar. Hier kann die Antwort, ob ein Schwedenschnitt notwendig ist oder nicht, mit weniger Eindeutigkeit

gegeben werden, denn sie hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie

- Deckenspannweite, Funktion (z. B. Decke unter Flachdach), Durchbiegung unter Nutzlast
- Konstruktion der Decke, Lage und Güte der thermischen Isolation
- Alter und Nachbehandlung im Hinblick auf das zu erwartende Schwinden
- Lage nichttragender Trennwände
- Druck- bzw. Biegezugfestigkeit des Verputzmaterials
- Haftung des Verputzes.

Unterliegen Betondecken Temperaturwechseln, so sind grössere und immer wiederkehrende Längenänderungen zu erwarten. Sind solche Decken im Winter zu einem Zeitpunkt, wo das Höchstmass an Schwinden überwunden ist, verputzt worden, so kann durch die im Sommer zu erwartende Wärmeausdehnung ein seitliches Abscheren des Putzes auftreten. Die früher üblichen Horizontalrisse im