

## Kalkstein und Dolomit — Rohstoffe für die Glasherstellung

Von Rudolf Kornacker, Bergisch Gladbach

(Vortrag auf der 49. Glastechnischen Tagung am 14. Mai 1975 in Braunschweig)

(Mitteilung aus dem Kalkwerk Cox, Bergisch Gladbach)

(Eingegangen am 21. Juli 1975)

Kalkstein und Dolomit finden sich in fast allen Formationen. Ihre Genese, die chemische Zusammensetzung und die Gesteinsgefüge werden in einem kurzen Überblick dargestellt.

Im Hinblick auf die wirtschaftliche Nutzung der Vorkommen werden Lagerstättenhäufigkeit, Lagerungsverhältnisse sowie Lagerstättenenergiebigkeiten und auftretende Abbauprobleme diskutiert. Dolomitvorkommen in der Bergisch Gladbach-Paffrather Mulde, die seit langem für die Glasindustrie abgebaut werden, geben Aufschluß über die wechselhaften petrografischen Zusammensetzungen sowie spezielle Maßnahmen, die bei Abbauplanungen zu treffen sind.

Besondere Schwierigkeiten ergeben sich bei der Erschließung von Lagerstätten wegen einer noch fehlenden Sicherung von Rohstoffgebieten durch die Kommunen, mangelnder Abstimmungen bei Planungen von Verkehrswegen und Grundwasserschutzgebieten sowie Betriebsbehinderungen und hohe Betriebsauflagen als Folge zunehmender Besiedelung. Die Lagerungsverhältnisse bestimmen den Abbau und die Lagerstättenenergiebigkeit. Der Vorratsmenge werden durch einseitige Qualitätsanforderungen an die Abbauprodukte sowie gegebenenfalls auch auf Grund der Einengung der Abbaubetriebe durch Besiedelung, Verkehrsnetz usw. weitere Grenzen gesetzt.

### Limestone and dolomite — raw materials for the glass industry

Limestone and dolomite occur in nearly all geological periods. Important aspects of origins, chemical composition and rock structures are briefly reviewed.

The distribution and yield of deposits as well as structural conditions and problems of winning are discussed in regard to the economical use of the deposits. Dolomite for the glass industry has long been provided by the Bergisch Gladbach-Paffrather basin which provides information on petrographic composition fluctuations and other matters which affect planning of the working.

Considerable difficulties now arise in opening up new workings because of lacking assurance of raw material deposits by the communities. Communal action in planning roads and conserving ground water restrict operations and invoke complicated conditions of operation as a result of increased settlement. The occurrence of the minerals affects the working and the yield. The reserves are thus affected by quality requirements for the product and the restriction of workings by road networks, settlements and other factors.

### Le calcaire et la dolomie — matières premières pour la fabrication du verre

Le calcaire et la dolomie sont présents dans presque toutes les formations géologiques. On fournit un bref aperçu de leur genèse, de leur composition chimique et de leur texture minérale.

Dans l'optique d'une exploitation économique des gisements, on discute la fréquence et la richesse de ceux-ci, les conditions de stockage et les problèmes posés par l'extraction. L'étude des gisements de dolomie du bassin de Bergisch Gladbach-Paffrath, exploités depuis longtemps pour l'industrie du verre, fournit des éclaircissements sur l'instabilité des compositions pétrographiques ainsi que sur les mesures à prendre en vue de planifier l'extraction.

La mise en valeur des gisements connaît des difficultés particulières dues à l'absence, au plan communal, de mesures de sauvegarde relatives aux zones d'extraction, à une coordination défectueuse de la planification du tracé des routes et des zones de protection des réserves d'eau, de même qu'à la sévérité des entraves et obligations imposées à l'exploitation par une urbanisation croissante. Les possibilités de stockage ont un effet déterminant sur l'extraction et le rendement des gisements. L'importance des stocks est en outre affectée par les exigences unilatérales que l'on impose aux produits et, dans certains cas, par la limitation des possibilités d'exploitation due à l'urbanisation, à la voirie etc.

#### 1. Carbonatgesteine als Zuschläge für die Glasherstellung

Zur Herstellung von Glas stellen reine Quarzsande den Grundstoff dar. Das allein reicht bekanntlich nicht aus. Zuschläge aufbereiteter carbonatischer Festgesteine spielen für die Eigenschaften von Gläsern eine wichtige Rolle. Normales Gebrauchsglas enthält 65 bis 75% Kieselsäure, 10 bis 20% Alkalien und 10 bis 20% gebrannten Kalk. Seit einem halben Jahrhundert wird auch Calcium-Magnesiumcarbonat großtechnisch in der Glasindustrie eingesetzt. Die Carbonatzuschläge sind im Endprodukt nur noch indirekt zu erfassen, da die Kohlensäure in der Wanne thermisch dissoziiert. Das ergibt einen gern gesehenen Mischeffekt, und es verbleiben in der Schmelze Erdalkalioxide.

##### 1.1. Ursprung von Carbonatgesteinen

Kalksteine und Dolomite sind durchweg marine Sedimentgesteine, die vor geologisch langen Zeiträumen in ehemaligen Meeresbecken abgelagert wurden. Wegen

des hohen Alters, der vorausgegangenen tiefen Absenkung, der stofflichen Umwandlungen und der tektonischen Verformungen ist der ursprüngliche Zustand solcher Ablagerungen nicht immer deutlich zu erkennen und auch häufig schwer zu beurteilen.

Entstehungsraum und Besonderheiten derartiger Gesteinsbildungen können aus Einschlüssen pflanzlicher und tierischer Organismen ermittelt werden; denn es handelt sich hier überwiegend um biogene Bildungen. Das sieht man schon an den eingeschlossenen Fossilien, wie Korallen, Muscheln oder Algen, die in küstennahen Schelfbereichen lebten und deren fossilisierbare Skelette sich gesteinsbildend anreicherten. Oft genug kann man aus solchen Resten ehemalige Strände, Korallenriffe oder Lagunen rekonstruieren.

##### 1.2. Gesteinsgefüge und Chemismus

Nach den ursprünglichen Ablagerungsräumen sind die Gefüge von Kalksteinen und Dolomiten unterschiedlich ausgebildet. Man kann geradezu von Gerüstkalk-

steinen sprechen, wenn einstige Riffbildner, wie Korallen, Kalkalgen oder Hydrozoen, mit bizarren Geästen und block- und krustenartigen Wuchsformen bankige, ungeschichtete Gesteinskörper bildeten. Im Lee dieser Gesteinskörper und in den Lagunen kamen demgegenüber die Reste der durch den Wellenschlag zerstörten organogenen Bestandteile, wie Muschelklappen, Korallenbruchstücke, Schneckengehäuse usw., schichtig zur Ablagerung.

Solche Besonderheiten einstiger Ablagerungsbereiche bestimmen natürlich auch den Chemismus von Kalksteinen. Die anorganischen Skelettelemente von Organismen, die heute an Riffen zu finden sind, bestehen meistens aus Calciumcarbonat. Dieses  $\text{CaCO}_3$  wird in der Mineralform von Aragonit und Calcit metabolisch ausgeschieden. Die stabilere Modifikation ist dabei der Calcit. Dies ist ein Grund, weshalb Perlmutter-Erhaltungen nur in geologisch jungen Ablagerungen vorkommen. Umkristallisierungen setzen nämlich schon in jungen Ablagerungen, bald nach deren Sedimentation ein. Verbunden sind damit gewisse Gefügeveränderungen und Stoffwanderungen. Während der Diagenese, also der Phase, in der aus dem lockeren Sediment ein Festgestein wird, finden Setzungen statt, und der Porenraum verringert sich zunehmend durch Druckbelastungen von oben. Molekulare Umlagerungen und Fällungen spielen natürlich auch bei den „Zementierungen“ der Gesteinspartikel eine wichtige Rolle.

## 2. Kalksteine

Kalksteine sind chemisch ziemlich einheitlich zusammengesetzt, wenn sie sich nur aus biogenen Stoffen aufbauen und keine Überprägungen hinzugekommen sind. Massige, küstenfern abgesetzte Riffkalksteine sind deshalb oft besonders reine Kalksteine. Lag der Bildungsraum im Einflußbereich von Festlandströmungen, könnten indessen andere Stoffe den kalkigen Komponenten beigemischt sein. Das wären dann Sande oder Tone, so daß statt eines Kalksteins ein Mergel oder sogar ein Kalksandstein entstehen konnte. Natürlich sind solche Gesteine für die Glasindustrie uninteressant, was aber nicht bedeutet, daß sie technisch wertlos wären. Die Zementherstellung bedarf z. B. solcher Rohstoffe.

Geschichtete Kalksteine lassen häufig rhythmische Wechsel zwischen plattigen und tonigen Lagen erkennen. Darin kommen besonders Sedimentationswechsel zum Ausdruck. Zeitabschnitte geringer Wasserbewegungen wären beispielsweise dadurch charakterisiert, daß vor allem feine Tontrübe niedergeschlagen wurde, aus der Schiefer oder Mergel entstanden. Umgekehrt wären bei stärkerer Strömung aus zugeführten grobkörnigeren Aufbereitungsprodukten detritische Kalksteine gebildet worden.

Allerdings können derartige Wechselschichtungen auch bei physiologischen Veränderungen des Wassers zustande gekommen sein. Verschiebungen der Kohlensäurespannungen, wie sie durch den jahreszeitlichen Temperatur-Gang, die Phytoplanktonproduktion oder den Stoffwechsel organischer Organismen hervorgerufen werden, leiten nämlich auf den Sedimentationsflächen womöglich Lösungsvorgänge ein. Es verbleibt dann ein toniges Residual, das als Besteg auf kalkigen Schichtflächen zurückbliebe.

Außer der Kieselsäure und der Tonerde kommen in wechselnder Konzentration auch andere Verbindungen im Kalkstein vor. Erinnert sei in diesem Zusammenhang an Knochenphosphate, die von fossilen Fischen herühren oder an die Kieselsäure, die aus den Kapseln der mikroskopisch kleinen Radiolarien oder den Skleren von Schwämmen dem Gestein einverleibt werden.

Bei Kalksteinen und Dolomiten spielen derartige Elemente meistens keine Rolle, denn sie treten ja nur spurenhaf auf. Der Nachweis von Eisen ist viel wichtiger. Im allgemeinen gehen Eisenanteile in Carbonatgesteinen auf sekundäre, äußere Einwirkungen oder auf Besonderheiten der Sedimentationsverhältnisse zurück. Liegen die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - und  $\text{SiO}_2$ -Werte in einer Carbonatgesteinsprobe hoch, dann gilt das meistens auch für  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . In den Steinbrüchen kommen solche „Verunreinigungen“ häufig in oberflächennahen Horizonten vor, die von Bodenbildungen erfaßt wurden oder zu Flankenbereichen der Lagerstätten gehören.

Fast immer enthält Kalkstein auch etwas Magnesium. Das hängt schon mit der Zusammensetzung der ursprünglichen Lebensgemeinschaften, die an der Gesteinsbildung beteiligt waren, zusammen. So gibt es unter den marinen Kalkalgen Arten, die Calcium und Magnesium in ihre Carbonat-Krusten einbauen. Wo solche Pflanzen den Biotop bestimmen oder ihre Inkrustate zusammengeschwemmt wurden, entstand ein Kalkstein mit relativ hohen Magnesiumgehalten. Meistens sind Carbonatgesteine Vermengungen von verschiedenartigen Komponenten. Daher ergibt die chemische Analyse eines Kalksteins Magnesiumgehalte bis zu 1%, meistens jedoch nicht mehr als 0,3%.

## 3. Dolomite

Wenn jährlich in der Bundesrepublik über 20 Millionen t Kalksteine abgebaut werden, nimmt sich die Dolomitproduktion daneben verhältnismäßig bescheiden aus. Das bedeutet nicht, daß die magnesiumhaltige Verbindung des Calciumcarbonats in seiner volkswirtschaftlichen und technischen Bedeutung zurückstünde. Das Gegenteil ist der Fall. Dolomite, die heute von der Industrie verlangt werden, stellen bereits echte Mangelstoffe dar. Das hat verschiedene Gründe, die teils auf die Lagerstättenogenese und die Lagerungsverhältnisse, teils aber auch auf mangelhaftes Rohstoffverständnis bei Behörden und Parlamenten zurückgehen.

### 3.1. Dolomitbildung während der Sedimentation

Die meisten Dolomite — so auch diejenigen, die in den Alpen oder den Mittelgebirgen am Aufbau ganzer Regionen beteiligt sind — lassen sich nach Sedimentärgefügen und Fossilien unschwer als Umwandlungsprodukte von Kalksteinen erkennen. Es handelt sich also um Gesteinsveränderungen, die auf eine Zufuhr von Magnesiumlösungen nach der Ablagerung zurückgehen.

Es gibt daneben auch echte Primär-Dolomite. Solche bilden sich heute noch auf den Schelfen der niederen Breiten, wo in abgeschlossenen Becken mit hypersalinarem Wasser aus den übersättigten Lösungen unmittelbar  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  entsteht. Je nach Mengenanteil ergibt das Dolomite, dolomitische Kalksteine oder Kalksteine mit Magnesium-Calciten. Kommen noch Tone hinzu, dann bilden sich entsprechende Mergel.

Solche Vorgänge sind aus der Erdgeschichte schon oft beschrieben worden. Während der Perm-Formation wurde beispielsweise Norddeutschland von einem flachen Binnenmeer überflutet, welches, vom Ozean abgeriegelt, wiederholt austrocknete. Dabei entstanden die bekannten und wirtschaftlich so wichtigen Salzlagerstätten Norddeutschlands. Gruben- und Bohrprofile verdeutlichen dabei, daß aus dem Meerwasser je nach Löslichkeit und Sättigung die verschiedenen Salze hintereinander ausfielen. Auf Sanden und Mergeln folgte Dolomit, dann Anhydrit und zuletzt auch das begehrte Stein- oder Kalisalz.

Die Zechstein-Dolomite sind zum Teil unmittelbar, zum Teil auch über biogene Prozesse aus dem Meerwasser gefällt worden. Da sie oft Ton und Sand beigemengt enthalten, sind derartige Carbonatgesteine nur in seltenen Fällen von technischem Interesse für den Abbau.

### 3.2. Sekundäre Dolomitbildung

Poröse Kalksteine oder Mergel können unter Umständen lange Zeit nach ihrer Ablagerung von magnesiumhaltigen Lösungen durchströmt und dabei zu Sekundär-Dolomiten umgewandelt werden. Solche Vorgänge sind häufiger, als man zunächst annimmt.

Verwiesen sei deshalb auf die bekannte Beobachtung, daß Bohrungen durch heutige Riffe in der Südsee in 100 bis 200 m Tiefe auf Dolomite stoßen. Diese sind in der Regel viele hundert Meter mächtig und aus Korallen-Kalksteinen entstanden. Die dazu notwendige Magnesiumquelle war jeweils das im natürlichen Porenraum zirkulierende Meerwasser. Der Austausch von Calcium und Magnesium erfolgte unter den noch belebten Riffen, folglich in bestimmten Druck-Temperaturbereichen. Wo bei absinkendem Untergrund oder steigendem Meeresspiegel die nachwachsenden Rifforganismen die biogene Kalkmasse aufstockten, stieg daher der „Dolomitpiegel“ mit an. Das Ergebnis solcher „diagenetischen“ Vorgänge sind sehr saubere Dolomite; denn als Ausgangssubstanz lagen sehr reine Kalksteine vor.

Nur am Rande sei vermerkt, daß es für die Umwandlung von Kalkstein nach Dolomit auch andere Magne-

siumquellen gibt. Das wären z. B. hydrothermale Lösungen, die auf Spalten aus der Erdtiefe aufstiegen oder Stoffwanderungen im abgesenkten Gesteinsverband während regionaler Metamorphosen.

Im Gegensatz zu Primär-Dolomiten sind Sekundär-Dolomite bereits an einer intensiven Kleinklüftung zu erkennen. Das hängt mit einem beträchtlichen Volumenschwund zusammen, den die Schichten bei der Umkristallisation erfuhren. Ursprüngliche Sedimentgefüge wurden dabei verwischt, oft genug verschwanden sie gänzlich. Damit erklärt sich die bekannte Fossilienarmut und die damit verbundene schlechte biostratigraphische Datierbarkeit von dolomitischen Gesteinskomplexen.

### 4. Gesteinslagerungen

Da es sich bei den Dolomiten um Sedimente handelt, die überwiegend aus Kalksteinen hervorgegangen sind, gibt es zahlreiche Fazies-Abwandlungen. Jeder Ablagerungsraum hat das Gestein auf seine Weise geprägt und dafür kennzeichnende Zeugen hinterlassen. Deshalb gibt es linsenartige Einschlüsse aus Sanden, Tonen und Mergeln in den Dolomiten. Derartige, den Produktionsablauf empfindlich störende Einschaltungen reichen oft weit in die Lagerstätten hinein. Sie sind selbst in zentralen Abbaubereichen manchmal sichtbar oder durch gewisse Beimengungen von Tonerde, Kieselsäure und Eisenoxid geochemisch faßbar. Häufigere Spuren von Strontium, Mangan und Fluor können hinzukommen.

Die Lagerstättenverhältnisse sollten somit geologisch geklärt sein, um derartige „Verunreinigungen“ rechtzeitig zu lokalisieren und aus der Produktion herauszunehmen. Leider liegen die Verhältnisse nicht immer einfach. Es ist auch nie auszuschließen, daß Gesteinsveränderungen durch Lösungen erfolgten, die auf Schichtfugen, Spalten und Klüften Zugang fanden und in der Bankfazies nicht zum Ausdruck kommen. Deshalb können sich weder eine ordentliche Lagerstättenbewirtschaftung noch die tägliche Abbauplanung von der Aufgabe freimachen, die Profilverhältnisse und strukturellen Besonderheiten (Kartierung von Verwerfungen, Klüften und Karstgängen) dauernd im Auge zu halten und Veränderungen zu registrieren.

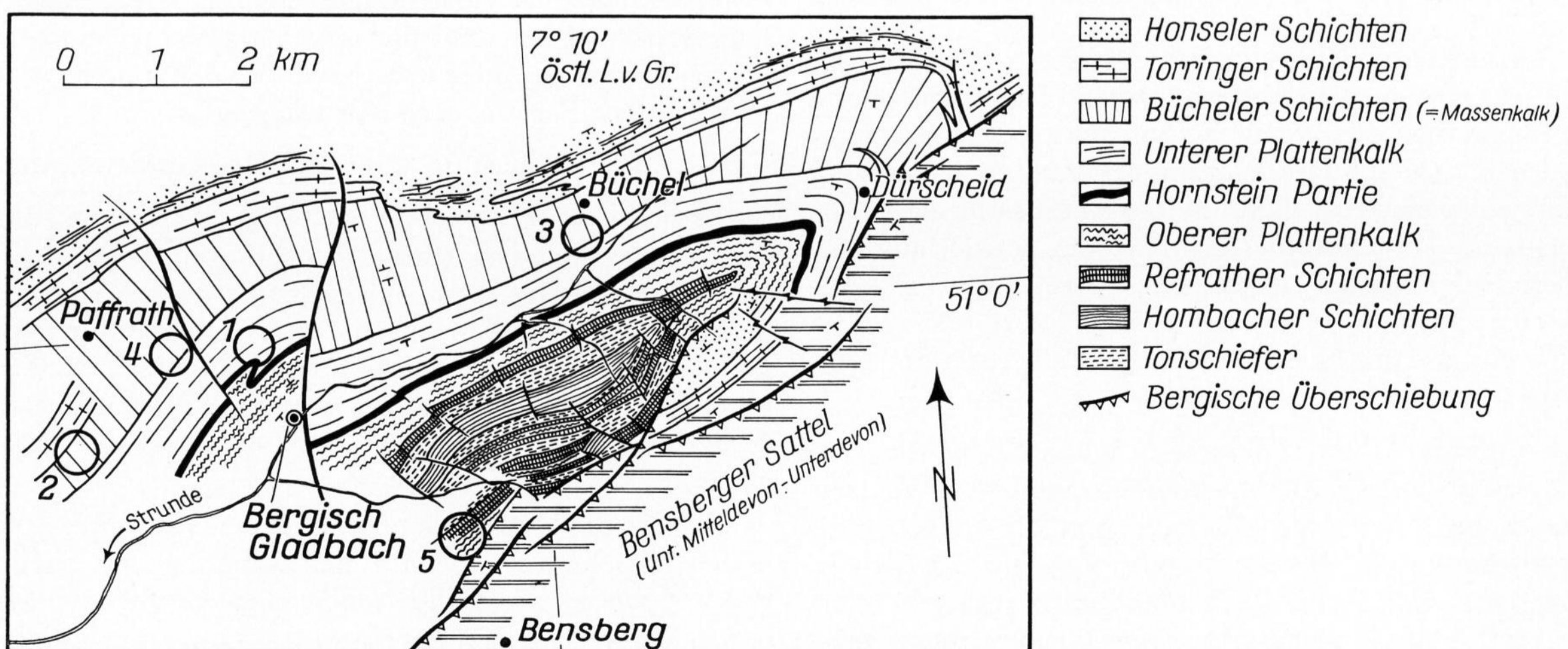


Bild 1. Übersichtskarte der Bergisch Gladbach-Paffrather Mulde nach U. Jux; Steinbrüche des Kalkwerks Cox, Bergisch Gladbach.

Kalksteinbruch: 1 = Marienhöhe (1819 bis 1958); Dolomitsteinbrüche: 2 = Schneppruthe (1935 bis 1940), 3 = Herrenstrunden (1942 bis 1952), 4 = Neuholland (ab 1952), 5 = Lerbach (ab 1965).

### 5. Gesteinsarten

Um einen Überblick über die verschiedenartige Zusammensetzung der Abbauprodukte zu gewinnen, werden nachfolgend die Dolomite aus der variskisch eingefalteten Bergisch Gladbach-Paffrather Mulde im westlichen Bergischen Land herausgegriffen (Bild 1).

Carbonatgesteine kommen hier vor allem im oberen Mitteldevon und im unteren Oberdevon vor. Sie werden von der Firma Kalkwerk Cox in Bergisch Gladbach seit über 150 Jahren abgebaut. Die Steinbrüche schneiden folgende Schichten an:

Unterer und Oberer Plattenkalk: Steinbruch Marienhöhe,

Bücheler Schichten: Steinbrüche Schneppruthe, Herrenstrunden und Neuholland,

Refrather Schichten: Steinbruch Lerbach.

Die lagunär abgesetzten Plattenkalke weisen sich durch relativ hohe Ton- und Silicatanteile aus. Verallgemeinert haben die Gesteine dieser Schichtengruppe die in Tabelle 1 angegebene chemische Zusammensetzung. Das Material eignet sich vorzüglich für die Herstellung hydraulischer Kalke.

Tabelle 1. Chemische Zusammensetzung (in %) der Plattenkalke

CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
54,00	0,60	0,25	0,20	1,50

In den anderen Steinbrüchen (siehe Bild 1) wurden oder werden Dolomite gefördert. In den Vorkommen Schneppruthe, Herrenstrunden und Neuholland stehen dolomitisierte Korallenrasen oder Bänke aus ästigen und blockförmigen Stromatoporen an. Da es sich um echte, biogene Gerüstkalke handelt, sind außer ehemaligem Riffschutt auch andere Komponenten — zum Teil lange nach der Riffbildung — in den zahlreichen Gesteinsfugen eingelagert worden. Deshalb schwanken die chemischen Analysenwerte von Schicht zu Schicht in gewissem Maße. Stromatoporenkalksteine ergaben reinere Dolomite als z. B. Brachiopodenschille oder Korallenrasen. Manchmal ist auch die Gesteinsmatrix stärker dolomitisiert worden als die darin eingeschlossenen Fossilien. Letzteres hat charakteristische, zellige Verwitterungsformen verursacht.

Für die drei mitteldevonischen Vorkommen der Mulde sind chemische Mittelwertanalysen (ermittelt aus sehr vielen Messungen während der gesamten Abbauezeit) in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2. Chemische Zusammensetzung (in %) der abgebauten mitteldevonischen Dolomite

Vorkommen	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Schneppruthe	31,62	20,50	0,28	0,21	0,46
Herrenstrunden	31,00	20,60	0,30	0,35	0,40
Neuholland	30,80	20,90	0,24	0,22	0,34

Das Lerbacher Dolomit-Abbauegebiet liegt in der Nähe der sogenannten Bergischen Überschiebung und ist deshalb durch besonders komplizierte Lagerungsver-

hältnisse ausgewiesen. Die Dolomite sind bei südöstlichem Einfallen intensiv geklüftet und von Verwerfungen durchzogen.

Das oberdevonische Grundgebirge ist durch ein mächtiges Deckgebirge (bis zu 3 m Tone und Sande) verhüllt, wobei eine intensive tertiäre Verkarstung (Dolinen und Höhlen mit Füllmassen aus Schottern, Sanden, Tonen, Gibbsit und Goethit) tief in die Lagerstätte eingeschnitten hat. Die feinklastischen, postpaläozoischen Ablagerungen stören den Abbau ungemün und müssen während der Aufbereitung des Dolomit-Rohsteins ausgewaschen werden. Unter den tonigen Beimengungen ist der Nachweis von Allophan, der vermutlich aus Kaolinit in Randbereichen von Dolinen und Schloten entstand, von wissenschaftlichem Interesse. Es gibt übrigens auch Umwandlungen dieses seltenen Tonminerals in Alumohydrocalcit.

Trotz solcher abbautechnischen Unannehmlichkeiten zeichnet sich — wie der Vergleich mit den mitteldevonischen Dolomiten zeigt — das Lerbacher Lager durch hervorragende Gesteinsqualitäten aus. Eine Mittelwertanalyse des Förderguts (ermittelt aus sehr vielen Messungen seit 1966) zeigt Tabelle 3. Ausgangsmaterial der Dolomitierung sind hier reine, bankige Kalksteine mit Korallen und Stromatoporen aus den Refrather Schichten gewesen.

Tabelle 3. Chemische Zusammensetzung (in %) des abgebauten Dolomits der Refrather Schichten

CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
30,80	21,10	0,19	0,17	0,16

Bild 2 zeigt, wie das Gestein vor der Dolomitierung ausgesehen hat. Es handelt sich dabei um eine Aufnahme, die unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) gemacht wurde. Die von der abgebildeten Probenoberfläche erstellte Elementaranalyse kennzeichnet einen sehr reinen Kalkstein, der mit dem Dolomit von Lerbach verglichen werden darf, weil das Gestein aus der unmittelbaren, nichtdolomitischen Fortsetzung der Lagerstätte (Schmalzgrube) stammt.

Dolomite aus dem Steinbruch Lerbach sind sehr dicht und von überraschend heller Farbe; das Gestein steht bankartig an. In Dünnschliffen sieht man unter dem Polarisationsmikroskop innig verwachsene Dolomit-

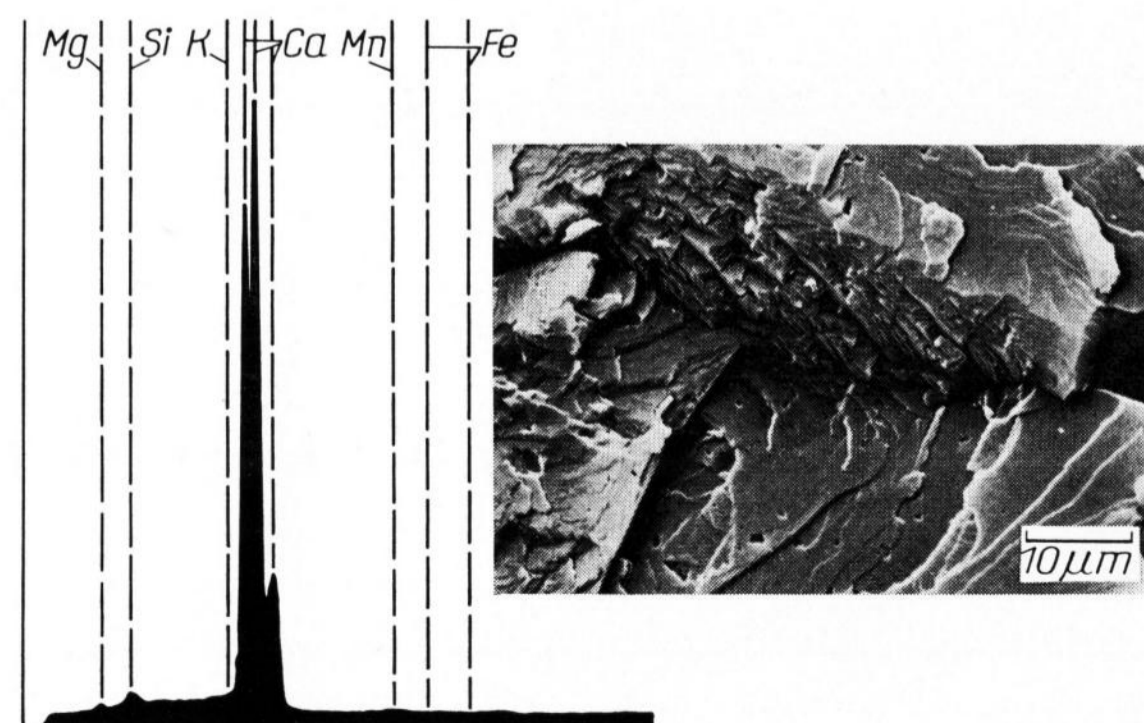
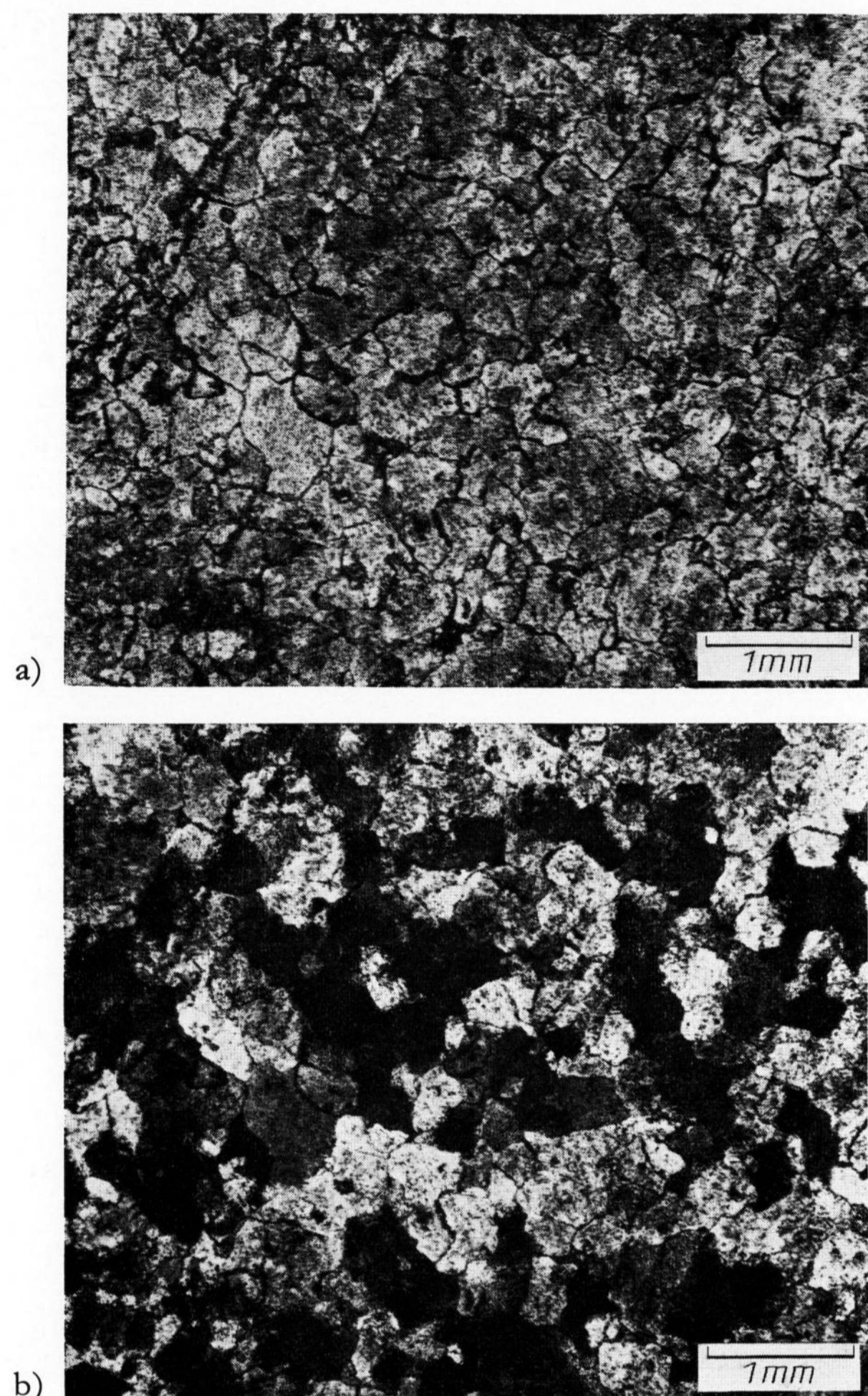


Bild 2. Röntgenfluoreszenzanalyse und REM-Aufnahme von der Oberfläche einer Kalksteinprobe der Refrather Schichten (Oberdevon), Schmalzgrube Lerbach.

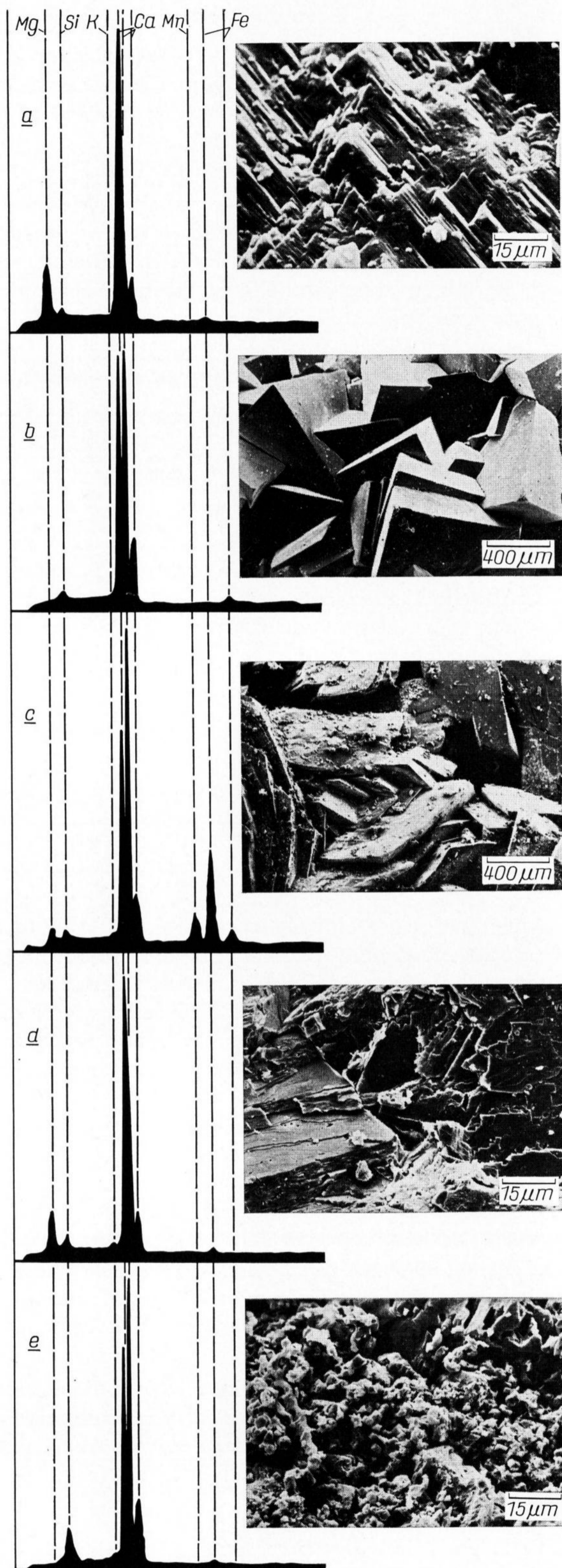


Bilder 3a und b. Dünnschliffaufnahmen von einem dichten, hellen Dolomit, Steinbruch Lerbach;  
a) bei nicht polarisiertem Licht, b) bei polarisiertem Licht.

kristalle (Bilder 3a und b). Freier Porenraum ist nur selten vorhanden, und alle primären Sedimentgefüge wurden offenbar bei der Umkristallisation zerstört. Fossilreste lassen sich deshalb im eigentlichen Lager auch nicht mehr erkennen. Unter dem REM kommt das natürlich ebenso deutlich zum Ausdruck (Bild 4a). Die Dolomit-Rhomboeder kristallisierten feinkörnig und dicht gepackt aus, wobei der Gesteinsanbruch treppenförmige Spaltflächen ergab. Die Elementaranalyse belegt dabei einen hochwertigen Dolomit mit ausgewogenem Calcium-Magnesium-Verhältnis sowie minimalen Eisen- und Siliciumgehalten.

Die Nähe von Verwerfungen zeigt sich beim Abbau durch zunehmende Klüftung des Gesteins. Auf den Spalten zirkulieren vadose Wässer, die lösend wirkten, aber auch gelöste Stoffe absetzten. Daher kommen in solchen Bereichen millimeterdicke Calcitkrusten, manchmal drusenartige Kalkspatauskleidungen und oxidische Eisen- und Manganimpregnationen vor.

Dolinenerze (vor allem Galmei) wurden noch um die Jahrhundertwende im Kalksteingebiet von Bergisch Gladbach abgebaut. Eine elektronenmikroskopische Aufnahme (Bild 4b) von Kalkspateinschlüssen im Dolomit (Probe stammt aus einer Verwerfungszone) mag hierfür als Beispiel dienen.



Bilder 4a bis e. Röntgenfluoreszenzanalysen und REM-Aufnahmen von den Oberflächen verschiedener Proben aus dem Steinbruch Lerbach;

- a) bankiger Dolomit,
- b) Aggregat aus Kalkspat-Kristallen als Drusenfüllung im Dolomit,
- c) Ankerit aus der Randzone der Lagerstätte,
- d) dolomitischer Kalkstein aus der Randzone der Lagerstätte,
- e) grusig verwitterter Kalkstein mit Fossilresten.

Verwerfungszonen stören nicht nur wegen ansteigender Calciumgehalte die Gesteinsproduktion, sondern auch die Eisen-, Mangan- und Kieselsäurewerte überschreiten in solchen Abbaubereichen die gesetzten Normen. Deshalb müssen solche Felder unter Umständen vom Abbau ausgespart werden. Eisen taucht in Form von Goethit ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) und Ankerit ( $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$ ) auf. Bild 4c ist ein REM-Bild und eine Elementaranalyse von einer Ankeritprobe aus dem Steinbruch Lerbach.

Natürlich dürfen solche Gesteine nicht in das Mahlgut kommen. Das gilt aber auch für dolomitische Kalksteine, die im allgemeinen breite Übergangszonen der abbauwürdigen Lagerstätte einnehmen. Derartige Gesteine haben nicht die helle Farbe der Lerbacher Dolomite; ursprüngliche Schichtgefüge sind noch deutlich, und eingelagerte Fossilien können darin erkannt und bestimmt werden (z. B. ästige tabulate Korallen).

Von einem dolomitischen Kalkstein, wie er im Südostfeld des Lerbacher Steinbruchs im Hangenden des Lagers ausstreicht, ist ein REM-Bild (Bild 4d) beigelegt. Vergleicht man die Elementverteilung dieser Probe mit der des reinen Dolomits, so haben sich nicht nur die Calciumwerte ungünstig vergrößert, sondern Eisen und Silicium sind störend hinzugekommen.

Etwa 30 m höher im Profil stehen im gleichen Feld grusig zerfallende Kalksteine an, aus denen man Brachiopoden und auch Korallen sammeln kann. Das körnige, lockere Gefüge geht auf die Karstverwitterung, vielleicht auch auf Stoffwanderungen bei der Dolomitisierung zurück (Bild 4e).

Man kann somit folgende Gesteinsvarietäten innerhalb der Refrathen Schichten im Randbereich der Lagerstätte Lerbach ausmachen: reine Kalksteine, grusig zerfallende siliciumreiche Kalksteine, dolomitische Kalksteine mit deutlichen Fossilresten, Dolomite mit Ankerit-Anreicherungen und schließlich als wichtiges Abbauprodukt die dichten, hellen Bankdolomite.

## 6. Lagerstättenverbreitung

Kalksteine und Dolomite sind zwar weitverbreitet, doch verteilen sich die Vorkommen — insbesondere die abbauwürdigen Lagerstätten — nur auf bestimmte Schichtenfolgen in relativ begrenzten Bereichen (siehe Bilder 1 und 2).

Für die Glasindustrie haben paläozoische Carbonatgesteine hervorragende Bedeutung. In der Devon-Formation, deren mächtige Gesteinsablagerungen das Rheinische Schiefergebirge beherrschen, kommen neben den häufigen Schiefen und Sandsteinen vor allem im mittleren Formationsabschnitt „reine“ Carbonatgesteine vor. Kalksteine wurden auch während der Carbon-Formation im nördlichen Ardennenbereich abgelagert, doch reichen diese Schichten gerade über die Landesgrenze nach Deutschland hinein. Trotz beachtlicher regionaler Verbreitung sind wirtschaftlich interessante Vorkommen räumlich begrenzt. Das liegt an der Ausbildungsweise und Größe der ehemaligen Riffe sowie deren besonderen Lagerungsverhältnissen. Paläozoische Schichten sind zu Sätteln und Mulden verfaltet und häufig von Verwerfungen zerschnitten worden. Wegen solcher tektonischer Überprägungen sanken bestimmte Schichten auf große Tiefen ab und wurden damit für den Abbau unerreichbar. Das Ausstreichen der förderwür-

digen Gesteine beschränkt sich deshalb auf schmale Gebietsstreifen. Ein komplizierter Faltenbau bestimmt das jeweilige Einfallen, die Klüftung und die Schieferung der in den Steinbrüchen anstehenden Schichten. Für die Ausrichtung von Abbaubetrieben sind folglich die Lagerungsverhältnisse bedeutsam, sie beeinflussen wesentlich die Rentabilität jeder Förderung.

## 7. Lagerstättenabbau

### 7.1. Deckgebirge

Sieht man von den Problemen ab, die mit dem Umweltschutz, mit der Besiedlungsdichte oder den Verkehrswegen zusammenhängen, dann stellen bei der Beurteilung einer Lagerstätte Deckgebirge und Grundwasser ihre besonderen Schwierigkeiten. Im negativen Falle können diese Faktoren eine vom Gestein her günstige Lagerstätte von der technischen Nutzung ausschließen.

Die Ardennen, die Eifel, das Bergische Land oder der Harz sind Teilstücke eines tief abgetragenen, alten Faltengebirges. Auf der Rumpffläche ruhen deshalb verschiedenartige Gesteinsverbände, die erst nach der Gebirgsbildung und anschließenden Abtragung abgelagert worden sein können. Da gibt es Konglomerate und rote Sandsteine aus Perm oder Trias, Sande und Tone aus dem Mesozoikum oder dem Alttertiär, schließlich Schotter, Torfe, Löss und Dünenande, die für die letzten Abschnitte der Erdgeschichte kennzeichnend sind. Dieses Material kann als Abraum in beträchtlichen Mengen anfallen, muß auf Halden verkippt und natürlich später rekultiviert werden.

Die Abgrenzung zwischen dem sogenannten Deckgebirge und dem abzubauenen Kalkstein oder Dolomit im Liegenden verläuft im allgemeinen unregelmäßig. Das hängt mit der relativ leichten Löslichkeit von Carbonatgestein zusammen. Kohlensäurehaltige Bodenwässer ätzen an Klüftflächen und Schichtgrenzen die Carbonate an, so daß in entsprechend langen Zeiträumen Höhlen, Dolinen und Schloten entstehen konnten. Solche Erscheinungen gehören zum alltäglichen Aufschlußbild in einem Abbaubetrieb der Kalkindustrie.

Karsthöhlen, Dolinen und Schloten sind von Lockergesteinen, wie Tonen, Sanden, Schottern und selbst Braunkohlen oder Eisenerzen, ausgefüllt. Im Abbau muß das alles sorgsam vom gesuchten Rohstoff geschieden werden. Solche Anforderungen sind schwierig zu meistern, denn Karstwässer haben mitunter Sande, Tone und sogar Schotter tief ins Grundgebirge eingeschwenkt. Weil Kieselsäure, Tonerde und auch Eisenoxid häufig randliche Bereiche von Klüften und Spalten imprägnierten oder mit dünnen Bestegen belegten, sind darüber hinaus an sich saubere Rohstoffe für die Glasindustrie weiterhin ungünstig verändert worden. Unachtsamkeit beim Abbau kann hier die chemischen Analysenwerte des Mahlgutes für  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  unangenehm nach oben treiben.

### 7.2. Wasserführung

Die mit der Dolomitbildung und den Faltungsvorgängen bewirkte Zerklüftung des Gesteins hat für die Verkarstung die entscheidenden Ansatzflächen geschaffen. Dadurch sind natürlich auch dem Grundwasser günstige Zirkulationswege eröffnet worden.

Im allgemeinen weisen paläozoische Carbonatgesteine geringe Porenräume auf; nur wegen der Klüftung spielen diese eine bedeutende Rolle als Speicher für Grundwasser. Auf oberflächennahen Kalksteinen oder Dolomiten sind die Böden trocken, da Niederschlagswasser rasch einsickern. Dabei werden Verunreinigungen ungenügend ausgefiltert, so daß Karstwässer für die Trinkwasserversorgung nicht unproblematisch sind.

Für den Abbaubetrieb bringt das zusätzliche Auflagen mit sich, denn das Deckgebirge muß abgeräumt werden, und die Schichtköpfe liegen dann offen zutage. Regenwasser wird somit unmittelbar ins Grundwasser eingeführt — daß es nicht verschmutzt werden darf, ist keine Frage! Produktionsstätten, die unter den Grundwasserspiegel gehen, verursachen hohe Kosten. Kostspielige und aufwendige Absenkungen und Wiedereinleitungen großer Wassermengen werden dabei erforderlich. Selbst erstklassige Kalksteine und Dolomite lassen sich im Normalbetrieb 20 m unterhalb des Kluftwasserspiegels kaum noch wirtschaftlich heben. Neben technischen Schwierigkeiten bringt das neue Wasser-Haushalts-Gesetz dabei erhebliche Beschränkungen und Auflagen, die natürlich genau beachtet werden müssen.

### 7.3. Abbaukontrolle

Wie bereits erwähnt, ist die Qualität der Kalksteine und Dolomite an sehr komplizierte Bildungsprozesse in besonders geprägten Ablagerungsbereichen gebunden gewesen. An der gleichen Abbauwand können sowohl im Vertikalprofil wie in der Horizontalen Faziesverschiebungen beobachtet werden, die womöglich auf Eigentümlichkeiten des ursprünglichen Ablagerungsbereiches zurückgehen. Die Gesteine weisen dann feine Gefügeunterschiede auf, mit denen stoffliche Veränderungen Hand in Hand gehen. In der chemischen Analyse werden solche Faziesverschiebungen ebenfalls deutlich — sie können sogar qualitätsstörend sein. Eine Selektion des Gesteins nach Güteklassen ist bedingt möglich, aber für jeden Betrieb kostenempfindlich.

So steht der Abbaupraktiker und Aufbereitungstechniker ständig vor dem Problem, die analytischen Forderungen der Abnehmer — deren Wünsche, je nach Verwendungszweck des Mahlgutes, erheblich differieren — zu berücksichtigen und zugleich den Produktionsgang im Steinbruch und im Werk in Fluß zu halten.

Blindgeführte, nicht langfristig vorgeplante und auf Improvisation angewiesene Steinbrüche sind heute wirtschaftlich absolut untragbar. Die Lagerungsverhältnisse und Ausdehnungen dolomitischer Gesteinskörper sind Kalksteinvorkommen gegenüber uneinheitlicher, was wechselhafte Förderprodukte bedingt. Ein prospektiertes Abbaufeld muß auf engem Raster abgebohrt und gründlich sondiert sein, um wirklich gezielt ausgebeutet werden zu können.

Trotz vorsorglicher Planungen mit hohen Investitionen bedarf ein Förderbetrieb kontinuierlicher geologischer und petrografischer Überwachung. Die Aufbereitung kann andernfalls den gestellten Qualitätsforderungen nach gleichbleibenden Endprodukten nicht nachkommen. Das schließt nicht aus, daß geringe Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung unvermeidlich bleiben. Volkswirtschaftlich wäre es indessen nicht vertretbar, wenn bei den knappen Rohstoff-

reserven nur bestimmte Güteklassen gefördert und weiterverarbeitet, andere dagegen auf Halden verkippt würden. Um einen solchen Raubbau zu vermeiden, sollten die Anforderungen der Abnehmer nicht übersteigert werden. Die Vorräte an hochwertigen Kalksteinen und Dolomiten sind — wie gesagt — ziemlich begrenzt. Nur bei einer verantwortungsbewußten Planung dürften in unserem Lande die reinen Kalksteine und Dolomite für die nächsten Jahrzehnte verfügbar bleiben und den relativ billigen, aber wichtigen Zuschlagstoff für die Glasindustrie liefern.

## 8. Lagerstättennutzung

Über die Verfügbarkeit von oberflächennahen Carbonatgesteins-Lagerstätten ist in der Bundesrepublik in den letzten Jahren viel geschrieben und noch viel mehr geredet worden. Es ist sattem bekannt, daß es um Rohstoffe geht, die volkswirtschaftlich der Bedeutung entsprechen, die auch andere Lagerstätten — z. B. Kohle, Erze oder keramische Tone — einnehmen. Man kann nicht leugnen, daß geeignete Vorräte in erschreckender Weise verknappen. Das hat verschiedene Ursachen.

Potentielle Lagerstätten wurden zur Absicherung von Wasserversorgungen, wegen land- und forstwirtschaftlicher Ansprüche oder naturschützender Maßnahmen in steigendem Maße der unmittelbaren Nutzung entzogen. Die Bedeutung, die bestimmte Gebiete für die Naherholung, den Wasser-, Natur- und Landschaftsschutz haben, wird dabei nicht einmal in Abrede gestellt. Bei den Verkehrsplanungen und dem Bau neuer Siedlungen hat man aber noch vor wenigen Jahren kaum auf die langfristige Rohstoffsicherung geachtet, und es gibt Lagerstätten, die so zerstückelt wurden, daß ein Abbau jetzt unmöglich ist. Wenn dabei Volksvermögen vertan wurde, hat das jedenfalls kaum einer zur Kenntnis genommen. Es ist unverständlich, wie spät erst bei der Erstellung kommunaler Flächennutzungs- und Baupläne oder anderer raumplanerischer Maßnahmen Bodenschätze ins Blickfeld allgemeiner Betrachtung kamen. Offenbar fehlt die umfassende Information aller Kreise über die kritische Rohstofflage der auf Dolomit und Kalkstein angewiesenen Industrien auch jetzt noch. Stattdessen haben folgende, an sich begrüßenswerte Gesetze seit 1970 die Nutzungsmöglichkeiten von Rohstoffen der Steine- und Erden-Industrie weiter eingeschränkt:

Naturschutzgesetz von 1970,  
Gesetz zur Ordnung von Abgrabungen von 1972,  
Planungsgesetz von 1972,  
Abfallbeseitigungsgesetz von 1972,  
Bundesbaugesetz von 1974,  
Bundesfernstraßengesetz von 1974,  
Gewerbeordnung von 1974,  
Bundesimmissionsschutzgesetz von 1974,  
Städtebauförderungsgesetz von 1974.

Man sollte bei alledem berücksichtigen, daß nicht nur die Ausbeutung, sondern auch die Entstehung einer Lagerstätte an Gesetze gebunden ist; gemeint sind die unverrückbaren und einmaligen Bildungsprozesse der Geologie.

### 9. Lagerstättensicherung

Die Güteansprüche, die von der verarbeitenden Industrie, hier der Glasindustrie, an das Fördergut gestellt werden, haben sich im letzten Jahrzehnt gesteigert. Viele Kalk- und Dolomit-Steinbrüche konnten diesen Anforderungen nicht mehr genügen und schieden als Rohstofflieferanten für die Glaserzeugung aus. Neue Lagerstätten sind — wie gesagt — kaum verfügbar. In einem klassisch erforschten Industrieland wie Deutschland dürfen keine Sensationen auf diesem Gebiet erwartet werden. Die geologischen Spezialkarten belehren jeden, daß ganz wenige Ausweichmöglichkeiten bestehen, wobei die zu erwartenden Abbauerschwernisse die Förderkosten so hoch treiben, daß die rentable Nutzung fraglich bleibt.

Jetzt, mindestens eine Generation zu spät, macht man von Amts wegen Erhebungen über schutzwürdige Roh-

stofflager. In Nordrhein-Westfalen sollte unter Mitwirkung des Geologischen Landesamtes in Krefeld bis Ende 1975 der Landesentwicklungsplan V fertiggestellt sein. Sein Anliegen ist es, alle im Lande verfügbaren mineralischen Rohstoffe festzustellen, ihre Bedeutung und Ausdehnung abzuschätzen und möglichst viel für den zukünftigen Abbau sicherzustellen. Damit soll endlich erreicht werden, die wenigen noch vorhandenen Lagerstätten — dazu gehören selbstverständlich Kalkstein- und Dolomitvorkommen — vor weiteren Beschneidungen zu schützen. Diese Rohstoffe werden für die industrielle Nutzung — von der schließlich alle so oder so leben — bereitgehalten. Man beginnt glücklicherweise, die Beschwörungen der Experten zu beachten, die auf Tagungen und wissenschaftlichen Beratungen zu äußerster Sparsamkeit beim Umgang mit Bodenschätzen wieder und wieder hingewiesen haben.

76R0059