

## Untersuchungen über den Aufschluß von Monazit durch Erhitzen mit Kohlenstoff und Quarz

Von H. HOLZAPFEL, H. RICHTER, D. SCHÄFER und G. WERNER

Mit 3 Abbildungen

*Herrn Professor Dr. L. Wolf zum 70. Geburtstag gewidmet*

### Inhaltsübersicht

Die Reaktion von Monazit mit Kohlenstoff und Quarz wurde bei Temperaturen zwischen 1400°C und 1700°C untersucht. Es bilden sich neben elementarem Phosphor die Silikate der Seltenen Erden und des Thoriums. Diese lassen sich mit Salzsäure extrahieren.

### Einleitung

Natürlich vorkommende Seltenerd-silikate wie Gadolinit oder Cerit lassen sich leicht durch Behandeln mit Salzsäure aufschließen<sup>1) 2)</sup>. Die ungelöst bleibende Kieselsäure läßt sich einfach durch Filtration von der Seltenerd-chloridlösung abtrennen. Weniger einfach ist der Aufschluß von Monazit, einem natürlich vorkommenden Seltenerd-Thoriumphosphat. Monazit, der das wichtigste Ausgangsmaterial für die Herstellung von Seltenerd- und Thoriumverbindungen darstellt, läßt sich durch längeres starkes Erhitzen mit konzentrierter Schwefelsäure aufschließen<sup>3) 4) 5)</sup>. Die Aufschlußmasse enthält den gesamten Phosphor des Ausgangsmaterials als Orthophosphorsäure. Letztere erschwert die weitere Aufarbeitung sehr. Es bestand deshalb seit langer Zeit Interesse an solchen Aufschlußverfahren, bei denen eine Abtrennung des Phosphors möglich ist. Bekannt und teilweise technisch genutzt sind Aufschlüsse mit Natronlauge, Chlor und Kohlenstoff. Beim Aufschluß von Monazit mit Natronlauge<sup>6) 7) 8)</sup> wird der Phosphor in Form von  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

<sup>1)</sup> W. FISCHER, Z. anorg. allg. Chem. **250**, 72 (1942).

<sup>2)</sup> D. W. PEARCE, u. a., Inorg. Syntheses II, 44—46 (1946).

<sup>3)</sup> I. KOPPEL u. H. HOLTKAMP, Z. anorg. allg. Chem. **67**, 266 (1910).

<sup>4)</sup> G. P. DROSSBACH, Z. anorg. allg. Chem. **14**, 655 (1901).

<sup>5)</sup> D. W. PEARCE, u. a., Inorg. Syntheses II, 38—43 (1946).

<sup>6)</sup> Chem. Fabrik Heiligensee, Dr. v. HELMOLT und Dr. REMSE G. m. b. H., DRP 315371 (1918).

<sup>7)</sup> Soc. de Prod. Chim. de Terres Rares, Paris, F. P. 995112 (1949/1951).

<sup>8)</sup> A. E. BEARSE, G. D. CALKINS, J. W. CLAGG u. R. B. FILBERT, Chem. Engng. Progr. **50**, 235 (1954).

entfernt. Es fallen Thorium- und Seltenerdhydroxide an. Beim Aufschluß mit Chlor in Gegenwart von Kohlenstoff<sup>9)</sup> werden Thorium- und Seltenerdchloride erhalten. Der Phosphor verflüchtigt sich in Form von  $\text{POCl}_3$ .

Durch Erhitzen von Monazit mit Kohlenstoff werden Thorium- und Seltenerdcarbide gebildet, wobei der in elementarer Form entstehende Phosphor verdampft<sup>10-13)</sup>. Da Carbide stets in stark endothermer Reaktion entstehen, ist der Bedarf an Elektroenergie so hoch, daß eine Anwendung dieses Verfahrens unwirtschaftlich ist.

Die stark energieverbrauchende Carbidbildung wird vermieden, wenn man Monazit und Erdalkalioxide mit einer nur zur Reduktion des Phosphats ausreichenden Menge Kohlenstoff erhitzt<sup>14)</sup>. Dabei sollen Erdalkali-(Thorium-)Seltenerdoxide entstehen, deren Struktur dem Calciumaluminat ähnelt. Bei der Reaktion entweicht der Phosphor in elementarer Form. Die Erdalkali-(Thorium-)Seltenerdoxide sollen zwischen 1650 und 1750 °C leichtflüssige Schmelzen bilden und in Salzsäure löslich sein. Die Existenz obiger Mischoxide mit Schmelzpunkten unter 1750 °C ist fragwürdig [vgl. <sup>15)</sup>]. Unsere Untersuchungen<sup>16)</sup> ergaben, daß mit den Mischungen nach <sup>14)</sup> bis 1850 °C keine Schmelzen erhalten werden können.

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, Monazit durch Erhitzen mit Kohlenstoff aufzuschließen und durch Zusatz von Quarz die Seltenen Erden (und Thorium) in schmelzbare säurelösliche Silikate überzuführen. Dieses Verfahren ähnelt dem industriell fast ausschließlich angewandten Verfahren zur Gewinnung von elementarem Phosphor aus Apatiten oder Phosphoriten.

### 1. Seltenerd-Silikate

Die Darstellung der Seltenerdsilikate geht auf DUBOIN<sup>17)</sup> zurück, der die Verbindung  $\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  darstellte. Ausführlich untersuchten TOROPOW und Mitarbeiter<sup>18) 19)</sup> die Phasengleichgewichte  $\text{SE}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ . Sie stellten die vollständigen Phasendiagramme mit Lanthan, Samarium, Dysprosium, Erbium, Ytterbium und Yttrium auf. Diese Diagramme haben durchweg den gleichen Aufbau und unterschieden sich nur wenig in den charakteristischen Daten.

<sup>9)</sup> F. R. HARTLEY u. A. W. WYLIE, J. Soc. chem. Ind. [London] **69**, 1 (1950).

<sup>10)</sup> W. MUTHMANN, H. HOFER u. L. WEISS, Liebigs Ann. Chem. **320**, 260 (1902).

<sup>11)</sup> L. WEISS, DRP 129 416 (1901).

<sup>12)</sup> P. L. HULIN, F. P. 541 657 (1922).

<sup>13)</sup> C. BASKERVILLE, A. P. 1 087 093 (1914).

<sup>14)</sup> R. SCHULZE, DRP 585 738 (1933).

<sup>15)</sup> H. v. WARTENBERG u. K. ECKHARDT, Z. anorg. allg. Chem. **232**, 179 (1937).

<sup>16)</sup> D. SCHÄFER, Diplomarbeit, Leipzig 1964.

<sup>17)</sup> DUBOIN, C. R. hebdom. Séances Acad. Sci. **107**, 99 (1888).

<sup>18)</sup> N. A. TOROPOW u. J. A. BONDAR, Silikattechnik **13**, 137 (1962).

<sup>19)</sup> N. A. TOROPOW u. a., Nachr. d. Akad. d. Wiss., Abt. Chemie (russ.) **1961**, 539, 544, 739, 1365, 1728, 1739.

Es treten Silikate folgender Zusammensetzung auf:

$\text{SE}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  Schmelzpunkte zwischen 1900 und 1980 °C,

$2\text{SE}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$  Schmelzpunkte zwischen 1900 und 1975 °C,

$\text{SE}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  Schmelzpunkte zwischen 1720 und 1850 °C.

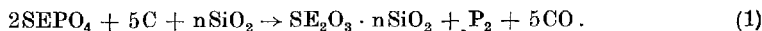
Markant sind zwei Eutektika:

$\text{SE}_2\text{O}_3 + \text{SE}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ,  
der eutektische Punkt liegt  
in Abhängigkeit vom Element bei etwa 36 Mol-%  
 $\text{SiO}_2$  und etwa 1815 °C.

$\text{SE}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$ ,  
der eutektische Punkt liegt  
in Abhängigkeit vom Element bei etwa 73 Mol-%  
 $\text{SiO}_2$  und etwa 1650 °C.

Im Bereich von 50–75 Mol-%  $\text{SiO}_2$  liegen die drei oben aufgeführten Silikate vor. Die Schmelztemperaturen bewegen sich von etwa 1950 °C mit steigendem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt gegen etwa 1650 °C.

Für die Bildung von Seltenerdsilikaten aus Seltenerdphosphaten könnte folgende Reaktionsgleichung gelten:



Hierbei kann der  $\text{SiO}_2$ -Faktor (n) in den Grenzen von 1–3 variiert werden. Unter diesen Bedingungen wird das Auftreten von freiem  $\text{SiO}_2$  bzw.  $\text{SE}_2\text{O}_3$  im Endprodukt vermieden.

## 2. Experimentelles

### 2.1. Rohstoffe

Monazitsand: (47,3%  $\text{SE}_2\text{O}_3$ , 21,0%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 5,2%  $\text{ThO}_2$ , 6,8%  $\text{SiO}_2$ , 8,3%  $\text{TiO}_2$ , 5,7%  $\text{ZrO}_2$ , 4,1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Quarzsand: (> 99%  $\text{SiO}_2$ ).

Petrolkoks: (90,52%  $\text{C}_{\text{fix}}$ , 3,03% Asche).

### 2.2. Geräte

Die Schmelzversuche wurden in einem Kohlerohröfen mit folgenden technischen Daten durchgeführt:

Maximale Temperatur	2700 °C
Aufheizzeit auf 1500 °C	1–2 Minuten
Nutzbares Volumen	50 mm $\varnothing$ × 100 mm
Stromstärke bei 1500 °C	2000 A
Spannung	25 V

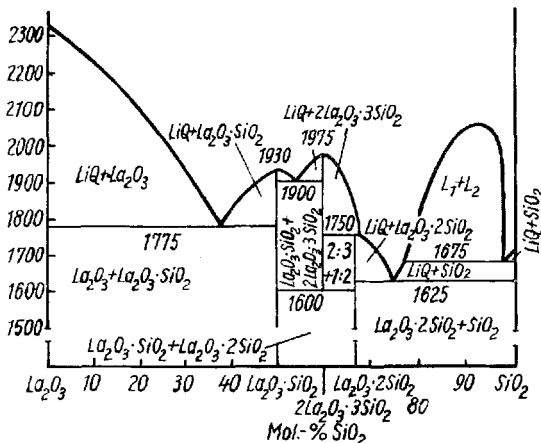


Abb. 1. Zustandsdiagramm des Zweistoffsystems  $\text{La}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  <sup>18)</sup> (LiQ = Schmelze)

Während der Schmelzversuche wurde ein Stickstoffstrom von 300 l/h durch das Rohr geleitet. Der Raum zwischen Heizrohr und Mantel wurde ebenfalls mit Stickstoff gespült. Der Mantel war doppelwandig ausgebildet und wurde von Kühlwasser durchflossen. Das Kohlerohr wurde aus graphitisiertem Elektrodenmaterial gedreht, die Graphitschiffchen zur Substanzaufnahme bestanden aus Blockgraphit.

Die Temperaturmessung erfolgte mit dem Glühfadenpyrometer „Pyrolux II“ vom VEB Prüfgerätewerk Medingen. Zwischen 1300 und 1700 °C betrug der Meßfehler  $\pm 15$  °C.

### 2.3. Orientierende Versuche

Unter Berücksichtigung der Vollanalysen von Monazit, Quarzsand und Koks ergab sich für  $n = 1$  [Gl. (1)] folgender Mischungsansatz: 10 g Monazit, 0,99 g Quarz, 0,98 g Koks. Der  $\text{SiO}_2$ -Gehalt im Monazit von 6,8% wurde hierbei nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, daß dieser mit dem ebenfalls im Monazit vorhandenen  $\text{TiO}_2$  und  $\text{ZrO}_2$  Silikate bildet. Innige Mischungen der Komponenten in den  $\text{SiO}_2:\text{SE}_2\text{O}_3$ -Verhältnissen  $n = 0,5; 1; 1,5; 2;$

Tabelle 1  
Prozentuale Phosphorabgabe verschiedener Mischungen aus Monazit und Koks bei 10minütiger Erhitzungsdauer und den Reaktionstemperaturen 1500 °C und 1600 °C

n	Prozentuale Phosphorabgabe in %	
	1500 °C	1600 °C
0,5	49,3	44,5
1,0	47,7	40,5
1,5	48,6	31,2
2,0	42,6	23,7
2,5	35,8	26,3
3,0	36,5	15,7

2,5 und 3 wurden bei Anwendung eines 100proz. Überschusses an Koks im Graphitschiffchen in den auf etwa 1300 °C erwärmten Ofen gebracht. Darauf wurde der Ofenstrom erhöht bis die Reaktionstemperatur erreicht war. Nach 10minütigem Erhitzen wurde der Tiegel aus dem Ofen genommen und der Inhalt mit kaltem Wasser abgeschreckt. Der Schmelzkuchen, der sich glatt vom Tiegel trennte, wurde getrocknet, gemahlen und analysiert.

Die Ergebnisse der orientierenden Versuche sind in Tab. 1 dargestellt.

Wider Erwarten wird bei höherer Temperatur weniger Phosphor abgegeben. Dieser Effekt läßt sich durch Entmischungerscheinungen erklären, die während der Versuche auftreten. Das Reaktionsprodukt bestand stets aus einem, in Koksstaub eingebetteten Regulus, der kaum Kohlenstoff enthielt. Die Oberseite des Regulus ragte teilweise beträchtlich aus dem Koksbett heraus. Diese Entmischung war bereits wenige Minuten nach Erreichen der Reaktionstemperatur beendet.

Der Reaktionsablauf läßt sich daher folgendermaßen deuten: Die Reaktion beginnt unterhalb 1500 °C an der Oberfläche der Monazitkörner, sie ist mit Sinterungsvorgängen und Teilschmelzen verbunden. Im Verlauf der Reaktion bildet sich eine homogene Schmelze, die mit dem Koksanteil nicht mehr mischbar ist und diesen ausscheidet.

Die Reduktion läuft nur noch an der Oberfläche des Regulus ab. Während die Reaktion bei 1500 °C im wesentlichen im Mischungszustand wegen der großen zur Verfügung stehenden Oberfläche schnell abläuft, wird bei 1600 °C die Mischungsreaktion schnell durch die Entmischung unterbrochen.

### 2.4. Reaktionsordnung und Reaktionsgeschwindigkeit

Zur Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit muß daher entweder von vornherein der Zustand der Entmischung eingestellt werden oder die Messung unterhalb der Schmelz-

temperatur erfolgen. Die letzte Möglichkeit schied aus, da es nicht gelang, den Sinterungszustand bei konstanter Temperatur stabil zu halten, weil der Schmelzpunkt stark vom Phosphorgehalt abhängt.

Die Mischung von Monazit und Quarz wurde in einen großen Kohlenstoff-Überschuß eingebettet und verschiedene Zeiten auf 1400°, 1500°, 1600° und 1700°C erhitzt. Der gesamte Koks befand sich außerhalb der Mischung, diese war stets von Koks bedeckt. Die Abb. 2 zeigt die prozentuale Phosphorabgabe, sie zeigt außerdem das beobachtete Verhalten der Reaktionsmischungen während der Versuche. Es bedeuten: Gestrichelte Linie = Sinterung, ausgezogene Linie = Schmelze, punktierte Linie = Wiedererstarrung.

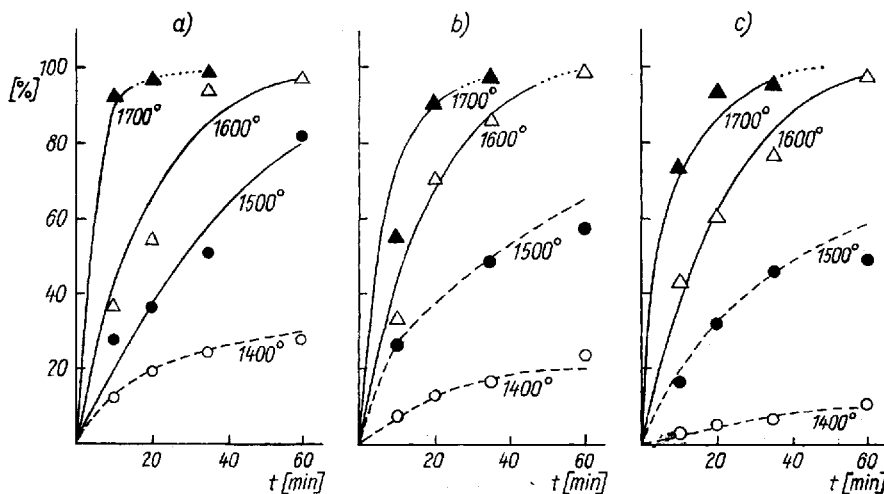


Abb. 2. Prozentuale Phosphorabgabe von Mischungen aus Monazit und Quarzsand bei 1400, 1500, 1600 und 1700°C.

a) n = 1    b) n = 2    c) n = 3

Bei der Untersuchung des zeitlichen Reaktionsablaufes lassen sich zwei Reaktionstypen unterscheiden.

Typ 1: Das Gemisch von Monazit und SiO<sub>2</sub> sintert zu einem Block zusammen. An der Oberfläche dieses Blocks läuft eine Festphasenreaktion ab, die in grober Näherung dem parabolischen Zeitgesetz gehorcht<sup>20)</sup>:

$$x^2 = 2K_p \cdot t.$$

Zu diesem Typ gehören die Reaktionen bei 1400°C, sowie die Reaktionen bei 1500°C mit mehr als 1 Mol SiO<sub>2</sub>.

Typ 2: Es bildet sich eine flüssige Schmelze, an deren Oberfläche eine Fest-flüssig-Reaktion mit dem Kohlenstoff abläuft. Der Reaktionsablauf gehorcht in grober Näherung dem Zeitgesetz 1. Ordnung:

$$K_1 = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{1}{1-x}$$

x = Umsatz (prozentuale Phosphorabgabe/100); t = Reaktionszeit; K<sub>p</sub>, K<sub>1</sub> = Geschwindigkeitskonstanten.

<sup>20)</sup> K. HAUFFE, Reaktionen in und an festen Stoffen, Berlin 1935, 622.

Tabelle 2  
Geschwindigkeitskonstanten und Halbwertszeiten der Reaktion zwischen  
Monazit, Quarz und Koks

Temperatur		n = 1	n = 2	n = 3
1400 °C	K <sub>p</sub>	$8 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$
	T <sub>1/2</sub>	157 min	350 min	1840 min
1500 °C	K <sub>p</sub>	—	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
	K <sub>1</sub>	$2,6 \cdot 10^{-2}$	—	—
	T <sub>1/2</sub>	26,2 min	35,8 min	44,5 min
1600 °C	K <sub>1</sub>	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$
	T <sub>1/2</sub>	12,7 min	12,1 min	13,5 min
1700 °C	K <sub>1</sub>	0,261	0,115	0,120
	T <sub>1/2</sub>	2,7 min	6,0 min	5,8 min

In Tab. 2 sind die mittleren Geschwindigkeitskonstanten und die Halbwertszeiten zusammengestellt.

Die Reaktionsgeschwindigkeit steigt mit steigender Temperatur stark an, wohingegen sie mit steigendem SiO<sub>2</sub>-Zusatz verringert wird.

### 2.5. Säurelöslichkeit der Silikatschmelzen

Die Schmelzproben wurden drei Stunden in konzentrierter Salzsäure gekocht. Die Lösungen wurden eingengt, verdünnt und filtriert. Die Lösungen waren gut filtrierbar. In den Filtraten wurde die Summe von Seltenen Erden und Thorium bestimmt. Die Zersetzung mit Salzsäure ist bei Restphosphorgehalten unter 5% des ursprünglichen Gehaltes vollständig. Eine Abhängigkeit vom SiO<sub>2</sub>-Zusatz wurde nicht festgestellt.

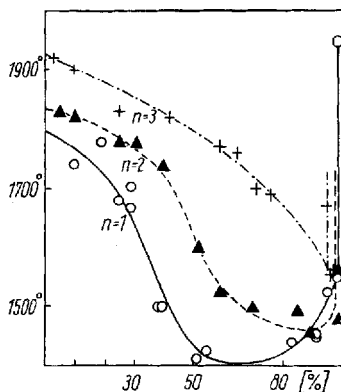


Abb. 3. Abhängigkeit der Schmelztemperatur von der Phosphorabgabe bei verschiedenen SiO<sub>2</sub>-Zusätzen zur Reaktionsmischung

### 2.6. Ferrophosphor

Wurde bei den Schmelzversuchen die Temperatur von 1500 °C überschritten, traten an der Unterseite des Regulus metallisch glänzende Perlen von Ferrophosphor auf, die praktisch das gesamte Eisen enthielten. Dieses wurde von der Schmelze abgetrennt, um Verfälschungen der Versuchsergebnisse zu vermeiden.

### 2.7. Abhängigkeit des Schmelzpunktes der Silikatschmelzen vom Phosphorgehalt

Zur präparativen Gestaltung des Aufschlußverfahrens ist die Kenntnis der Schmelzpunkte im Verlauf der Reaktion erforderlich. Hierzu wurde das als DDR-Standard gebräuchliche Prüfverfahren „Bestimmung des Asche-Schmelzverhaltens fester Brennstoffe“ abgewandelt<sup>21)</sup>.

<sup>21)</sup> TGL 14485 (1962).

In Abb. 3 sind die Schmelzpunkte in Abhängigkeit vom Phosphorgehalt aufgetragen. Die Schmelzpunktcurven durchlaufen mit fortschreitender Phosphor-Vertreibung ein Minimum und steigen kurz vor dem Ende der Reaktion wieder steil an. Mit steigendem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt verschieben sich die Kurven zu höheren Schmelzpunkten, das Minimum wird spitzer und rückt gegen das Reaktionsende.

### 2.8. Versuche mit brikettierten Rohstoffmischungen

Bei dem bisher geschilderten Verfahren können sich bei einer eventuellen technischen Anwendung aus den unterschiedlichen Dichten von Kohlenstoff ( $d = 2,3$ ) und der Schmelze ( $d = 5-6$ ) Schwierigkeiten ergeben. Zur Vermeidung einer Entmischung wurde das Reaktionsgut in brikettierter Form angewandt. Diese Briketts enthielten die Komponenten in so feiner Verteilung (Korngröße  $< 0,1$  mm), daß beim Erhitzen die Reaktion schon weitgehend abgeschlossen ist, bevor sich eine homogene Schmelze bildet.

Es wurden drei Mischungen folgender Zusammenstellung hergestellt:

Mischung 1: 100 g Monazit; 9,9 g Quarzsand; 10 g Petrolkoks.

Mischung 2: wie Mischung 1, aber mit 40 g Petrolkoks.

Mischung 3: wie Mischung 1, aber ohne Quarzsand.

Diese Mischungen wurden mit je 15 ml 10proz. Dextrinlösung zu einer steifen Paste verührt, zu zylinderförmigen Briketts von 5 mm Höhe und 12 mm Durchmesser geformt und getrocknet. Die Briketts wurden erhitzt, im Stickstoffstrom abgekühlt und analysiert.

Tabelle 3 zeigt die prozentuale Phosphorabgabe, sowie Erhitzungsdauer und Reaktionsdauer.

Tabelle 3  
Prozentuale Phosphorabgabe bei brikettiertem Material

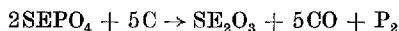
Temp. (°C)	Prozentuale Phosphorabgabe							
	Mischung 1			Mischung 2			Mischung 3	
	5 min	10 min	20 min	5 min	10 min	20 min	5 min	20 min
1400	13,4	23,7	33,4	16,7	45,6	57,3	20,3	47,0
1450	29,9	42,3	50,8	45,2	57,4	77,6	27,0	63,9
1500	49,4	68,1	—	63,0	81,0	87,5	45,4	85,8
1550	54,5	67,5	—	84,3	90,0	91,8	65,4	89,0
1600	55,2	—	—	91,3	92,9	—	77,9	90,3
1700	—	—	—	93,0	—	—	87,1	91,3
1800	—	—	—	—	—	—	83,2	—

Unter Zuhilfenahme des parabolischen Zeitgesetzes wurde ermittelt, bis zu welchen Temperaturen Festkörperreaktionen ablaufen.

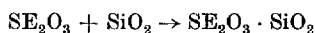
Bei Mischung 1 beginnt bei 1550 °C die Entmischung nach weniger als fünf Minuten. Diese Mischung ist deshalb für praktische Zwecke unbrauchbar. Bei Mischung 2 treten bis 1500 °C ebenfalls Fest-Phasen-Reaktionen auf, die aber infolge des Kohlenstoffüberschusses schneller verlaufen. Bei 1550 °C beginnt nach weniger als fünf Minuten die Entmischung, die aber durch Kohlenstoffüberschuß verzögert wird. Mischung 3 zeigt, daß nach Fortfall des  $\text{SiO}_2$ -Zusatzes die Entmischung erst bei 1600 °C beginnt, während die Phosphorabgabe nach 20 Minuten 90% erreicht. Es bilden sich natürlich nicht die leicht aufschließbaren Silikate. Weitere Temperatursteigerung bringt nur zu Beginn der Reaktion eine Beschleunigung, bzw. bei 1800 °C einen Abfall der Geschwindigkeit.

### 3. Vorschlag für ein technisches Verfahren

Da die Entmischung von Schmelze und Koks nicht verhindert werden kann, ist für eine praktische Anwendung des Verfahrens ein Einsatz briquetierter Rohstoffmischungen erforderlich. Versucht werden könnte ein Verfahren im Lichtbogenofen, wie es für die Herstellung von elementarem Phosphor aus Apatit gebräuchlich ist. Der Zustand des Sinterns läßt sich durch einen Überschuß von Kohlenstoff im Brikett und Weglassen des Quarzanteils stabilisieren. Die Reaktion verläuft in zwei Stufen (Austreiben des Phosphors und Bildung der Silikate), wenn Briketts aus gemahlenem Monazit und der mehrfachen stöchiometrischen Menge Koksstaub mit einer solchen Menge groben Kieses in den Ofen gegeben werden, wie zur Bildung der Silikate  $\text{SE}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  nötig ist. Diese Mischung wird zunächst auf mindestens 1500 °C erhitzt, wobei nach



die Briketts die Hauptmenge des Phosphors abgeben. Sie sintern und schmelzen teilweise. Bei weiterer Temperatursteigerung reagieren sie bei 1700 °C mit geschmolzenem Quarz nach



unter Bildung einer leichtflüssigen Schmelze.

Der überschüssige Koksstaub wird mit dem CO-Gasstrom fortgetragen, außerdem wird durch eine Nachreaktion der Restphosphorgehalt weiter herabgesetzt.

Die Silikatschmelze sammelt sich im Sumpf des Ofens über dem flüssigen Ferrophosphor. Beide werden getrennt abgestochen. Das Granulat der erstarrten Silikatschmelze wird zerkleinert und mit Salzsäure werden die Seltenen Erden extrahiert.

Leipzig, Institut für anorganische Chemie der Karl-Marx-Universität;  
Piesteritz, VEB Stickstoffwerk, Abteilung Forschung und Entwicklung.

Bei der Redaktion eingegangen am 8. März 1965.