

SEROX - ein Tonerderohstoff aus der Aufarbeitung von Aluminium-Salzschlacke

*R. Feige, alumina.de - Industrieberatung, Schwelm
G. Merker, ALSA Aluminium-Salzschlacke Aufbereitungs GmbH, Lünen*

Zusammenfassung

SEROX ist ein vom Reststoff zum preisgünstigen, hochtonerdehaltigen Rohstoff mit gesicherter Verfügbarkeit gewandeltes Produkt. In Verbindung mit dem zunehmenden Recycling von Aluminium und der Aufarbeitung von Aluminiumsalzschlacke werden derzeit jährlich schon fast 150.000 Tonnen SEROX gewonnen und vollständig als Produkt verwertet, hauptsächlich als Tonerderohstoff bei der Herstellung von Zementklinker und Mineralwolle. Weitere Einsatzgebiete sind in der Entwicklung, wie z.B. kalziniertes Pulver (für feuerfeste Keramik-Produkte und Mineralschaum-Dämmstoffe) sowie gesintertes Calciumaluminat (als Schlackenbildner für Stahl oder als Bindemittel).

Summary

SEROX is a non-conventional high alumina bearing raw material deriving from the processing of Aluminium salt slags. Originally having been a waste material SEROX has been developed to a valuable product of ready availability. At present nearly 150,000 tons per year of SEROX are produced and completely used for making cement clinker and mineral wool. But, there are other promising fields for utilizing calcined SEROX grades as refractory raw material, light building mineral foam, calcium aluminate type binder or synthetic steel slag fluxing agent.

1. Einleitung

Für die natürlichen, hochtonerdehaltigen Rohstoffe

- Andalusit, Kyanit, Sillimanit (mit etwa 50 - 60 % Al_2O_3) und
- Bauxit (mit etwa 50 - 90 % Al_2O_3),

gibt es in Deutschland keine Vorkommen. Bei der Einfuhr dieser Rohstoffe verteuert zudem ein hoher Dollarkurs die Kosten. Eine preisgünstige Alternative, mit gesicherter Verfügbarkeit und unabhängig vom Dollarkurs, bietet der hochtonerdehaltige Sekundärrohstoff SEROX, der aus Aluminium-Salzschlacke gewonnen wird.

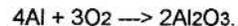
Die Aufarbeitung von Salzschlacke zur Rückgewinnung von Aluminiummetall und Schmelzsatz wird in Deutschland seit 1985 durchgeführt. SEROX, der hochtonerdehaltige Rest dieser Aufarbeitung, hat sich mittlerweile seit mehreren Jahren als Tonerde-Träger (Bauxit-Ersatz) bei der Herstellung von Portlandzementklinker und Mineralwolle bewährt und wird auf dieser Grundlage inzwischen zu 100 % verwertet. An weiteren Einsatzmöglichkeiten wird derzeit gearbeitet. Dazu ist es erforderlich, SEROX in seinen Produkteigenschaften für die verschiedenen Anwendungen anzupassen und zu optimieren. Über die Entwicklung von Produktvarianten und über weitere Perspektiven in Bezug auf die Einsatzmöglichkeiten von SEROX wird im Rahmen dieses Beitrages berichtet. Einleitend werden zunächst einige Erläuterungen zur Entstehung von Salzschlacke und zur Gewinnung von SEROX gegeben.

2. Aufarbeitung von Aluminium-Salzschlacke

Aluminiummetall wird primär durch Schmelzelektrolyse von Aluminiumoxid erzeugt. Der Prozess der primären Metallerzeugung hat einen hohen Bedarf an Rohstoffen und elektrischer Energie und ist mit einer erheblichen Deponie von Reststoff und einer hohen CO₂-Emission verbunden. Je Tonne Primäraluminium werden etwa 4 Tonnen Bauxit benötigt, aus denen etwa 2 Tonnen Aluminiumoxid erzeugt werden. Dabei wird der Bauxit nasschemisch aufgeschlossen. Der unlösliche Rückstand (Rotschlamm) kann nicht nutzbringend verwertet werden und muß daher zur Deponie gehen. Das gelöste Aluminiumhydroxid wird ausgefällt, abfiltriert und zu Oxid kalzinert. Bei der anschließenden elektrolytischen Gewinnung von Primäraluminium aus Aluminiumoxid werden pro Tonne Metall durchschnittlich etwa 14.900 Kilowattstunden (KWh) benötigt und 1,5 Tonnen Kohlendioxid emittiert. [1]

Auch durch Recycling von Aluminiumschrotten wird wieder hochwertiges Aluminium hergestellt, das "Sekundäraluminium". Im Vergleich zur Primärherstellung ist der Energieeinsatz für das Recycling bis zu 95 % niedriger. Aluminiumschrotte sind die einzigen in Deutschland unmittelbar verfügbaren Rohstoffe zur Aluminiumgewinnung. In Deutschland werden jährlich etwa 2 Millionen Tonnen Aluminium verbraucht. Davon werden etwa 600.000 Tonnen primär und etwa 500.000 Tonnen sekundär erzeugt. [2-4]

Aluminium hat eine hohe Affinität zum Sauerstoff. Aluminium kann daher verhältnismäßig leicht wieder in Aluminiumoxid zurückverwandelt werden gemäß:



Dieser Vorgang setzt bereits bei Raumtemperatur ein, wobei sich schon eine frisch bearbeitete Aluminiumoberfläche im Kontakt mit Luft-Sauerstoff mit einer dünnen Oxidhaut überzieht. Beim Schmelzen und Gießen von Aluminium an Luft bei Temperaturen von etwa 800°C ist die Metalloxydation sehr viel stärker. Die dann entstehende "Krätze" (ein Gemisch von feinkörnigen Oxidpartikeln und Metall) kann die Oberfläche der Schmelze cm-dick bedecken. In einer Veröffentlichung von I. Alfaro [5] werden die Vorgänge bei der Krätzebildung beschrieben. Die Größenordnung der Oxidpartikel wird mit etwa 0,3 mm angegeben. Der Metallgehalt von Krätzen kann im Bereich zwischen 20 bis 78 % liegen.

Zur Rückgewinnung von Aluminium werden Schrotte und Krätzen in Drehtrommelöfen unter einer Abdeckung aus Salz eingeschmolzen, um die Oxidation des Metalls möglichst gering zu halten. Das "Schmelzsatz" - eine Mischung aus z.B. etwa 70 % NaCl, 28 % KCl

und 2 % CaF₂ - bindet die Oxide zu einer Salzschlacke mit einem reduzierten Restanteil von etwa 10 % Aluminium-Metall. Der Salzschlackenanteil pro Tonne produzierten Sekundäraluminiums liegt je nach Einsatzmaterial zwischen 200 und 400 Kilogramm [3], und kann aber auch bis zu 700 Kilogramm erreichen [6].

Ehemals ein typisches Deponiegut (besonders überwachungsbedürftiger Abfall) wird die in Deutschland und den meisten Ländern Mitteleuropas anfallende Salzschlacke heute in speziellen Anlagen aufbereitet. Je nach technischem Niveau der Anlagen werden die in der Schlacke enthaltenen Stoffe in unterschiedlichem Maß zurückgewonnen, das Schmelzsatz praktisch vollständig, das metallische Aluminium zu mehr als 80 %. Der Rest besteht zu einem hohen Anteil aus Aluminiumoxid. Zurückgewonnenes Metall und Salz werden in Schmelzwerken wieder zum Erschmelzen von Aluminium eingesetzt.

Für die Aufarbeitung von Salzschlacken aus Deutschland und einigen Nachbarländern betreibt die zur B.U.S Berzelius Umwelt-Service AG, Duisburg, gehörende ALSA Aluminium-Salzschlacke Aufbereitungs GmbH zwei zentrale Anlagen, eine in Lünen und die andere in Hannover. Der Stoffinhalt der Salzschlacken wird dabei komplett verwertet. Als Produkte entstehen:

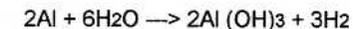
- a) Salzprodukt (RESAL-Schmelzsatz),
- b) Aluminium-Metallprodukt,
- c) Oxidprodukt (SEROX),
- d) Ammoniumsulfat.

Aufgrund der zentralen Aufarbeitung der Salzschlacken der deutschen Aluminium-Schmelzwerke ist für das dabei gewonnene tonerdehaltige Oxidprodukt eine hohe Produktgleichmäßigkeit gewährleistet. Die Produktionsmenge an SEROX, die mittlerweile die Größenordnung fast 150.000 Tonnen pro Jahr erreicht hat, wird wegen des wachsenden Aluminiumverbrauchs und der steigenden Recyclingrate weiter zunehmen. Damit ist eine steigende Verfügbarkeit gesichert.

Bild 1 zeigt das vereinfachte ALSA-Verfahren der Aufarbeitung von Aluminium-Salzschlacke, mit den folgenden wesentlichen Schritten:

- mechanische Zerkleinerung
- Metallabtrennung durch Klassierung
- Auswaschen der Salzkomponenten mit Wasser
- Prozessgasreinigung und Gewinnung von Ammoniumsulfat
- Abfiltrieren der wasserunlöslichen Oxide (SEROX) und
- Auskristallisieren des gelösten Schmelzsatzes RESAL.

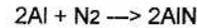
Durch die Naßaufbereitung kommt das mechanisch nicht abgetrennte, feinkörnige Rest-Aluminium mit Wasser in Kontakt und reagiert dabei zu einem erheblichen Teil zu Aluminiumhydroxid und Wasserstoff:



Als weiteres Gas wird Ammoniak entwickelt, aus der Reaktion von Aluminiumnitrid und Wasser, wobei sich ebenfalls Aluminiumhydroxid bildet:



Das Aluminiumnitrid stammt daher, daß Aluminium beim Schmelzen an Luft nicht nur mit dem Luft-Sauerstoff reagiert, sondern - zu einem geringeren Anteil - sich auch mit dem Luft-Stickstoff verbindet:



Bei der intensiven Naßaufbereitung wird das Aluminiumnitrid weitestgehend abreagiert. Der Ammoniak wird in einer Gasreinigung aufgefangen und zu Ammoniumsulfat-Düngemittel umgewandelt. Ein Restanteil an Ammoniak verbleibt allerdings im Prozeßwasser gelöst. Das filterfeuchte Produkt, ursprünglich als "OXITON" bekannt, weist daher einen deutlichen Geruch nach Ammoniak auf.

Bei einer Feuchte von 30 - 35 % hat das Oxidprodukt eine schlammige Konsistenz, mit einer schlechten Förder- und Dosierbarkeit. Zur Verbesserung der Produktqualität wird eine Nachbehandlung durchgeführt, in deren Ergebnis sich die Restfeuchte auf < 25 % verringert. Dieses verbesserte Produkt, "SEROX" genannt, hat eine krümelige, rieselfähige Konsistenz, mit nur noch geringem Geruch nach Ammoniak. Wird SEROX vollständig getrocknet, verflüchtigt sich der Ammoniak und damit verschwindet auch der Geruch.

3. Eigenschaften von SEROX

Bezogen auf getrocknete Substanz hat SEROX eine chemische Zusammensetzung (Tabelle 1), die durch die Legierungsbestandteile des Aluminium-Metalls (im wesentlichen Silizium und Magnesium) und die darauf zurückzuführenden Oxide bestimmt wird.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von SEROX

Al ₂ O ₃	%	59 - 63
SiO ₂	%	7 - 12
MgO	%	7 - 10
CaO	%	2 - 5
Fe ₂ O ₃	%	1,5 - 2
F	%	1 - 2,5
Cl	%	≤ 0,3
TiO ₂	%	≤ 0,2
Glühverlust	%	ca. 10.

Das Aluminiumoxid liegt hauptsächlich als Korund und Spinell vor (Tabelle 2). Dies ist dadurch zu erklären, daß die Oxidation von Aluminiummetall beim Schmelzen stark exotherm abläuft. Hierbei entstehen - zumindest punktuell - so hohe Temperaturen, daß das gebildete Aluminiumoxid in der Hochtemperaturmodifikation Korund anfällt. Das Magnesium reagiert sogar noch leichter und noch stärker exotherm mit Sauerstoff als das Aluminium. Daher bildet sich in den Oxidhäuten zunächst Magnesiumoxid, das sich mit dem Aluminiumoxid in Spinell MgO·Al₂O₃ umwandelt [7].

Tabelle 2: Phasenanalyse von SEROX

Al-Hydroxide	30 - 35 %
Korund	20 - 25 %
Mg-Spinell	22 - 27 %
Silikate	6 - 10 %
Flußspat	2 - 4 %
Al-Metall	2 - 3 %
Si-Metall	1 - 2 %
Fe-Metall	1 - 1,5 %

SEROX hat folgende Kornverteilung:

< 0,5 mm	85 - 95 %
< 0,2 mm	65 - 80 %
< 0,1 mm	45 - 60 %

Die Reindichte beträgt ca. 2,9 g/cm³.

Der Schmelzpunkt (Erhitzungsmikroskop) liegt bei >1680°C.

Für keramische und feuerfeste Anwendungen ist das Sinterverhalten von Interesse. Ein Sinterest mit Pulverpreßlingen (Durchmesser 25 mm, Dicke 10 mm, Preßdruck 50 N/mm²) wurde in einem elektrisch beheizten Laborkammerofen durchgeführt. Wie aus Tabelle 3 folgt, hat SEROX im Bereich zwischen 600°C und 1200°C eine thermische Ausdehnung [0,28 % / 100 K], die im Vergleich zu der von reinem Aluminiumoxid [0,08 % / 100 K] deutlich höher ist. Diese starke Ausdehnung hängt mit der Volumenvergrößerung zusammen, die sich durch die Oxidation von metallischem Aluminium zu Aluminiumoxid in diesem Temperaturbereich ergibt. Ab 1200°C beginnt die Sinterschwindung und die damit verbundene Zunahme der Rohdichte und Verringerung der offenen Poren.

Tabelle 3: Sinterverhalten von SEROX

Temperatur [°C]	Rohdichte [g/cm ³]	offene Poren [Vol.-%]	scheinbare Dichte [g/cm ³]	Dehnung/Schwindung [%; linear]
110	1,66	-	-	-
600	-	-	-	+0,3
1100	1,47	55,8	3,32	+1,9
1200	-	-	-	+2,0
1300	-	-	-	-0,7
1400	2,42	26,7	3,30	-8,7

4. Einsatzmöglichkeiten für SEROX

Aufgrund der Gehalte an Aluminiumoxid und metallischem Aluminium konzentrieren sich die Möglichkeiten zur Verwendung von SEROX auf diese beiden Haupteigenschaften. Die Kornfeinheit und der Schmelzpunkt geben weitere Ansatzpunkte.

4.1. Portlandzementklinker

Als erstes Einsatzgebiet für SEROX, bzw. auch schon für OXITON, ergab sich bereits seit Anfang der 1990-er Jahre die Verwendung als Al_2O_3 -Träger bei der Herstellung von Portlandzement. Al_2O_3 dient hier der Bildung der Mineralphasen C_3A und C_4AF . Bei der üblichen Zusammensetzung von Portlandzement (Tabelle 4) wird ein zusätzlicher Tonerde-Träger (z.B. Bauxit oder SEROX) benötigt, wenn die vorhandenen Rohstoffe des Zementwerkes eine Aufstockung oder Feinkorrektur des Al_2O_3 -Gehaltes erfordern.

Durch Zusatz von SEROX zum Rohmehl hat sich gezeigt, daß im Vergleich zu Bauxit

- die Klinkerbrenntemperatur gesenkt und
- der Weißgrad des Zements

verbessert wird. Vorteilhaft für die Energiebilanz des Klinkerbrandes ist die exotherme Energie, die bei der Oxidation des Aluminiummetall-Anteils bei Temperaturen oberhalb $600^\circ C$ frei wird. Der Fluorid-Gehalt von SEROX wird in die Mineralstruktur des Zementklinkers als $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ eingebunden und damit nicht emittiert. Diese Mineralphase begünstigt zudem die Frühfestigkeit von Zement.

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung von Portlandzement

CaO	%	ca. 60 – 70
SiO ₂	%	ca. 18 – 24
Al ₂ O ₃	%	ca. 4 – 8
Fe ₂ O ₃	%	ca. 1 – 4
MgO	%	ca. 0,5 – 4
SO ₃	%	ca. 2 – 3,5

4.2. Mineralwolle

Mineralwolle (Steinwolle, Schlackenwolle) wird durch Aufschmelzen von Gesteinen (Basalt), Schlacken (Flugasche) in Kupol- oder Elektroöfen und anschließendes Zerfasern eines Schmelzstrahls mit Blas- oder Schleudereinrichtungen erzeugt. Bei der chemischen Zusammensetzung der Mineralwolle (Tabelle 5) wird durch Erhöhung des Al_2O_3 -Gehalts eine bessere biologische Löslichkeit der Faser erreicht und damit das Risiko einer möglicherweise krebserzeugenden Wirkung verringert. Zur Erhöhung des Gehalts an Aluminiumoxid ist die Zugabe eines Tonerdeträgers erforderlich. Bei Einsatz von SEROX anstelle von kalzinierter Bauxit ergibt sich vorteilhafterweise

- eine Reduzierung der Rohstoffkosten,
- eine niedrigere Schmelztemperatur und
- eine geringere Viskosität der Schmelze.

Wie bei Portlandzementklinker ist auch hier der exotherme Vorgang der Oxidation des Anteils an metallischem Aluminium günstig für die Energiebilanz des Schmelzprozesses.

Tabelle 5: Chemische Zusammensetzung tonerdehaltiger Mineralfasern [8]

SiO ₂	%	38 - 46
CaO	%	15 - 38
Al ₂ O ₃	%	10 - 32
MgO	%	2 - 10
TiO ₂	%	0,5 - 3
FeO	%	0,3 - 7
Na ₂ O	%	0,3 - 3
K ₂ O	%	0,3 - 1,3

4.3. Calciumaluminat

Aufgrund des hohen Al_2O_3 -Gehalts von SEROX ist die Herstellung von Calciumaluminaten möglich, welche

- als hydraulisches Bindemittel für mineralische und feuerfeste Baustoffe (in Form von Tonerdezement und Sulfoaluminatzement), und
- als Entschwefelungsmittel und Schlackenbildner in der Stahlherstellung

eingesetzt werden können. Calciumaluminat werden durch Sintern oder Schmelzen von Mischungen aus Kalk und Al_2O_3 -Trägern (z.B. Bauxit oder kalzinierter Tonerde) erzeugt, und haben je nach den Phasenbestandteilen (CA , CA_2 , $C_{12}A_7$) einen Al_2O_3 -Gehalt zwischen 40 und 70 %.

Bei der Herstellung von Tonerdezementklinker sollte der SiO_2 -Gehalt der Rohstoffe möglichst $<5\%$ betragen, da entsprechend dem Anteil an SiO_2 nicht hydraulisch abbindendes Calciumaluminiumsilikat (C_2AS , Gehlenit) gebildet wird. Bei ausschließlicher Verwendung von SEROX als Tonerdeträger anstelle von Bauxit würde der SiO_2 -Gehalt des Aluminatzementklinkers knapp den tolerierbaren Wert überschreiten. Die Nutzung von SEROX zur Herstellung von Tonerdezementklinker ist daher bisher mit einem Handikap behaftet. An der Reduzierung des SiO_2 -Gehalts von SEROX wird jedoch gearbeitet.

Untersuchungen im Labormaßstab zeigten, daß sich aus einem Rohmehl auf Basis von SEROX und Kalkstein ein Tonerdezementklinker mit 50 % Al_2O_3 -Gehalt und den Hauptmineralphasen

CA	max.	29 %
CA ₂	max.	6 %
C ₁₂ A ₇	max.	32 %
C ₂ AS	min.	32 %
MA	min.	26 %

durch Sintern bereits ab oberhalb 1100°C herstellen läßt. Die Produktion einer ausreichenden Klinkermenge zur Durchführung beton- und mörteltechnischer Prüfungen an daraus ermahlenem Tonerdezement muß noch folgen.

Calciumaluminat als Schlacke für die Stahlindustrie kann - wie Tonerdezementklinker - durch Sintern oder Schmelzen von Mischungen aus Kalk und Al_2O_3 -Trägern (z.B. Bauxit oder Tonerde) hergestellt werden. Bisher erfolgt diese Reaktion vorwiegend direkt in der Stahlpfanne aus den grob vorgemischten Rohstoffen auf der Oberfläche des Stahlbades. Bei Calciumaluminat als Entschwefelungsmittel und synthetischem Schlackenbildner für Stahl spielen die Abbindeigenschaften als Zement keine Rolle, sondern im wesentlichen nur die Gehalte an CaO und Al_2O_3 , sowie der Schmelzpunkt.

Vorgesinterte bzw. vorgeschmolzene Calciumaluminat-Schlacken wirken als Entschwefelungsmittel effektiver und schmelzen schneller auf. Damit können Durchlaufzeiten verkürzt und bessere Stahlqualitäten erzeugt werden. Die bei Tonerdezementklinker zum Teil störenden Bestandteile (wie SiO_2 und MgO) wirken sich hier nicht negativ aus. Im Gegenteil, sie bewirken ein günstiges Einschmelzverhalten durch Senkung des Schmelzpunktes im Vielstoffsystem.

Es wurden Klinker folgender Zusammensetzung aus SEROX/Kalk-Mischungen produziert und erfolgreich als Entschwefelungsmittel und Schlackenbildner für Stahl getestet:

C ₁₂ A ₇	max.	51 %
CA	max.	10 %
C ₂ AS	max.	35 %
MA	min.	10 %

Die Einsetzbarkeit von gesintertem Calciumaluminatklinker auf Basis von SEROX in der Stahlindustrie wird derzeit in großtechnischem Maßstab geprüft. Die ersten Ergebnisse in Bezug auf das metallurgische Verhalten sind sehr positiv.

4.4. Feuerfeste Erzeugnisse

Aufgrund seines hohen Gehaltes an Aluminiumoxid und seines hohen Schmelzpunktes bietet sich SEROX als Rohstoff für feuerfeste Steine und Massen an. Versuche, die bereits mit OXITON durchgeführt wurden, haben ergeben, daß SEROX in feuerfesten Mörtel- und Betonmischungen als feinkörniger mineralischer Füller bis zu 25 % des Tonerdezements ersetzen kann, ohne daß ein Festigkeitsverlust eintritt [9].

Die spezielle Eignung für feuerfeste Erzeugnisse zur Auskleidung von Aluminiumschmelzöfen und Elektrolysezellen (in Folge einer großen Beständigkeit gegenüber schmelzflüssigem Aluminium und auch gegen Kryolithschmelze) wurde ebenfalls bereits bei OXITON festgestellt [10]. Da die oxidischen Bestandteile von Aluminiumsalzschlacke im Kontakt mit Aluminiumschmelze entstehen, sind sie von daher auch beständig gegen diese. In Bezug auf die gewünschte schlechte Benetzbarkeit durch Aluminiumschmelze stellt der Restgehalt an der Schmelzsatzkomponente Calciumfluorid sogar einen besonderen Vorteil dar.

Zu berücksichtigen ist ferner, daß eine gebrauchte Feuerfestauskleidung auf Basis von SEROX direkt wieder in die ALSA-Anlage recycelt werden könnte, einschließlich anhaftendem oder infiltriertem Metall und Schmelzsatz.

Für feuerfeste Anwendungen ist es wichtig, daß die Produkte bei der Einsatztemperatur physikalisch und chemisch möglichst stabil sind. Sie sollten daher thermisch vorbehandelt sein. Wie Kalzinierversuche an SEROX gezeigt haben, wird bereits bei Temperaturen bis zu etwa 600°C der größte Anteil an Kristallwasser abgegeben, der bei der thermischen Zersetzung der Aluminiumhydroxid-Anteile entsteht, und ein Restglühverlust von ca. 2 % erreicht. Mindestens 1200°C werden allerdings benötigt, um eine vollständige Kalzination durchzuführen, bei der auch die restlichen flüchtigen Bestandteile freigesetzt, der Anteil an metallischem Aluminium oxidiert und die Übergangsmodifikationen von Aluminiumoxid in die Hochtemperatur-Modifikation Korund umgewandelt sind. Ab 900°C und Gegenwart von Wasserdampf beginnt die hydrolytische Zersetzung von CaF_2 , dessen Schmelzpunkt bei 1360°C liegt.

Aluminiumschmelzöfen werden in der Regel bei etwa 800°C betrieben. Die Schmelztemperatur von Aluminium beträgt etwa 650°C. Für SEROX als Rohstoff zur Herstellung feuerfester Materialien für Aluminiumschmelzöfen könnte daher eine Teilkalzination bis 900°C ausreichen. Erste Versuche zur Kalzination von SEROX im Technikumsmaßstab bis 1.400°C wurden inzwischen durchgeführt. Die Kalzinationsprodukte befinden sich in der Erprobung.

4.5. Gasbeton und Mineralschaum

Bei Gasbeton wird ein wässriger Brei aus Sand, Kalk und Zement mittels Zusatz von Aluminium-Pulver als Treibmittel porosiert. Das Aluminium reagiert dabei mit Wasser zu Aluminiumhydroxid und Wasserstoff-Gas, wodurch der Brei auftreibt. Auf Grund des Gehaltes an feinverteiltem Aluminiummetall wurde die SEROX-Vorstufe OXITON für die Eignung zur Herstellung von Gasbeton geprüft. Die Versuche mit diesem feuchten Oxidprodukt als Teilersatz der Sandkomponente ergaben:

- ein extrem schnelles Ansteifen der Mischung mit Rißbildung,
- ein unkontrolliertes Nachreagieren des metallischen Aluminiums während des Treibprozesses und bei der anschließenden Autoklavenhärtung, und
- eine Geruchsbelästigung durch Ammoniak-Freisetzung.

Damit wurde das Oxidprodukt in nicht nachbehandeltem Zustand für die Herstellung von Gasbeton als nicht geeignet eingestuft.

Bei Verwendung von im Bereich von 500 bis 1000°C teilkalziniertem "SEROX-TK" wurde nun festgestellt, daß ein Brei mit alkalischem Wasserglas als Bindemittel innerhalb weniger Minuten aufschäumt und zu einem festen Mineralschaum erhärtet. Die Volumenvergrößerung erreicht bis zu 500 %. Die Mischung kann dabei auch mit Zement kombiniert werden. Mit nur getrocknetem SEROX-T ist der Effekt geringer. (Tabelle 6).

Tabelle 6: Mineralschaum auf Basis von SEROX, Wasserglas und Zement

Mischung		1	2	3	4
SEROX TK	[Gew.-%]	50	45	30	-
SEROX T	[Gew.-%]	-	-	-	30
Wasserglas, alkalisch	[Gew.-%]	50	40	40	40
Portlandzement, CEM II	[Gew.-%]	-	15	30	30
Volumenzunahme	[Vol.-%]	350	490	350	140
Reaktionstemperatur	[°C]	76	68	40	24
Reaktionszeit	[min]	10	8	10	20
Rohdichte	[g/cm³]	0,63	0,43	0,60	1,51

Offenbar kann durch eine thermische Behandlung von SEROX dessen Aluminium-Restgehalt aktiviert werden. Vermutlich werden unter den Bedingungen der Teilkalzination die gelförmigen, dichten Hüllen aus Aluminiumhydroxid, die bei der Naßaufbereitung der Salzschlacke um die Aluminiumteilchen durch die Reaktion mit Wasser entstehen, in poröse, teilamorphe Übergangsaluminiumoxid-Strukturen umgewandelt, wie sie von der Kalzination von reinem Aluminiumhydroxid zum Aluminiumoxid bekannt sind. Dieses Übergangsoxid ist bei der hohen Alkalität des Wasserglases löslich. Damit wird das metallische Rest-Aluminium freigelegt und kann dann wieder mit Wasser reagieren und Wasserstoff-Gas zu bilden, das den Rohstoff-Brei zum Schäumen bringt. Das gelöste Übergangsaluminiumoxid bewirkt wahrscheinlich die Erhärtung des Wasserglases durch Polymerisation.

5. Schlußbemerkung

Bereits heute kann festgestellt werden, daß sich SEROX aufgrund seines bewährten Einsatzes in der Herstellung von Portlandzement und Mineralwolle von einem Reststoff zu einem etablierten Rohstoff gewandelt hat.

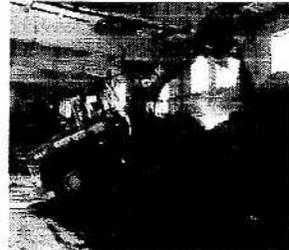
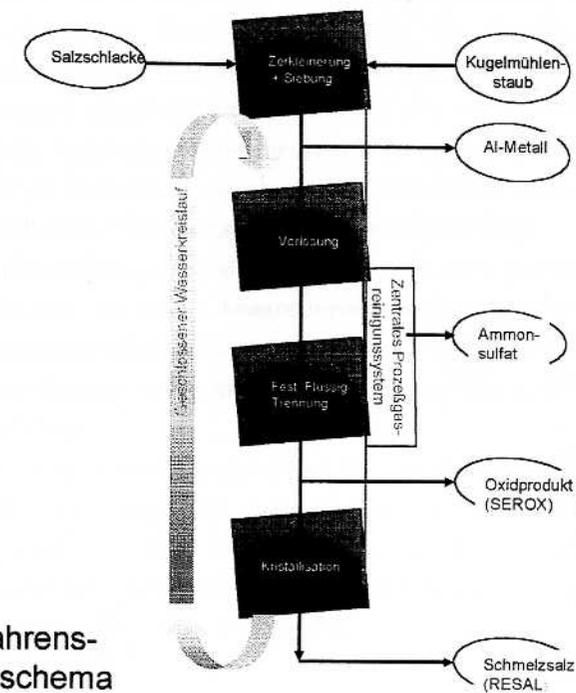
Die hier gegebenen Beispiele sollen Anregungen geben, sich mit diesem preisgünstigen Rohstoff, mit gesicherter Verfügbarkeit, näher zu befassen. Die Möglichkeiten seiner Einsatzbarkeit sind sicher noch vielfältig.

6. Literatur

- [1] VAW aluminium AG, Bonn: Umweltbericht 2000. [2000] 12.
- [2] GDA Gesamtverband der Deutschen Aluminiumindustrie e.V., Düsseldorf: Aluminium, ein nachhaltiger Werkstoff. [2000], 11.
- [3] VAR Verband der Aluminiumrecycling-Industrie e.V. Düsseldorf: Sekundär-Aluminium, Qualität und Recycling. [1997], 18 und 20.
- [4] Aluminiumschrott ist Energiespeicher. VDI nachrichten, Nr. 3, 19. Januar 1996, 17

- [5] I. Alfaro: Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte bei der Entstehung und Verarbeitung von Aluminiumkrätze. Aluminium 62 [1986] 4, 259 - 267.
- [6] M. Beckmann: Aufarbeitung von Aluminiumsalzschlacken in Nordrhein-Westfalen. Aluminium 67 [1991] 6, 586 - 593.
- [7] R. Rault, M. Allibert: In situ observation of aluminium-magnesium melts oxidation. Aluminium 72 [1996] 12, 900 - 905.
- [8] T. Knudsen, M. Guldborg, V.R. Christensen, S.L. Jensen: New type of stonewool (HT fibres) with a high dissolution rate at pH =5. Glstech. Ber. Glass Sci. Technol. 69 (1996) No. 10, 331-337.
- [9] R. Feige, G. Merker: High-Alumina Secondary Raw Materials from Aluminium Melting. Tile & Brick Int. Vol. 14, No. 3 [1998] 171-174
- [10] R. Feige, G. Merker: Use of Recovered Alumina from Aluminium Slags in Refractories for Aluminium. stahl und eisen, Special [1998], 58-60

Bild 1: ALSA-Verfahren zur Aufarbeitung von Aluminium-Salzschlacke



Verfahrens-Fließschema