

# Elektronenmikroskopische und polarisationsoptische Bewertung von Nephelinsyenit als neuer Rohstoff für die Glas- und Keramikindustrie

Muzaffer Andac, Ankara, und Heinrich Newesely, Innsbruck\*)

In einem in Ostanatolien südlich von Malatya befindlichen Intrusivmassiv, das bisher als Alkalisyenit angesehen wurde, waren durch genauere polarisationsoptische Untersuchungen Hinweise erbracht worden, daß neben Orthoklas erhebliche Mengen von Nephelin (bis 25%) enthalten sind.

Diese Nephelinkomponente wurde mit dem Elektronenmikroskop und mit der Mikrosonde (EDAX) gesichert. Auch die chemischen Analysenwerte beweisen überzeugend, daß der Nephelinsyenit als neuer Rohstoff für die Glas- und Keramikindustrie zu verwenden ist.

## Evaluation of nephelinsyenite by polarizing and electron microscopic methods as a raw material for the ceramic industry

A geological site, namely an intrusive massif south of Malatya (East Anatolia, Turkey), which was hitherto designated as an alkali syenite, was shown by new polarizing microscopic research to contain a considerable amount (up to 25%) of nepheline, besides orthoclase. The nephelin component has been secured by electron micro-

scopic evaluation and by analytical investigations (microsonde EDAX and conventional microtechniques). The analytical dates as well prove convincingly that the prospected nephelinsyenite represents a new raw material for the use in the ceramic industry, replacing by its qualities possibly the feldspars components.

## Appréciation de la syénite néphélinique en tant que matière première pour la verrerie et l'industrie céramique d'après des examens au microscope électronique et par polarisation optique

L'étude précise par polarisation optique d'un massif d'intrusion situé en Anatolie orientale au sud de Malatya, pris jusqu'à présent pour de la syénite alcaline, a montré la présence, en plus de l'orthoclase, de quantités considérables de néphéline (jusqu'à 25%).

Cette composante de néphéline a été confirmée au microscope électronique et à la microsonde électronique (EDAX). Les résultats d'analyses chimiques montrent aussi très nettement que la syénite néphélinique peut être considérée comme une nouvelle matière première pour la verrerie et l'industrie céramique.

### Einleitung

Während Syenit im allgemeinen als ein Gestein, bestehend aus Kalifeldspat, Plagioklas und Mafiten, bekannt ist, dessen freier  $\text{SiO}_2$ -Gehalt nach Strecken bis zu 20% steigen kann, sind an wenigen geologischen Lokalitäten Syenitvarietäten bekannt, die einen Unterschluß an  $\text{SiO}_2$  bzw. einen Überschluß an Alkalien ( $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$ ) aufweisen. Sie entsprechen Nephelinsyeniten,  $(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4$  Nephelin + Albit + Orthoklas, und als Mafite hauptsächlich Ägirin.

Diese Zusammensetzung, die jener der Alkalifeldspäte nahe kommt, ist von großem technischem

Interesse für keramische Verfahren, weil dadurch der Verbrauch an teuren Einsatzstoffen, wie Soda und Pottasche, verringert werden kann. Überdies ist bekannt, daß Nephelinsyenit die Bildung von Glasschmelzen begünstigt: er reagiert schnell und bei niedriger Temperatur mit dem Quarzsand; dieser wird dadurch in einem früheren Stadium von der Glasschmelze aufgeschlossen als in Gegenwart anderer üblicher Flußmittel, wie z. B. Feldspat.

Eines dieser wenigen Vorkommen von Nephelinsyenit befindet sich in Ostanatolien südlich von Malatya; es erstreckt sich in NS-Richtung in unregelmäßiger Mächtigkeit – seine Länge beträgt ca. 4 km, die Breite wechselt zwischen 200 und 1000 m. Einige freie Linsen kommen auch in den anschließenden Kalkformationen vor.

Das Gebiet wurde bereits zum Zweck der Uranprospektion kartiert. Das Syenitmassiv ist von Kalkstein umgeben. Dieser metamorphe und dadurch

\*) Priv.-Doz. Dr. Muzaffer Andac, Güleriyüz sok. 37 / 15 – Yukari Ayranci, Ankara, und Univ.-Prof. Dr. Heinrich Newesely, Silberweg 9, A-6020 Innsbruck (Korrespondenzanschrift). Aus dem Institut für Mineralogie und Kristallographie der Technischen Universität Berlin, D-1000 Berlin 12.

kristallisierte Kalkstein hat auch größere Einschlüsse im Syenitmassiv. Das Alter dieses Kalksteins wird im Anschluß an Bomba (1966) als Paläozoikum bestimmt. In der Südostecke des Gebietes kommt Serpentin vor, der bei einem Vorkommen Chrom enthält.

Häufig vergesellschaftet mit der entsprechenden Thoriumverbindung, kommen in diesem Nephelinsyenitmassiv in kleinen Gängchen Britholit (ein Cer-Apatit) und ein Ce- sowie La-haltiger Flußspat vor sowie Bastnäsit als akzessorische Bestandteile des Massivs.

Die Radioaktivitätsanomalie, die durch diese Nebenkomponenten dem Nephelinsyenit aufgeprägt ist, führte 1964 zur Entdeckung dieses Vorkommens durch das MTA-Institut. Erste petrographische Untersuchungen beschrieben allerdings das Gestein als Alkalisyenit, weil zunächst nur Orthoklas, aber nicht Nephelin identifiziert wurde. Erst durch genauere polarisationsoptische Untersuchungen konnten wir Hinweise erbringen, daß zusätzlich neben Orthoklas erhebliche Mengen (bis 25%) von Nephelin vorhanden sind. Durch die Überprüfung dieses Befundes mit dem Elektronenmikroskop sowie mit der Mikrosonde (EDAX) konnte die Nephelinkomponente gesichert und insbesondere durch die Ermittlung des Na/K-Verhältnisses in mikrotexturellen Bereichen der Nephelin im Phasendiagramm auf der  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8/\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ -Linie eingeordnet werden.

### Prospektion und Petrographie

Das Nephelinsyenitvorkommen wurde durch Prospektion nach radioaktiven Mineralien aus der Luft entdeckt. Nach den radiometrischen Messungen im Lande wurden im Süden des Massivs nahe an dem Kalksteinkontakt höhere radiometrische Anomalien festgestellt (bis zu 10.000 cps).

Durch chemische Analyse wurden in diesem Bereich Th, Ce, La als Radioaktivitätsträger ermittelt. An angereicherten Stellen können Th-Gehalte bis 10,2%  $\text{ThO}_2$  erreicht werden.

Um petrographisch den Mineralbestand zu identifizieren und die Verteilung der Radioaktivitätsträger feststellen zu können, wurden systematisch vom Süden nach Norden von verschiedenen Stellen Proben genommen, Dünnschliffe gefertigt und auf die radioaktiven Mineralien untersucht.

Die petrographischen Untersuchungen haben ergeben, daß das Muttergestein nicht ein einfacher Alkalisyenit ist, sondern in allen Proben kommt auch der seltenere Feldspatvertreter Nephelin vor. Daher muß das Vorkommen als Nephelinsyenit bezeichnet werden.

Die Modalanalyse als Mittelwert von 36 Schliffen weist eine Anhäufung in der Kalifeldspat-Ecke des Dreieck-Diagramms aus, wobei die durchschnittliche Zusammensetzung für Kalifeldspat 90 bis 70%, für Albit 30 bis 10% und für Nephelin 25 bis 5% beträgt, bezogen auf 100% dieser Hauptbestandteile (Abb. 1).

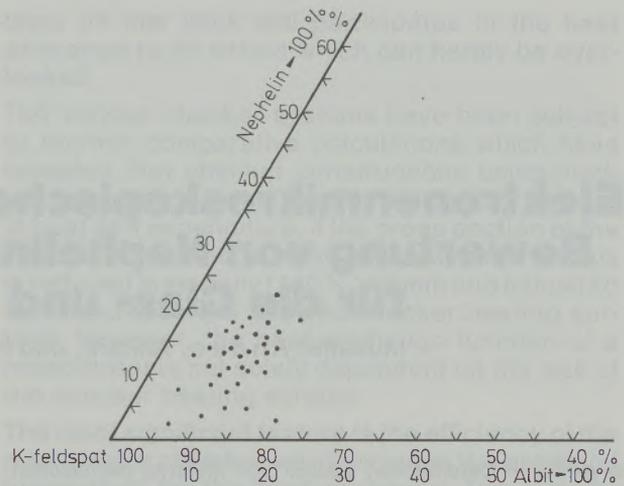


Abb. 1  
Petrographische Modalanalyse des Nephelinsyenits

Die genaue Kenntnis der akzessorischen Bestandteile erwies sich im Hinblick auf die Aufbereitung und für die technische Verwertung als unerlässlich.

Das Gestein hat graue Farbe, die verwitterten Stellen können durch Absorption von Eisen rötlich gefärbt sein.

Kalifeldspäte sind lange, schmale prismatische Säulen, sie zeigen deutliche Fließrichtung und umschließen öfter die hexagonal geformten Nepheline.

Die Nepheline als solche sind runde, aber auch idiomorph hexagonale Körner von hellgrauer bis rötlicher Farbe, die gelegentlich von sauren Lösungen angegriffen oder geätzt sind.

Die dunklen Mineralien sind Ägirinaugite, die entweder als Zwickelfüllung der übrigen Mineralien oder als konzentrierte Haufen vorkommen. Auch

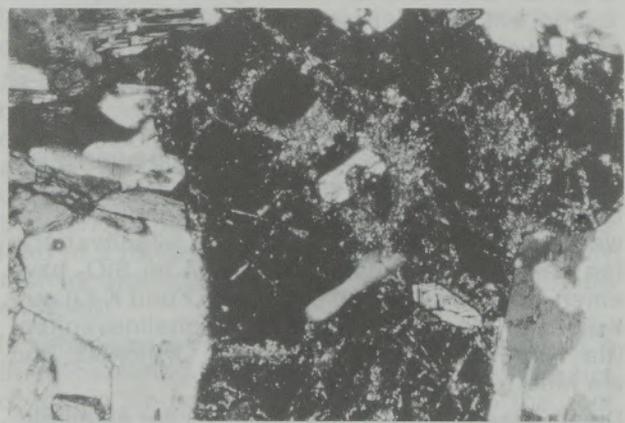


Abb. 2

Fast xenomorpher Nephelin: weit fortgeschrittene Verwitterung in filzartigen Sericit übergehend. Die Einschlüsse sind K-Feldspat und Ägirin. Die Auskristallisation von Nephelin läuft gleichzeitig mit dem K-Feldspat, sodaß dessen Wachstum von ihm behindert wurde.

Vergr. 55X, Nicols+

Ne = Nephelin, K = K-Feldspat, Ä = Ägirin

die Nepheline können als xenomorphe Körner Zwischenfüllungen der Kalifeldspäte bilden (Abb. 2).

Die Farbe der Nepheline variiert von wasserklar bis trübe-schmutzig. Die trüben Bereiche sind sehr verwittert und seritiziert (Abb. 18). Die Seritizierung kann stufenweise von Hydronephelin bis zu Liebenerit führen (Abb. 3).



Abb. 3

Weitgehender verwitterter und allmählich im K-Feldspat verschwindender Nephelin (Liebenerit-Bildung).  
Vergr. 55 $\times$ , Nicols+  
Ne = Nephelin, K = K-Feldspat

Die Spaltbarkeit nach  $(10\bar{1}0)$  ist deutlich. Die Verwitterung setzt in den Spaltflächen ein und breitet sich netzartig in das Kristallinnere fort (Abb. 4, 5).

Die Unterscheidung des Nephelins von Kalifeldspat erfordert besondere Aufmerksamkeit, weil Interferenzfarben und Doppelbrechung sich kaum von denen des Kalifeldspates unterscheiden. Nur bei genauer Beobachtung kann man feststellen, daß die Doppelbrechung des Nephelins niedriger ist als die des Kalifeldspates. Nephelin enthält auch häufiger Ägirin- oder Apatit-Einschlüsse (Abb. 6).

Die Größe der Körner erreicht selten 0,5 cm, meistens 0,1–0,3 cm. In feinkörnigen Sorten können zumindest die hexagonalen Umrisse des Nephelins erkannt werden, sie sind manchmal von Kalifeldspat- oder Ägirinkörnern umgeben. Es folgt dadurch, daß aus dem Magma zuerst Nephelin ausgeschieden wurde, als das Magma noch in der Tiefe war.

Diese Feststellung wird dadurch erhärtet, daß die Größe der Kalifeldspäte hier nur selten 0,2 mm erreicht, d. h. diese wurden zuletzt schnell ausgeschieden. Im übrigen können die Kalifeldspäte bis 5 mm Länge und 0,5 mm Dicke erreichen.

#### Analytik, akzessorische Bestandteile

Die Nephelinzusammensetzung  $K Na_3 (AlSiO_4)_4$  kann in natriumreicheren und kaliumreicheren Modifikationen vorhanden sein (erstere hat einen niedrigeren Schmelzpunkt, ca. 1520° gegen 1750°C). Unsere Nepheline sind im allgemeinen

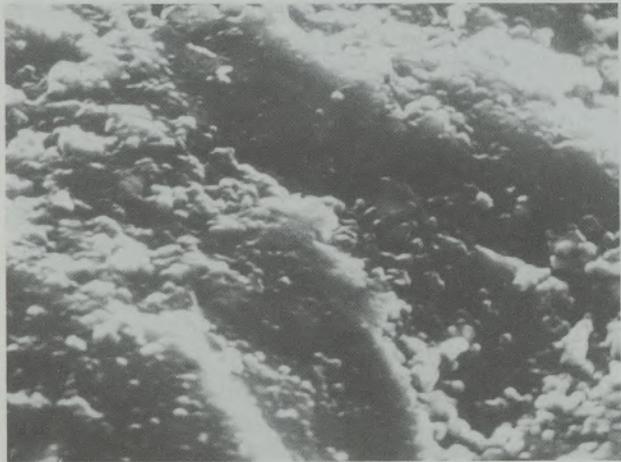


Abb. 4

Der Schichtbau ist zum Teil von sauren Lösungen korrodiert, es wurden in tieferen Bereichen wieder gelartige Partikel abgesetzt.

Vergr. 4500 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch

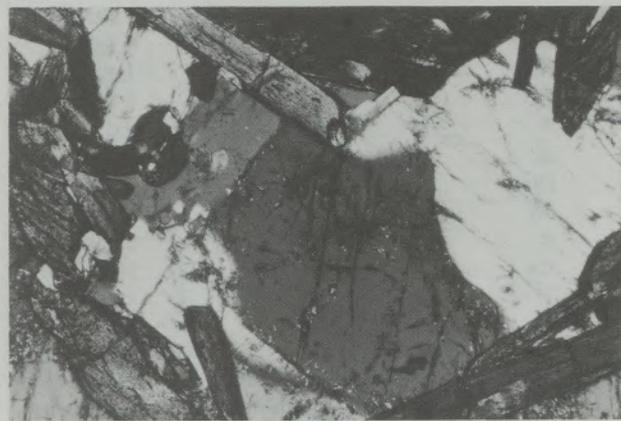


Abb. 5

Hypidiomorpher Nephelin mit Spaltbarkeiten. Randlich begonnene Verwitterung.

Vergr. 55 $\times$ , Nicols//

Ne = Nephelin, K = Kalifeldspat

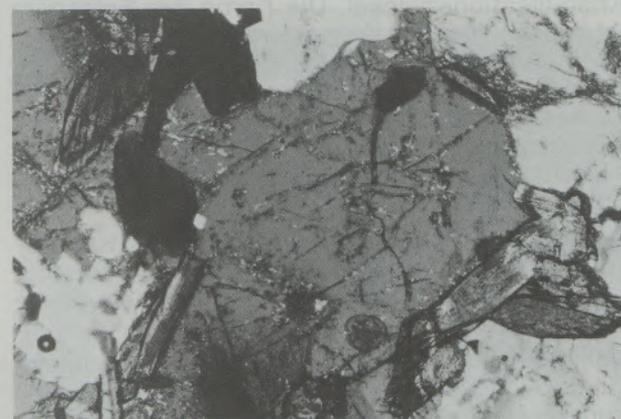


Abb. 6

Idiomorpher Nephelin mit beginnender Verwitterung sowie fein verteilte punkartige Sericitbildung. An der rechten Seite sind Ägirinkristalle parallel zu der Prismenfläche angeordnet.

Vergr. 55 $\times$ , Nicols//

Ne = Nephelin, Ä = Ägirin

natriumreich, seltener überwiegt das Kalium, wie die Röntgenfluoreszenzanalyse im Mikrobereich (EDAX-Zusatzeinrichtung des Rasterelektronenmikroskops) im direkten Vergleich unmittelbar erkennen läßt (Abb. 7: EDAX, Nephelin). Eisen liegt im Nephelin in geringen Konzentrationen vor.

Häufig kommt Nephelin als Entmischung im Kalifeldspat vor – durch die Ätz- und Färbungsreaktion HCl/Anilin nachweisbar. In der EDAX-Analyse erscheint dann Kalium über Natrium (Abb. 8). Auf den Abb. 10–13 (REM-Aufnahmen von Nephelinkörnern) sind Schichtbau und neugebildete Partikel zu erkennen.

Auch der akzessorische Mineralienbestand des Nephelins ist analytisch darzustellen: Abb. 9 (EDAX-Punkteanalyse im Einschlußbereich) zeigt Calcium und Phosphor neben den für Nephelin typischen Peaks und weist auf die Apatit-Einschlüsse hin, die auch optisch erkannt wurden.

| Komponente | Linie       | Energie [keV] |
|------------|-------------|---------------|
| Na         | $K\alpha_1$ | 1,040         |
| Mg         | $K\alpha_1$ | 1,252         |
| Al         | $K\alpha_1$ | 1,485         |
| Si         | $K\alpha_1$ | 1,739         |
| P          | $K\alpha_1$ | 2,013         |
| S          | $K\alpha_1$ | 2,307         |
| Cl         | $K\alpha_1$ | 2,623         |
| Th         | $M\alpha_1$ | 3,000         |
| K          | $K\alpha_1$ | 3,316         |
| Ca         | $K\alpha_1$ | 3,693         |
| Ti         | $K\alpha_1$ | 4,511         |
| Mn         | $K\alpha_1$ | 5,897         |
| Fe         | $K\alpha_1$ | 6,402         |

EDAX-Hauptlinien der Energieterms der untersuchten Komponenten

Auch Thorium ist in dieser Bindung (Apatit) gelegentlich zu finden (Abb. 14).

Kalifeldspäte sind meist idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle. Xenomorphe Körner füllen die Kristallisationszwinkel. Die Farbe der Feldspäte ist grau bei frischen Körnern; meistens liegen aber auch seritisierte Körner vor oder leicht getrübbte, sodaß sie mit parallelen Nicols nach der Art ihrer Zersetzung leicht von Nephelin zu unterscheiden sind (Kalifeldspäte weisen keine netzartige Zersetzung, sondern nur gleichmäßige Seritizierung auf) (Abb. 3).

Außerdem ist in nahezu jedem Schliff von Kalifeldspäten eine deutliche Fließrichtung zu beobachten (Abb. 15); meistens sind sie nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt.

Kalifeldspäte enthalten als Einschlüsse häufig kleine Albit-Kristalle oder perthitische Ausscheidungen (Abb. 16, siehe auch Abb. 17). Nach Ätzung mit HCl und Anilinfärbung konnte an Dünnschliffen durch differenzierte Rotfärbung beobachtet werden, daß in Kalifeldspäten Nephelin netzartig verteilt sein kann. Bei dieser Färbung erscheint nur Nephelin rot gefärbt.

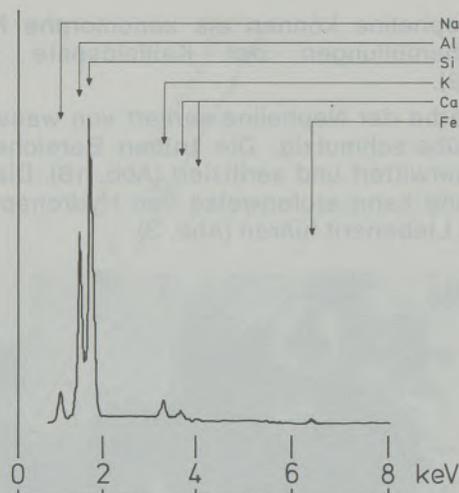


Abb. 7  
EDAX · Nephelin

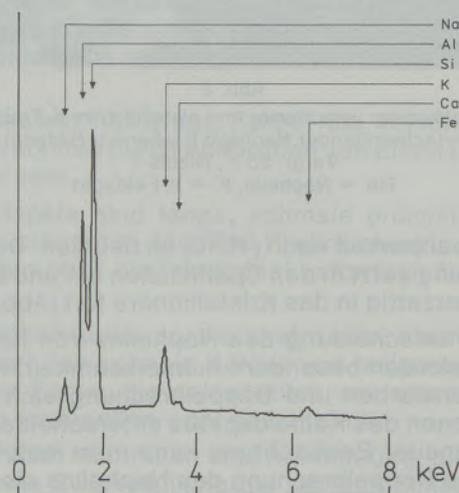


Abb. 8  
EDAX · Kalifeldspat-Entmischung

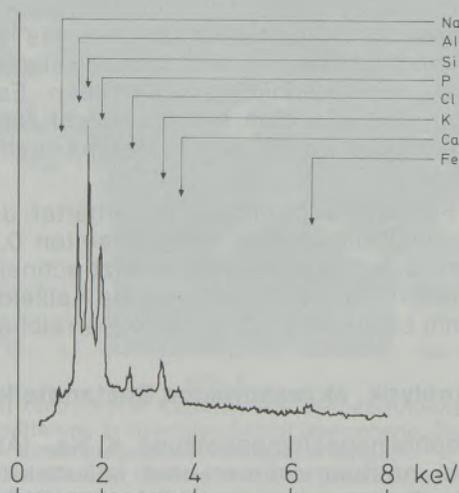


Abb. 9  
EDAX · Apatit-Einschluß

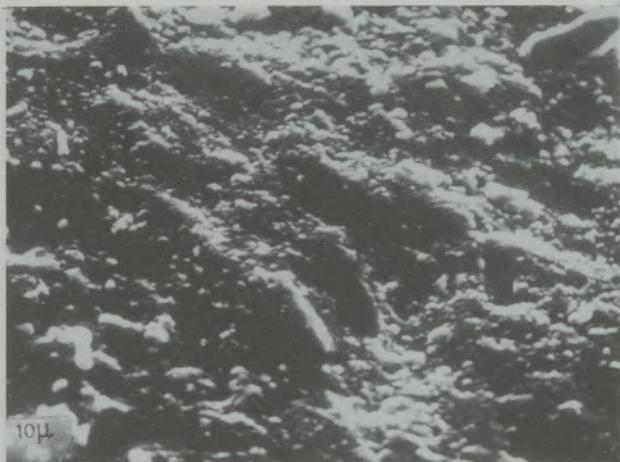


Abb. 10

Das Bild zeigt in kleinerem Maßstab die Übersicht des chemisch verwitterten Schichtbaues, wobei neugebildete gelartige Partikel von nicht ganz kugeliger Form an bestimmten Stellen angesammelt sind (im Bild oben).  
Vergr. 1800X, rasterelektronenmikroskopisch

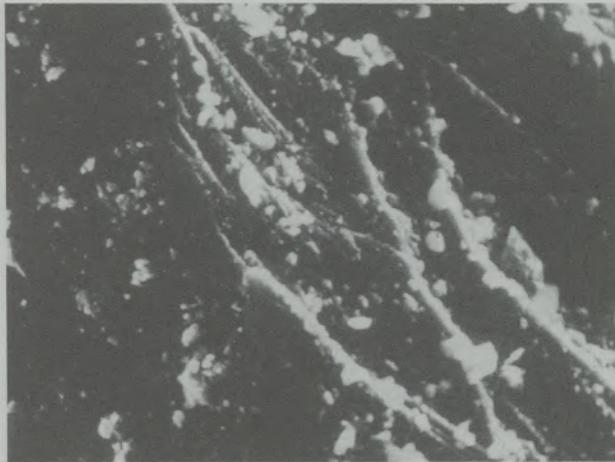


Abb. 13

Der Schichtbau ist durch Lösungen verändert; die Bruchstellen, auf denen Neubildungen sitzen, sind gerundet.  
Vergr. 1800X, rasterelektronenmikroskopisch



Abb. 11

Korrodiertes Schichtbau mit kugeligen Fremdeinschlüssen. Lappenartige Reste von eingewachsenen K-Feldspäten (hell).  
Vergr. 4500X, rasterelektronenmikroskopisch

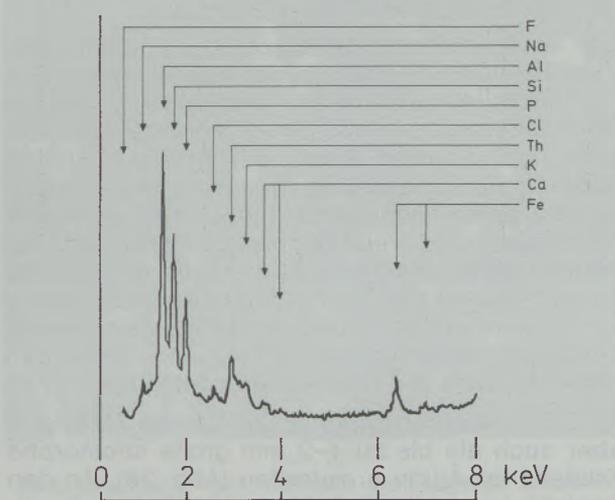


Abb. 14  
EDAX · Th-Apatit

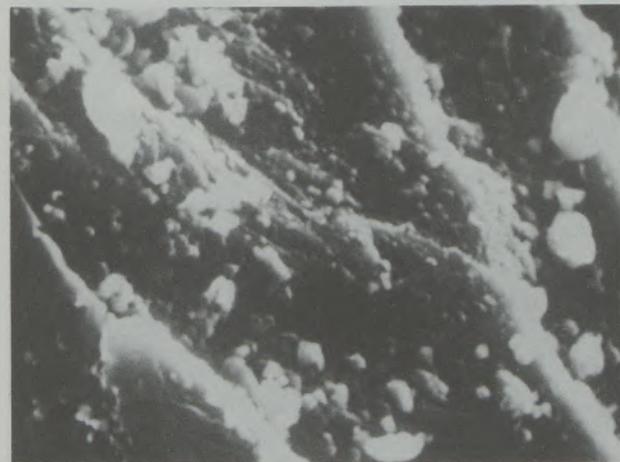


Abb. 12

Der Schichtbau ist durch chemische Korrosion verwischt. Die Neubildungen sind hier nicht kugelig, sondern unregelmäßig zerstreut liegende Keime.  
Vergr. 4500X, rasterelektronenmikroskopisch



Abb. 15

K-Feldspäte sind primär geregelt, das heißt: es zeigt sich die Fließrichtung des Magmas.  
Vergr. 55X, Nicols+  
K = K-Feldspat

Nach der Ätzung wurden sowohl die Nephelinkörner als auch die K-Feldspäte unter dem Elektronenmikroskop untersucht. Die Abb. 18, 19, 20 zeigen verschiedene Vergrößerungen des verätzten Schichtbaues sowie gelartige und kugelige Neubildungen im Kristallgitter des Nephelins. Die Abb. 21, 22, 23 und 24 zeigen durch Ätzung verwischte Schichtgefüge des K-Feldspats. Die Neubildungen parallel zum Schichtbau sind als kleine Kügelchen oder unregelmäßige Gelbildungen zu sehen. Die Reinheit solcher Kalifeldspatkörner ergibt sich durch Röntgenfluoreszenzanalyse im Punktbereich (EDAX, Abb. 25).

Einschlüsse in Feldspäten, vor allem Apatite, werden gelegentlich erkannt, hier ein Ca-Si-P-S-Apatit (Wilkeit, EDAX, Abb. 26).

Es ist anzunehmen, daß die Ausscheidung dieser Phasen aus dem Magma der Kalifeldspäte nach denjenigen der idiomorphen Nephelinkristalle erfolgte oder sich mit denjenigen der xenomorphen Nepheline überschneidet (siehe Abb. 2). Sie behindern ihr gegenseitiges Wachstum.

Der entscheidende Unterschied zwischen den Verwitterungsoberflächen der Kalifeldspäte und der Nepheline zeichnet sich dadurch aus, daß bei Nephelin eine uneinheitliche Verwitterung einsetzt, bei welcher Reste der frischen Stellen übrigbleiben können. Dagegen ist bei Kalifeldspäten die ganze Oberfläche angegriffen, und zwar regelmäßig, und weist hellbraune Farbe auf. Außerdem ist bei Kalifeldspäten häufig ein brauner Absatz entlang der Spaltbarkeit zu sehen. Mikroklin ist sehr selten zu beobachten. Es sind kleine xenomorphe Körner, die als Fetzen zwischen den Kalifeldspäten und Nephelinen vorkommen.

Als 0,05 mm große tropfenartige Partikel (Abb. 27), aber auch als bis zu 1–2 mm große idiomorphe Kristalle ist Ägirin anzutreffen (Abb. 28). An den Basisflächen ist der Schnittwinkel zwischen Spaltbarkeiten  $90^\circ$  (verzerrt durch die rasterelektronenmikroskopische Projektion) (Abb. 29, 30, 31).

Die Farbe ändert sich von grün (in der Querrichtung) zu gelblichhellbraun (in der Längsrichtung). Ein für Ägirinaugit typischer Zonarbau ist hier nicht zu sehen.

Die Mikroanalyse mittels Röntgenfluoreszenz (Mikrosonde EDAX) zeigt, daß die Ägirinzusammensetzung in Richtung eines Akmit differenziert ist, durch den Eintritt von Ti, Fe, Mn in das Kristallgitter (Abb. 12). Der Kaliumgehalt ist auf die Nachbarschaft von Kalifeldspat zurückzuführen, entweder im Kristallgitter des Ägirins eingebaut oder sekundär durch Lösungsvorgänge angereichert (z. T. als Neubildungen) (siehe auch Abb. 27).

Als akzessorisches Mineral kommt Flußspat vor, als rundliche Körper oder unregelmäßige Bruchstücke. Es sind immer violette Farbnuancen zu beobachten, hervorgerufen durch radioaktive Gitterveränderungen. Rauhe Oberfläche, niedriger Brechungsindex, frische und unbeschmutzte farblose Oberfläche sind charakteristisch.

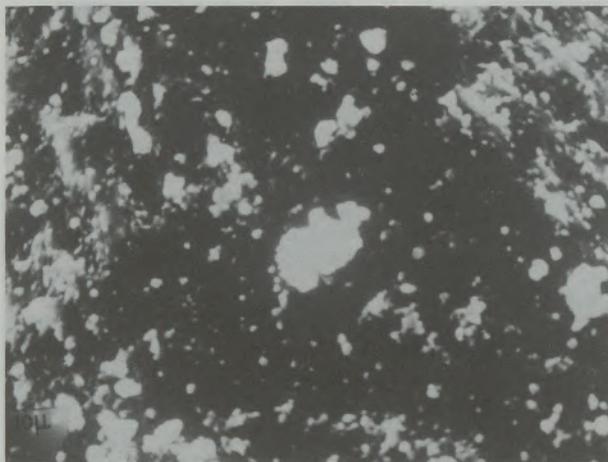


Abb. 16

In K-Feldspäten sind kleine Albit-Entmischungen auch als Mikroausscheidungen zu erkennen (Mikroperthit-Bildung).  
Vergr. 1800 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch



Abb. 17

Bastnäsit als 0,1 mm große, dunkelbraune idiomorphe Körner mit deutlichem Zonarbau.  
Vergr. 55 $\times$ , Nicols //  
B = Bastnäsit



Abb. 18

Neubildungen überwiegen und erscheinen als gelartige und wolkenartige Partikel. Die Neubildungen sind an Bruchstellen konzentriert.  
Vergr. 4500 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch

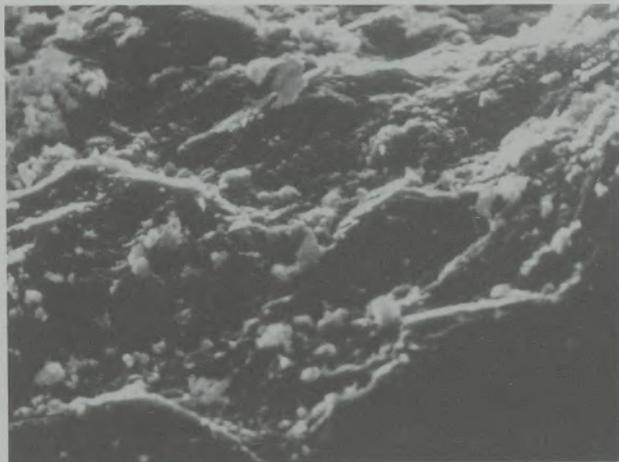


Abb. 19

Ungleichmäßige chemische Abtragung der Bruchstellen. Die Neubildungen sitzen in der Tiefe und in Zwischenräumen.  
Vergr. 1800 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch

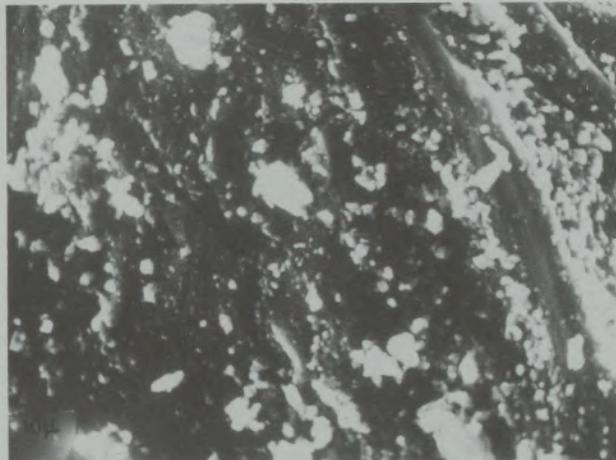


Abb. 22

Bei der Übersichtsaufnahme sind die in Bild 21 beschriebenen Reste als unregelmäßige Streifen, die Neubildungen parallel zum Schichtbau als kleine dichte Kügelchen zu sehen.  
Vergr. 1800 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch

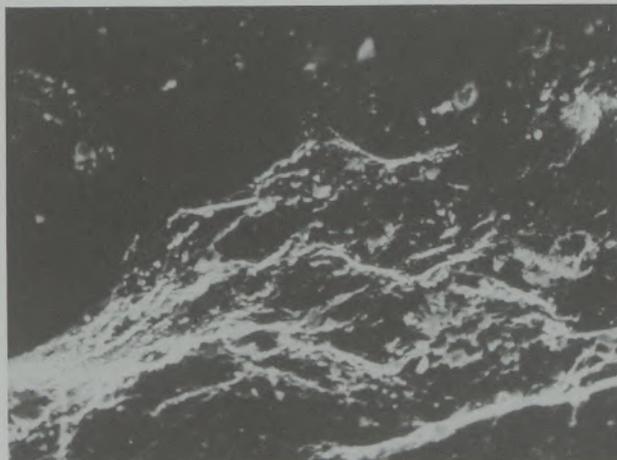


Abb. 20

Übersichtsbild dieser ungleichmäßig abgetragenen Bruchstellen und neugebildeten Absetzungen.  
Vergr. 900 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch



Abb. 23

Kein Schichtbau – gleichverteilte, nicht kugelige, sondern unregelmäßige Neubildungen.  
Vergr. 1800 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch

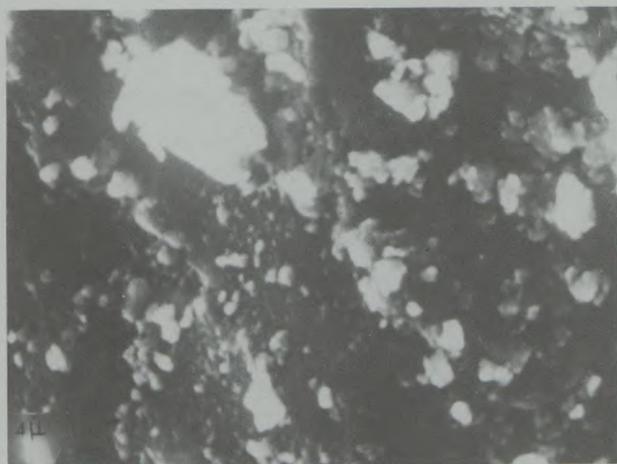


Abb. 21

Im Vordergrund (hell) sind die Relikte stabiler Einschlüsse, im Untergrund (dunkel, z. B. links unten) kugelartige Neubildungen – durch Ätzung der Lösungen sind die Schichtgefüge ziemlich verwischt.  
Vergr. 4500 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch



Abb. 24

Bei der stärkeren Vergrößerung ist der wolkenartige, gelförmige Aufbau deutlich zu erkennen. Durch völlige Seritifizierung ist der Schichtbau des K-Feldspats nicht mehr zu erkennen.  
Vergr. 4500 $\times$ , rasterelektronenmikroskopisch

Bastnäsit kommt akzessorisch in 0,1 mm großen Körnern vor, dunkelbraun gefärbt, zonar oder strahlig gebaut, in idiomorphen Formen oder unregelmäßigen Bruchstücken. Ein metamikter Bau ist nicht im ganzen Körper einheitlich (Abb. 17, 34).

Der Bastnäsit konnte erst durch Debye-Scherrer-Aufnahmen bestimmt werden. Es wurden folgende Intensitäten und d-Werte festgestellt (zum Vergleich die entsprechenden Angaben aus der ASTM-Kartei (Tab. 1) für  $YCO_3F$ , ASTM 25-1009 und  $CeCO_3F$ , ASTM 11-340):

Tabelle 1

| l                            | 2θ    | d        | d         | d     | hkl |
|------------------------------|-------|----------|-----------|-------|-----|
| 2                            | 18,20 | 4,87     | 4,74      | 4,88  | 002 |
| 8                            | 25,20 | 3,53     | 3,43      | 3,564 | 110 |
| 10                           | 31,30 | 2,86     | 2,78      | 2,879 | 112 |
| 6                            | 44,80 | 2,02     | 1,984     | 2,057 | 300 |
| 3                            | 48,80 | 1,87     | 1,822     | 1,898 | 302 |
| 4                            | 60,40 | 1,53     | 1,521     | 1,573 | 304 |
| Bastnäsit vom Malatya-Syenit |       | $YCO_3F$ | $CeCO_3F$ |       |     |

Die gefundenen Netzebenenabstände weisen auf eine Substitution im vorliegenden Bastnäsit zwischen den Cer- und Yttrium-reichen Endgliedern hin.

Die Biotite sind entbleicht, sie kommen nur selten vor. Es wurde kein Zirkon beobachtet. Magnetite sind meist in Hämatit oder Goethit umgewandelt. Gelegentlich wurden neben Flußspat auch xenomorphe Körner mit rosenfarbigem bis rötlichem Pleochroismus beobachtet, sie könnten Eudialyt sein (Abb. 35, 36).

Apatite sind nur als runde Körner und selten anzutreffen (siehe Abb. 37). Chemische Verwitterung von Nephelin kann zu Neubildungen von freier Kieselsäure führen, die als Einzelpeak im EDAX-Bild eindrucksvoll erscheint (Abb. 33).

### Aufbereitung

Die Proben wurden mechanisch zerkleinert und gesiebt, sodann wurden über einem Starkfeld-Magnetscheider (22.000 Gauß) die eisenhaltigen Schwerminerale und der metallische Abrieb aus dem Nephelinsyenit getrennt.

Da die Ägirine, wie schon weiter oben dargestellt, als sehr kleine Körner mit Nephelin und Feldspat verwachsen sind und einen Eigengehalt an Eisen aufweisen, kann bei der Aufbereitung der Eisenwert des Endproduktes auf nur 0,35% (als  $Fe_2O_3$ ) herabgesetzt werden; ein solches Produkt eignet sich für Grobkeramik und für einfaches Glas.

Die Gesamtanalyse des Nephelinsyenits von Malatya (Ostanatolien) ist in Tab. 2 dargestellt (in der

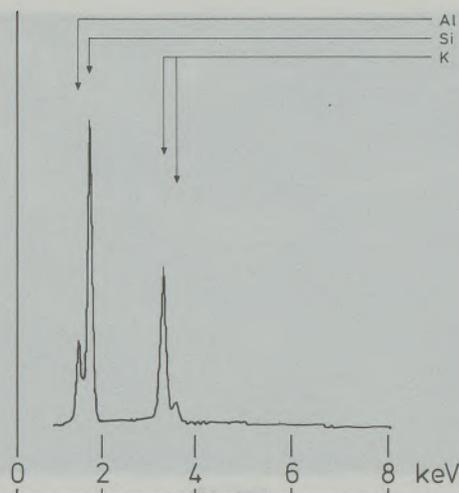


Abb. 25  
EDAX · Feldspat-Korn

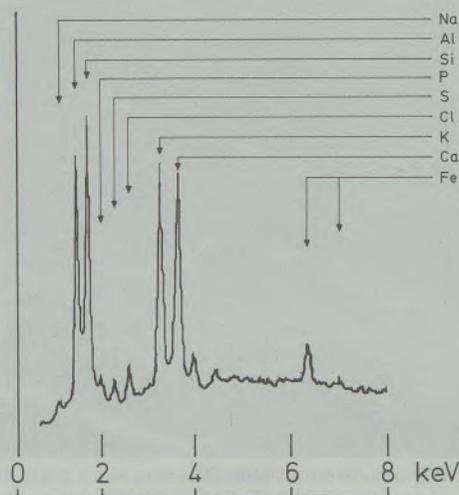


Abb. 26  
EDAX · Wilkeit

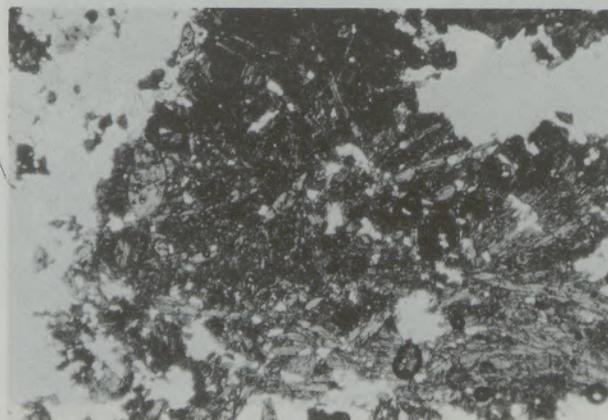


Abb. 27

Ägirin-Nadelchen können weniger als 0,01 mm dick sein und zeigen eine Anhäufung von K-Feldspat.  
Vergr. 22X, Nicols //



Abb. 28

Die Ägirinkristalle sind langgestreckte Körner, die mit K-Feldspat verwachsen sind. Diese Verwachsung erschwert die Abtrennung des Ägirin von K-Feldspat bei der Aufbereitung. Vergr. 22X, Nicols //



Abb. 31

Kreuzschichtbau in Direktaufsicht mit nahezu unverzerrter Winkelprojektion. Auch hier überwiegend kugelartige Fremdadsetzungen, vermutlich von Nephelin. Vergr. 1800X, rasterelektronenmikroskopisch



Abb. 29

Übersichtsbild dieser ungleichmäßig abgetragenen Bruchstellen und neugebildete Absetzungen. Vergr. 450X, rasterelektronenmikroskopisch

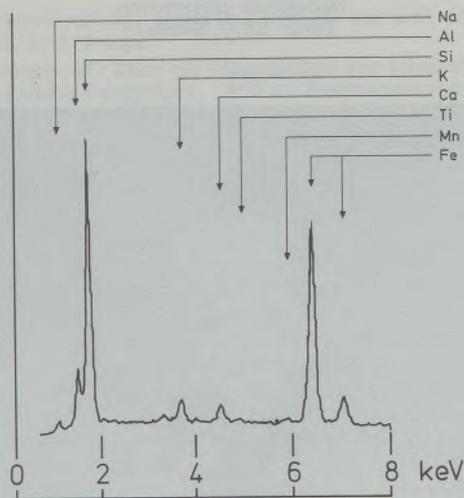


Abb. 32  
EDAX · Ägirin-Korn

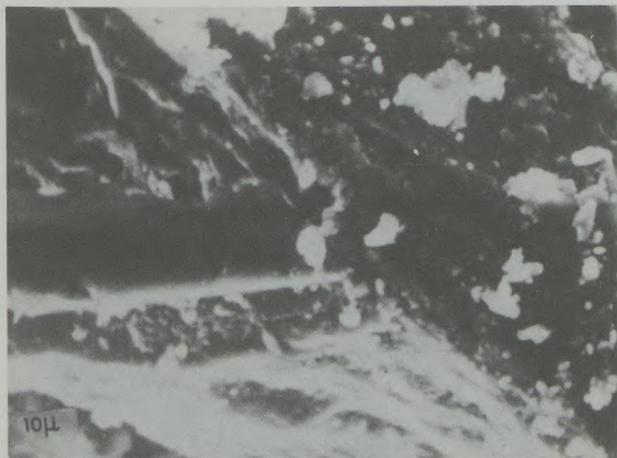


Abb. 30

Zwischen Schichten abgesetzte rundliche Neubildungen. Die Schichten zeigen Kreuzschichtung. In der Mitte der Schichten Fremdeinschlüsse (Zwischenneubildungen). Vergr. 1800X, rasterelektronenmikroskopisch

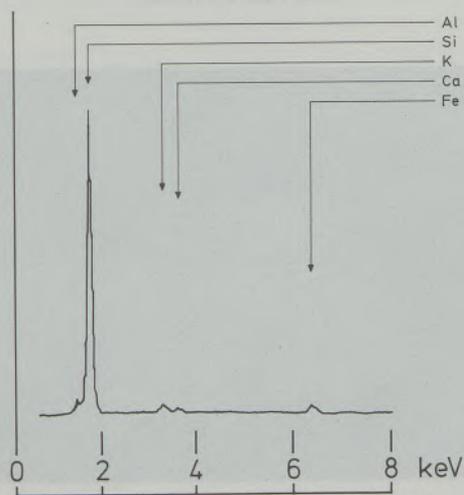


Abb. 33  
EDAX · Freie Kieselsäure

rechten Spalte gegenübergestellt die Vergleichswerte von Stjernøy/Norwegen/Nordkap, des bisher einzigen abgebauten Nephelinsyenits in Europa):



Abb. 34

Bastnäsit kann auch als strahlig angeordnete, längliche Nadelchen vorkommen.  
Vergr. 55×, Nicols //

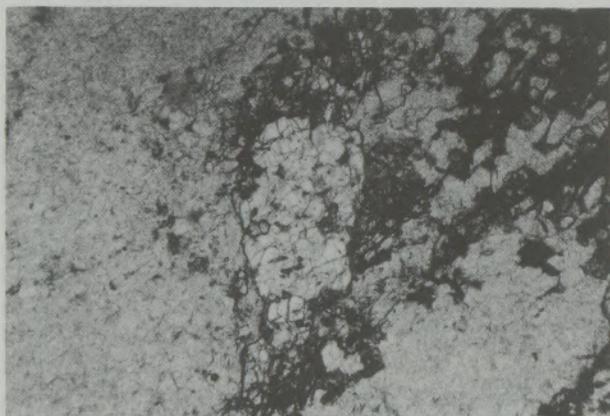


Abb. 35

Eudialyt kann in bis zu 1 mm großen Körnern auftreten.  
Vergr. 22×, Nicols //

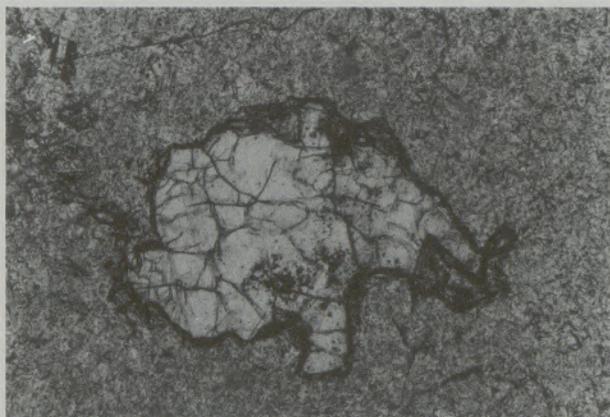


Abb. 36

Eudialyt als unregelmäßiges Korn, von Rissen durchzogen.  
Vergr. 70×, Nicols //

Tabelle 2

|                                | Malatya-Syenit |              | Ø Nordkap-Syenit |
|--------------------------------|----------------|--------------|------------------|
|                                | 0,5–0,2 mm     | 0,2–0,063 mm |                  |
| G.V.                           | 4,05           | 3,84         | 1,18             |
| SiO <sub>2</sub>               | 56,2           | 57,5         | 54,96            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,7           | 22,7         | 24,72            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,41           | 0,37         | 0,12             |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,03           | 0,03         | 0,16             |
| CaO                            | 1,33           | 1,22         | 2,04             |
| MgO                            | 0,24           | 0,26         | 0,00             |
| Na <sub>2</sub> O              | 7,39           | 7,08         | 7,70             |
| K <sub>2</sub> O               | 6,65           | 6,79         | 8,70             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,01           | 0,01         |                  |
| BaO                            | 0,02           | 0,02         |                  |

Dieses Vorkommen von Malatya ist, wie die Gegenüberstellung der Analysenwerte zeigt, von hervorragender Qualität und stellt einen geeigneten Rohstoff für die Keramik- und Glasindustrie dar, zumal er im Tagebau gewonnen werden kann und mit großen Reserven (über 100 Mill. t) vorliegt.

### Diskussion

Nephelinsyenite ersetzen in zunehmendem Maße den Feldspat als Rohstoff der keramischen Industrie; vorteilhaft erscheinen hierbei insbesondere der größere Gehalt an gebundener Tonerde und der niedrige Gehalt an freier Kieselsäure (Quarz) – beides wichtig unter Aspekten der Leichtschmelzbarkeit und damit der Einsparung von Energie.

Dieser technologische Hintergrund wird ergänzt durch Sondereigenschaften der Nephelinsyenite – nämlich hervorragende Abrasions- und Verschleißqualitäten, wie sie sonst nur bei den Schmelzbasalten gefunden werden, dort aber mit höheren Schmelztemperaturen (und damit Ener-

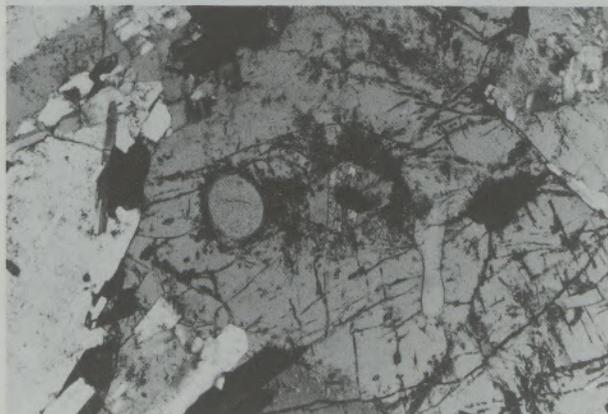


Abb. 37

Frischer, aber von deutlichen Rissen und Spaltbarkeiten durchsetzter Nephelin. Auf der linken Seite ovale Apatite.  
Vergr. 55×, Nicols //  
Ne = Nephelin, A = Apatit

gieaufwand) belastet sind – und gute Korrosions- und Säurebeständigkeit sowie eine homogene Wärmedehnung.

Im abrasionsintensiven Industriebau (Chemieanlagen, Förderrinnen und -rohre für feste Güter) ist daher eine zukunftssträchtige Anwendung zu sehen. Unerläßlich bei Entsorgung und Lagerung von radioaktivem Abfall (Kernbrennstäbe) durch Versintern in keramischen Verbundmaterialien sind Korrosionsbeständigkeit und geeignete thermische Expansion, wie sie von Keramiken aus Nephelinsyenit mit Calcit vorgegeben werden.

Neben der niedrigen Schmelztemperatur – Eutektikum des alkalireichen Rohstoffs – können bei den Nephelinsyenitwerkstoffen Schmelzintervall

und Brennverhalten günstig beeinflußt werden; diese Materialien lassen sich daher hervorragend bei der Glasfaser- und Isolierfaserherstellung einsetzen, als Basiswerkstoffe der Nachrichtentechnik.

Eine gewisse Einschränkung für diese Technologien lag lange Zeit bei der Zusammensetzung der natürlichen Vorkommen, insbesondere in deren Eisengehalt, der durch Magnetscheiden der Feinen zu einem für Allgemeinkeramik vertretbaren Minimum abgesenkt wird; insbesondere nach Flotation sind die ausgewählten Vorkommen (mehrere in Mittel- und Westanatolien, verbunden mit seltenen Erden) der Nephelinsyenite zu einem für die genannten Sonderkeramikanwendungen geeigneten Rohstoff aufzuarbeiten.

#### Literaturverzeichnis

1. Andac, M.: Die Petrographie des Ezine-Syenit-Massivs und seiner Umgebung auf der Halbinsel Biga und die daraus entstandenen radioaktiven Seifen am Strande der Ägäis (Westanatolien). Habilitationsschrift 1973, 200 pp.
2. Andac, M., H. Newesely und H. Wilk: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Opalen von Bayat-Afyon und Karamanca Köyü (Saphane, Gediz-Kütahya). M. T. A. Bull. Nr. 87, 1977, S. 64–66.
3. Bomba, Zafer: Malatya-Hekimhan-Basören Toryum Raporu, M. T. A.-Archiv, 1966.
4. Gebhardt, F.: Abgrenzung und Erläuterung der Rohstoff-situation. Glastechn. Ber. 49, 1976, Nr. 1, S. 1–3.
5. Grenzner, F.: Zur Verwendung von vulkanischem Gestein in der Glasschmelze. Glastechn. Ber., 37. Jahrgang, 1964, Heft 2, S. 126–128.
6. Hösel, J. J.: Magmatische Gesteine als Rohstoffe für die Glasindustrie. Glastechn. Ber. 49, 1976, Nr. 2, S. 27–31.
7. Kornacker, R.: Kalkstein und Dolomit-Rohstoffe für die Glasherstellung. Glastechn. Ber. 49, 1976, Nr. 1, S. 4–11.
8. Newesely, H.: Wandlungen der Bedeutung von „amorph“ und „kolloid“ durch die Strukturforchung mit dem Elektronenmikroskop. Staub-Reinhaltung der Luft (VDI) 27, 1967, S. 219–225.
9. Newesely, H.: Über die Mikrogefüge von Mineralien mit lamellarem Feingefüge. „200 kV Elektronenmikroskopie im Rasterverfahren“, pp. 160–167, München 1974.
10. Picciotto, E. E.: Distribution de la radioactivité dans les roches éruptives. Bull. Soc. Belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol., 1950, 59, S. 170–199.
11. Ramdohr, P., und H. Strunz: Lehrbuch der Mineralogie, 15. Auflage, pp. 380–382 (1967).
12. Riedel, L.: Die Benetzung von Feldspat und Phonolith durch schmelzende Soda bei Gegenwart von Quarz. Glastechn. Ber. Februar 1974, pp. 57–58.
13. Sattler, H.: Borax-haltige Rohstoffe für die Glasindustrie. Glastechn. Ber. 49, 1976, Nr. 2, S. 37–42.
14. Schneiderhöhn, H., und P. Ramdohr: Lehrbuch der Erz-mikroskopie, 2. Bd., pp. 63–72 (1931).
15. Tausen, L. V.: Geochemist of Uranium in Granitoids of the Chernovinsky Massiv (Altai Mountains), 1956, Geokimya, S. 236–245.
16. Weiss, F.: Quarzrohstoffe für die Glasindustrie. Glastechn. Ber. 49, 1976, Nr. 1, S. 12–25.