

Reinkarbonat-Lagerstätten im Rätikon (Vorarlberg)

Von HEINER BERTLE*)

Mit 1 Abbildung und 6 Tabellen

*Vorarlberg
Rätikon
Reinkarbonate
Sulzfluhkalk
Hauptdolomit
Raibler Schichten*

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 140, 141, 142, 169

Inhalt

Zusammenfassung, Summary	7
Projektsbeschreibung und -durchführung	7
Geologische Situation, Reinkarbonathöffige Formationen	8
Ergebnis der Übersichtsbeprobung	10
Durchführung und Ergebnisse der Detailuntersuchung ausgewählter Lagerstätten	10
Auswertung der Untersuchungsergebnisse, Lagerstättenbeschreibung	12
Literatur	14

Zusammenfassung

In zwei Untersuchungsphasen wurden aus der großen Anzahl abbauhöffiger Gesteinsfolgen und Untersuchungsbereiche fünf Reinkarbonatlagerstätten ausgewählt und hinsichtlich der Materialqualität, des Lagerstätteninhalts, der Lagerungs-, Abbau und Erschließungsverhältnisse sowie der Raumverträglichkeit näher untersucht. Von diesen Lagerstätten weist die Reinkalklagerstätte Weißplatte (Sulzfluhkalk) einen abbaubaren wahrscheinlichen Lagerstätteninhalt von 150 Mio m³ chemisch einheitlichen hochreinen und Reinstkalk (CaCO₃-Gehalte 97,8–99,8 %) auf, ist aber nur untätig abbau- und erschließbar.

Zwei andere Reinkalklagerstätten mit 2,5 bzw. 5 Mio m³ abbaubarem wahrscheinlichem Inhalt an Reinkalk (CaCO₃-Gehalt 95,5–97,46 %) liegen in den Raibler Schichten und erfordern die Umlagerung größerer Braumengen.

Die Reinstdolomitlagerstätte Lorünser Berg mit 70 Mio m³ abbaubarem wahrscheinlichem Lagerstätteninhalt und mit einem Gesamtkarbonatgehalt von 98,55–100 % sowie einem CaO/MgO-Verhältnis von 1,38–1,47 : 1 ist am Haupttalrand verkehrsmäßig günstig gelegen. Die Reindolomitlagerstätte Daleukopf mit 150 Mio m³ abbaubarem wahrscheinlichem Lagerstätteninhalt und einem Gesamtkarbonatgehalt von 99,39 % sowie einem CaO/MgO-Verhältnis von 1,423 : 1 ist abbau- und erschließungstechnisch ungünstiger. Beide Dolomitlagerstätten betreffen ostalpinen Hauptdolomit.

Summary

As the result of two investigatory steps 5 deposits of pure limestone and pure dolomite were explored concerning the quality of the material, the reserves, the position and the conditions for developing and working those deposits.

The deposit of Weißplatte (Sulzfluhkalk of the Malm-formation) contains a probable reserve of 150 Mio m³ of the purest type of limestone as well as very pure limestone of a uniform quality

(97,8–99,8 % CaCO₃). This limestone can only be produced by underground working.

Two other deposits of pure limestone with probable reserves of 2,5 and 5 Mio m³ (95,5–97,46 % CaCO₃) are situated in the Raibler Schichten-formation (Karn). Their production demands the removal of large quantities of overburden. The deposit of Lorünser Berg with a probable reserve of 70 Mio m³ and the deposit of Daleukopf with a probable reserve of 150 Mio m³ are deposits of Hauptdolomit-formation (Nor). These reserves are of very pure dolomite (98,55–100 % content of total-carbonate, CaO/MgO = 1,38–1,47 : 1).

The deposit of Lorünser Berg can very easily be developed and produced.

Projektsbeschreibung und Projektdurchführung

In den Jahren 1979–1980 wurden im Rahmen der Rohstoffforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung umfangreiche Geländeuntersuchungen, Probenahmen und Laboruntersuchungen durchgeführt. Ziel war die Erkundung von abbaubaren Lagerstätten von reinem Kalk und reinem Dolomit im Rätikon (Vorarlberg) als Rohstoffe für die Hütten-, Glas-, Farben-, Zucker- und keramische Industrie, die chemische Industrie, insbesondere für die Erzeugung von Glyzerin, Soda, Waschmitteln, Kalziumkarbit, Kalkstickstoff usw. und die Pharmazie (Füllstoffe für Medikamente, Salben, Zahnpasta, Trinkwasseraufbereitung), aber auch mit geringeren Qualitätsansprüchen für die Zementindustrie, die Landwirtschaft, die Bauindustrie und den Straßenbau.

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in einem Projektsbericht mit ausführlichem Kartenmaterial (H. BERTLE, 1980) zusammengefaßt.

Die Anforderungen an die Reinheit der Karbonate werden vom Verwendungszweck bestimmt. Den Untersuchungen wurden folgende, an A. BENTZ & H. J. MARTINI II (1968) und E. FLÜGEL & J. G. HADITSCH (1975) angelehnte Definitionen verwendet:

*) Anschrift des Verfassers: DDr. HEINER BERTLE, Ing.-Konsulent f. Techn. Geologie, Dorfstr. 34, 6780 Schruns/Vbg.

Kalkreihe (CaCO_3 -Gehalt): reinster Kalk > 99% — Hochreiner Kalk 99–98% — Reiner Kalk < 98–95% — Mergeliger Kalkstein 95–85% — Mergelkalk 85–75% — Kalkmergel 75–65% — Mergel 65–35% — Tonmergel 35–25% — Mergelton 25–15% — Mergeliger Ton 15–5% — Hochprozentiger Ton < 5%.

Dolomitreihe (CaO/MgO -Verhältnis): Reinstdolomit 31,39–1,45 — Reindolomit 1,45–1,70 — Kalkiger Dolomit 1,70–2,56 — Dolomitischer Kalk 2,56–3,52 — Kalk > 3,52.

Die insgesamt geforderten niedrigen Werte an Elementen wie Mg, Fe, Si variieren je nach Verwendungszweck, wobei ein gewisser Gehalt dieser Elemente für bestimmte Verwendungsarten jedoch erwünscht ist. Generell werden gleichmäßige, feinkörnige (arenitische) Kalke und Dolomite bevorzugt, doch variieren auch hier die Anforderungen je nach dem Verwendungszweck.

Die Projektsdurchführung erfolgte auf der Grundlage der Sammlung und Auswertung der sachlich und örtlich einschlägigen Literatur einschließlich zahlreicher eigener und fremder geologischer Gutachten und Gesteinsuntersuchungen für den Kraftwerksbau (Vorarlberger Illwerke AG), den Straßenbau, für Wasserversorgungsanlagen und Baurohstofflagerstätten. In einer ersten Untersuchungsphase mit umfangreichen Geländebegehungen und einer Übersichtsbeprobung als Ergänzung zu vorhandenen Gesteinsanalysen wurden die Gesteinsserien ausgeschieden, die als mögliche Reinkarbonatträger in Frage kommen. In einer zweiten Untersuchungsphase wurden diese interessanten Gesteinsserien durch Geländebegehungen und Profilaufnahmen im Hinblick auf abbau- und erschließbare Lagerstätten wirtschaftlich interessanter Größe geprüft. Die ausgewählten Detailuntersuchungsbereiche wurden mit dichten Beprobungsnetzen belegt, um chemische Gesteinsunterschiede zu erfassen. Da sich solche trotz unterschiedlicher tektonischer Stellung, stratigraphischer Lage und petrographisch-texturereller Ausbildung der beprobten Gesteinslagen nicht zeigten, erübrigte sich eine sedimentologische Detailuntersuchung. Als Abschluß der Untersuchung wurden die Lagerstättenreserven, die Erschließungs- und Abbauvoraussetzungen und die Umweltverträglichkeit der ausgewählten Lagerstätten ermittelt. Die chemischen Analysen wurden durch die Materialprüfanstalt der Vorarlberger Illwerke AG, Schruns an 63 Proben und durch das Analytische Institut der Universität Wien, Univ.-Doz. Dr. W. KIESL, an 51 Proben ausgeführt. Ergänzend wurden an 16 Proben durch die Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Geotechnisches Institut, Weißtests durchgeführt.

Geologische Situation, Reinkarbonat-höfige Formationen

Das Projektsgebiet, an der Westgrenze Österreichs zur Schweiz und zu Liechtenstein gelegen, umfaßt die Gebirgskette des Rätikons mit 390 km² Fläche und Geländehöhen zwischen 450 und 2965 m ü. A. (Abb. 1).

Im Rätikon überlagern die ostalpinen Nördlichen Kalkalpen und das südlich anschließende Silvrettakristallin die penninischen Einheiten der Arosa Zone, der Sulzfluhdecke, Falknisdecke, des Prätigauflyschs und des Rhenodanubischen Flyschs sowie des Helvetikums (W. HEISSEL et al. 1965).

Die Einheit der Nördlichen Kalkalpen ist im Rätikon durch Schichtflächengleitungen im Niveau der Raibler Schichten in mehrere, sich randlich dachziegelartig übergreifende Schollen gegliedert. Zwischen diesen Schollen,

die von Gesteinsfolgen des Ablagerungszeitraums Oberkarbon-Oberkreide aufgebaut werden, sind Gesteine des Untergrundes tektonisch aufgeschuppt worden. Gegen SE grenzen die Nördlichen Kalkalpen an der Reilstal-(Bartholomäberg-Klostertal-Arlberg-)Linie mit stark gestört, steil gestelltem, lokal aber deutlich sedimentärem Kontakt an die als Dach des Silvrettakristallins verstandenen Phyllitgneise und Glimmerschiefer.

In Mulden dieses Kristallins eingebettet, haben einige Sedimentzüge südlich des Kalkpensürandes als Reste der ursprünglichen Sedimentbedeckung des Kristallins die Erosion überstanden. Das Kristallin selbst wird gegen SE zunehmend von Hornblendegesteinen, Augen- und Flasergneisen neben Glimmerschiefern und Biotitgneisen aufgebaut.

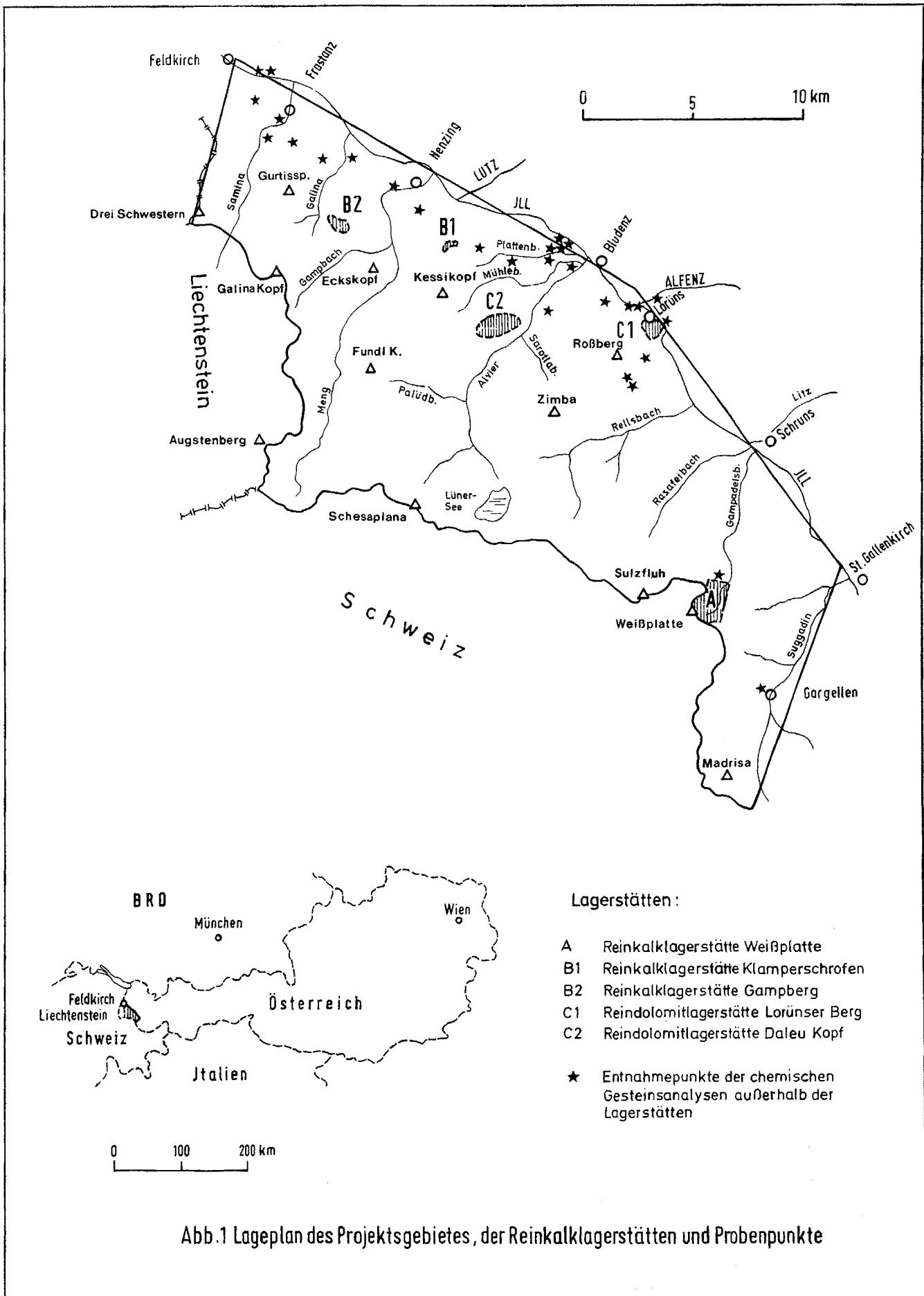
Die karbonatischen Serien der Nördlichen Kalkalpen einschließlich der Muldenzüge auf dem Kristallin wurden von W. HARSCH, 1968; M. KOBEL, 1969; K. CZURDA & L. NICKLAS, 1970; K. CZURDA, 1972 und H. FURRER, 1979 im Rätikon bzw. in vergleichbaren angrenzenden Bereichen untersucht.

Die als Gleitschicht der ostalpinen Einheiten Nördliche Kalkalpen – Silvrettakristallin dienende und zwischen den Schollen der Nördlichen Kalkalpen aufgeschuppten Gesteine der Arosa Zone sind großteils aus dem Schichtverband gerissen, stark gestört, ausgewalzt und durchmischt. Die Arosa Zone umfaßt hauptsächlich südpenninische Gesteine, aber auch eingewalzte kalkalpine Schürflinge und neben altkristallinen Gesteinen Sedimente des Zeitraums Oberkarbon bis Mittelkreide. Größere zusammenhängende karbonatische Serien sind im Rätikon in dieser Einheit nicht aufgeschlossen.

Die Falknisdecke ist im Projektsgebiet selbst nur in wenigen Spänen im Fenster von Gargellen (H. BERTLE, 1972) aufgeschlossen. Dagegen bildet die Sulzfluhdecke mit ihren hellen, massigen Malmkalken landschaftsprägend die Gipfelkette entlang der Staatsgrenze im SW-Teil des Projektsgebietes. Durch die tektonische Stapelung von Gleitbrettern im N-Schenkel des Prätigauwölbels sind mächtige Kalkstücke entstanden, die gegen W, N und E rasch ausdünnend unter das Ostalpin abtauchen und im Fenster von Gargellen mitten im Kristallin erosiv wieder auftauchen. Die Sulzfluhdecke umfaßt im Projektsgebiet Späne des Sockels (Sulzfluhgranit), Sulzfluhkalk (Malm) und Couches Rouges (Oberkreide, Paleozän) und wird von Brüchen stark durchsetzt. Der Sulzfluhkalk wurde von W. F. OTT, 1969, stratigraphisch, faciell und sedimentpetrographisch untersucht.

Der S außerhalb des Projektsgebietes landschaftsprägende Prätigauflysch steht im Untersuchungsgebiet nur im Fenster von Gargellen an. Dagegen bilden die Gesteine der Rheno-danubischen Flyschzone gegen NW ansteigend die unteren Teile des linksseitigen Walgau-IIItalanges. Die ausgeprägten, teilverfalteten Wechselfolgen von Sandstein, Kalk, Mergel und Tonschiefer des Reiselsberger Sandsteins, der Piesenkopfschichten, der Plankner Brücke Serie und der Gaschlo-Serie umfassen einen Ablagerungszeitraum Turon – Senon. Diese Serien wurden von R. BLASER, 1951/52, im unmittelbar benachbarten Liechtensteiner Anteil des Rätikons detailliert untersucht.

Die den Flysch vom unterlagernden Helvetikum trennende schmale Schmier- und Schuppenzone der Liebensteiner Decke (Ultrahelvetikum) und Feuerstätter Decke (Nordpennin) ist im Projektsgebiet nicht aufgeschlossen. Das Helvetikum wird in der NW-Ecke des Untersuchungsgebietes von einer der südlichsten Falten der Säntisdecke gebildet



und umfaßt hier im Bereich Obere Illschlucht–Maria Grün Gesteine von Barème bis Campan.

Der Felsuntergrund wird im Illtal und den Seitentälern des Rätikons sowie im Bereich von Hangverflachungen von Moräne, würmeiszeitlichen Verbauungsschottern und postglacialen Aufschotterungen der Ill und ihrer Zubringer mit teilweise großer Mächtigkeit überdeckt. Von den glacial übersteinen Felsbereichen ausgehend, haben sich besonders im Verbreitungsgebiet des Hauptdolomits mächtige Hangschutthalden sowie Felssturz-, Rutschungs- und Murshuttkegel gebildet.

Aufgrund der vorliegenden geologischen Detailkarten, der angeführten stratigraphisch-faciellen und sedimentologischen Untersuchungen der karbonatischen Gesteinsreihen des Rätikons bzw. unmittelbar vergleichbarer angrenzender Gebiete sowie der profilmäßigen Geländebegehungen können folgende Schichtglieder der den Rätikon aufbauenden Einheiten als reinkarbonathöflich bezeichnet werden: Seewerkalk (Cenoman–Turon) der helvetischen Säntisdecke; Piesenkopfschichten (Turon–Santon) und Plankner Brücke Serie (Santon–Campan) des Rheno-danubischen Flysches, Sulzfluhkalk (Oberkante Dogger bis Mittelthon) der Sulzfluhdecke, Untere und Mittlere Arlbergschichten (Ladin), Raibler Schichten (Karn), Hauptdolomit (Nor) sowie Plattenkalk (Nor–Rhät) und Oberrät-(Riff-)Kalk der Nördlichen Kalkalpen.

Ergebnis der Übersichtsbeprobung

Zur Bestätigung der aus der Literatur und den Übersichtsbegehungen gewonnenen Erwartungen auf Reinkarbonat-Lagerstätten in den angeführten Schichtfolgen wurden diese einer ersten chemischen Übersichtsbeprobung unterzogen. Dabei konnten entgegenkommenderweise die Karbonatgehaltsbestimmungen an 60 Gesteinsproben des Projektsgebietes durch die Vorarlberger Illwerke AG, analysiert im Passon-Gerät, verwertet werden. Diese betrafen den Rheno–danubischen Flysch (50 Proben), Oberrätikalk, Hauptdolomit, Muschelkalk, Aptychenschichten-Radiolarit (jeweils 1 Probe), Raibler Schichten (2 Proben) und Arlbergschichten (3 Proben). Ergänzend konnten mit 7 zusätzlichen Gesteinsanalysen ein guter Überblick gewonnen und die potentiellen Reinkarbonatformationen stark eingeschränkt werden. Ausgewählte, für die jeweilige Formation repräsentative Probeentnahmestellen sind in Abb. 1 eingetragen. Aufgrund dieser Übersichtserkundung wurden die Serien des helvetischen Seewerkalks, der Rheno–danubi-

schen Flyschzone, der Arlbergschichten, des Plattenkalkniveaus (für Reinkalke) und der Aptychenschichten aus den weiteren Untersuchungen ausgeschieden, da die Reinheitsanforderungen nicht oder nur in einzelnen, für einen Abbau zu gering mächtigen Lagen erreicht werden.

Als Hoffnungsschichtglieder für Reinkarbonat im Rätikon wurden somit Oberrätikalk, Hauptdolomit einschließlich unterstes Plattenkalkniveau, Raibler Schichten und Sulzfluhkalk festgestellt und in Detailuntersuchungen weiter geprüft.

Durchführung und Ergebnis der Detailuntersuchung ausgewählter Lagerstätten

Um die eingesetzten Mittel möglichst zielführend, d.h. im Hinblick auf die Erkundung abbaufähiger Reinkarbonat-Lagerstätten einzusetzen, wurden folgende Auswahlkriterien für die Detailuntersuchungsbereiche festgelegt:

- Lage der potentiellen Reinkarbonat-Vorkommen außerhalb von landesgesetzlich geschützten Gebieten (Landschafts- und Pflanzenschutzgebiete) mit fast $\frac{1}{5}$ der Fläche des Projektsgebietes;
- Lage in wirtschaftlich vertretbarer Entfernung zu den Hauptverkehrswegen;
- Erschließbarkeit und generelle Abbaubarkeit (Lagerung, Mächtigkeit, Abrummächtigkeit, gewinnbare Lagerstättenreserven);
- Lage außerhalb der Hauptfremdenverkehrsgebiete.

Aufgrund dieser Ausscheidungskriterien hinsichtlich der Abbauwürdigkeit und Abbaufähigkeit mußten weitflächige Gebiete von vornherein als mindestens in absehbarer Zeit nicht für einen Abbau geeignet ausgeschieden, und die Detailuntersuchungen auf 6 Gebiete konzentriert werden:

1. Die Oberrätikalk-Vorkommen im Bereich des Zementwerks Lorüns beidseits der Ill.
2. Die Hauptdolomitmassen mit unterem Plattenkalkniveau des NE-Abfalls der Vandanser Steinwand zwischen Lorüns und Vandans.
3. Der Hauptdolomitstock des Daleukopfes (Gemeinde Bürserberg).
4. Die Raibler Schichten im Gebiet Klamperschrofen (Gemeindegebiet Nenzing/Bürserberg).
5. Der Karbonatzug in den Raibler Schichten am Gampberg (Gemeindegebiet Nenzing).
6. Das Sulzfluhkalk-Vorkommen des Grenzkammes Sulzfluh–Weißplatte–Scheienfluh.

Tabelle 1: Gesteinschemismus des Sulzfluhkaltes der Weißplatte; alle Zahlenangaben in Prozenten.

Probe Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{tot} als Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	GV (CO ₂)	H ₂ O (110°C)	rückgerechneter CaCO ₃ -Gehalt = CaO × 1,785
A ₂	0,14	0,017	0,026	0,0026	0,40	55,25	43,89	0,10	98,6210
A ₃	0,36	0,051	0,052	0,0051	0,20	55,40	43,97	0,08	98,8890
A ₄	0,62	0,067	0,070	0,0048	0,70	54,80	43,78	0,12	97,8180
A ₅	0,27	0,042	0,026	0,0021	0,45	55,40	43,76	0,09	98,8890
A ₆	0,65	0,065	0,045	0,0039	0,50	55,15	43,49	0,12	98,4430
A ₇	0,78	0,064	0,049	0,0035	0,60	54,90	43,71	0,13	97,9960
A ₈	0,80	0,061	0,032	0,0021	0,50	55,00	43,71	0,14	98,1750
A ₉	0,26	0,033	0,016	0,0008	0,20	55,40	43,74	0,14	98,8890
A ₁₀	0,15	0,027	0,011	0,0009	0,50	55,60	43,81	0,10	99,2460
A ₁₁	0,19	0,023	0,032	0,0021	0,20	55,90	43,98	0,11	99,7820
A ₁₂	0,19	0,029	0,026	0,0021	0,90	54,90	43,95	0,11	97,9960
A ₁₃	0,22	0,023	0,013	0,0017	0,40	55,50	43,94	0,13	99,0670
A ₁₄	0,20	0,023	0,023	0,0030	0,65	55,40	43,59	0,13	99,8890
A ₁₅	0,17	0,021	0,049	0,0030	0,25	55,50	43,88	0,11	99,0675
A ₁₆	0,17	0,033	0,039	0,0039	0,20	55,40	43,91	0,19	98,8890

Tabelle 2: Albedowerte des Sulzfluhschlackes der Weißplatte.

Probenbezeichnung	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10	A 11	A 12	A 13	A 14	A 15	A 16
Albedowert (%)	71	76	71	72,5	72	70	69	69,5	67	69	68,5	72	70	70,5	75

Jedes dieser Gebiete wurde aufgrund von intensiven profilmäßigen Geländeaufnahmen mit charakteristischen, den gesamten möglichen Lagerstätteninhalt erfassenden Probenprofilen belegt. Die Probenahme erfolgte jeweils in Form von Sammelproben mit Entnahme der Einzelproben aus unverwittertem Gestein im Abstand von 2 m, bei makroskopisch auffälligen petrographischen Unterschieden auch in kleinerem Abstand. Die einzelnen Sammelproben decken daher jeweils eine Profillänge von durchschnittlich 20–30 m ab. Die Analysen der Sammelproben wurden vom Analytischen Institut der Universität Wien nach 8 Parametern ausgeführt und erbrachten folgende Ergebnisse:

Sulzfluhschlack (Malm)

Die Detailbeprobung wurde im Gebiet Weißplatte durchgeführt, ihr Ergebnis lässt sich aber aufgrund von Ergän-

grün“ mit dem Bezugsstandard geglühtes Magnesium-Oxyd = 100 % ermittelt. Die Remissionskurvenermittlung erfolgte mit dem lichtelektrischen Remissions-Photometer „Elepho“ der Firma Zeiss mit dem Vergleichsstandard der gegen geglühte MgO kalibrierten Mattglasstandard-Nr. 14.850. Der Weißgrad nach STEPHANSEN der Probe A 16 wurde mit 67,13 % bestimmt. Der im Verhältnis zur großen Reinheit mäßige Weißgrad ist wahrscheinlich auf den Pyritgehalt zurückzuführen, er geht jedenfalls nicht mit der Karbonatreinheit konform.

Oberrähtkalk

Die Detailbeprobung mit einem Sammelprofil (D1) aus 10 Einzelproben erfolgte entlang der Bahnlinie E des Zementwerks Lorüns ± normal zum Streichen der gut aufgeschlossenen Schichtbänke, die sich gut parallelisierbar in

Tabelle 3: Gesteinschemismus des Oberrähtkalkes von Lorüns-Lerchenbüchel; Zahlenangaben in Prozenten.

Probe Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{tot} als Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	GV (CO ₂)	H ₂ O (110°C)	rückgerechneter CaCO ₃ -Gehalt = CaO × 1,785
D 1	0,35	0,055	0,039	0,0013	0,8	54,5	44,26	0,16	97,2825

zungsproben aus Gargellen und den chemischen Analysen von W. F. OTT, 1969, auf das gesamte Verbreitungsgebiet des Sulzfluhschlackes übertragen. Die Beprobung mit 15 Sammelprofilen A2–A16 (Tabelle 1) erfasst alle stratigraphischen Zonen und lithographischen Facies, erbrachte aber keine spezifischen Unterschiede der chemischen Zusammensetzung. Der Kalk ist sehr gering porös mit effektiven Porositätswerten von 1–2 % und hauptsächlich arenitisch, selten ruditisch. Wegen ihrer Bedeutung in der Pharmazie und in der Glaserzeugung, aber auch bei Fertigmörtel und Farben, wurden für diese Sammelproben im Geotechnischen Institut der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal die Albedowerte (Tabelle 2) und an der Probe A6 zusätzlich die Remissionskurve bestimmt und der Weißgrad nach STEPHANSEN abgeleitet. Die Albedowerte wurden als Mittelwerte aus je 2 Messungen mit dem „Photoelectric-reflectionmeter“ der Photovoltaic-Corporation New York unter Verwendung eines „Tristimulus-Filters,

den linksseitigen Steilhang zwischen dem Gavalina- und dem Leuetobel fortsetzen. Es handelt sich dabei um die liegenden ½ der Gesamtfläche des Oberrähtkalks, also die massigen, stark biogenen Korallenkalke, Oolithen und Biorudite. Diese sind reine Kalke, aber nicht in abtrennbaren größeren Partien Hochrein- oder Reinstkalke. Sie eignen sich daher nur für die Zement-, Hochofen- und chemische Industrie (Tab. 3).

Hauptdolomit

Der Hauptdolomit wurde mit insgesamt 14 Sammelproben (Tab. 4) in aufschlußmäßiger günstiger Position ± quer zum Streichen am Fuß des Lorünser Berges entlang dem Talrand in Lorüns (Probe C 1–C 13) und entlang der Brandner Straße L 82 am Fuße des Daleukopfes (Probe C15) beprobt. Ergänzend wurde auch eine Sammelprobe quer durch den Hangschuttkessel im hintersten Venser Tobel (Vandans) am Fuße der von der Steinwand herabzie-

Tabelle 4: Gesteinschemismus des Hauptdolomites von Daleukopf und Lorünserberg-Steinwand. Zahlenangaben in Prozenten.

Probe Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{tot} als Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	GV (CO ₂)	H ₂ O (110°C)	CaO/MgO- Verhältnis
C 1	0,19	0,042	0,055	0,0013	21,4	30,60	47,54	0,24	1,4299 : 1
C 2	0,11	0,031	0,032	0,0017	21,5	30,70	47,45	0,20	1,4279 : 1
C 3	0,14	0,028	0,026	0,0013	21,9	30,20	47,67	0,21	1,3790 : 1
C 4	0,14	0,030	0,039	0,0026	21,4	30,90	47,50	0,19	1,4439 : 1
C 5	0,29	0,057	0,039	0,0009	21,2	31,20	47,09	0,09	1,4717 : 1
C 6	0,34	0,039	0,039	0,0009	21,3	31,00	47,12	0,13	1,4554 : 1
C 7	0,30	0,051	0,045	0,0013	21,1	31,10	47,49	0,20	1,4739 : 1
C 8	0,66	0,074	0,064	0,0011	21,4	30,30	47,38	0,13	1,4159 : 1
C 9	0,37	0,070	0,058	0,0011	21,4	30,60	47,12	0,10	1,4299 : 1
C 10	0,50	0,093	0,052	0,0010	21,2	30,60	47,60	0,15	1,4434 : 1
C 11	0,93	0,150	0,103	0,0020	21,0	30,60	47,05	0,15	1,4571 : 1
C 12	0,35	0,077	0,070	0,0011	21,7	30,95	46,75	0,07	1,4260 : 1
C 13	0,37	0,038	0,070	0,0012	21,3	31,00	47,20	0,10	1,4550 : 1
C 15	0,87	0,050	0,060	0,0030	21,4	30,60	46,70		1,4230 : 1
C 16	0,46	0,180	0,090	0,0050	19,1	33,20	46,60		1,7400 : 1

Tabelle 5: Gesteinschemismus des Unteren Plattenkalkniveaus (von Längsschliffen); Zahlenangaben in Prozenten.

Probe Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{tot} als Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	GV (CO ₂)	H ₂ O (110°C)	rückgerechneter CaCO ₃ -Gehalt = CaO × 1,785
E 1	1,74	0,26	0,17	0,0022	3,95	50,00	43,75	0,12	89,25
E 2	1,69	0,13	0,17	0,0026	7,50	45,90	44,50	0,09	81,93

henden Schuttrinnen entnommen (Probe C 16). Die Ergebnisse lassen sich mit großer Wahrscheinlichkeit auch auf die übrigen weitflächigen Hauptdolomitvorkommen des Rätoriks übertragen.

Unteres Plattenkalkniveau

Wegen der Ergebnisse der Übersichtsbeprobung wurde das Plattenkalkniveau als potentieller Reinkalkträger ausgeschieden und die Detailuntersuchung auf Reindolomitlagen im Hangenden des Hauptdolomits eingeschränkt. Dieses untere Plattenkalkniveau wurde mit 2 Sammelproben E 1 und E 2 quer zum Streichen entlang dem Hangfuß linksufrig der III gegenüber dem Zementwerk Lorüns (ehemalige Steinbrüche) belegt. Die Ergebnisse (Tabelle 5) zeigen, daß auch der liegende Teil des Plattenkalkniveaus keine für einen Massenabbau geeigneten Reinkarbonatlagen enthält. Es handelt sich um leicht dolomische, mergelige Kalksteine bis Mergelkalke.

Raibler Schichten

Wegen der Konkurrenz der weitflächigen Hauptdolomitvorkommen wurden die Raibler Schichten nur auf abbaufähige Reinkalkvorkommen untersucht. Es wurden 13 Sammelproben B 1–B 13 (Tab. 6) im Mustergielobel, Vandans, gesammelt, um hier in gut aufgeschlossenen und mächtig entwickelten Raibler Schichten ein Musterprofil von ca. 150 m Schichtmächtigkeit zu erhalten. Wegen des raschen Wechsels der einzelnen Karbonatfolgen an Mächtigkeit und sedimentpetrographischem Charakter war ein Vergleich mit anderen Vorkommen nicht möglich. Die in den unteren Raibler Schichten eingelagerten, bis 10 m mächtigen Reindolomitfolgen sind gegenüber den günstiger gelegenen und mächtigeren Hauptdolomitvorkommen deutlich an Reinheit unterlegen. Reinkalklagen entsprechender Mächtigkeit wurden hier nicht festgestellt.

Mit 2 Sammelproben B 30 und B 31 wurde ein ca. 40 m mächtiger Karbonatzug im Bereich Klamperschrofen, Nenzing, mit drei weiteren Sammelproben B 32–B 34 ein ca. 100 m mächtiger Karbonatzug im Bereich Gampberg, Nenzing, belegt. Die Schwierigkeiten eines Reinkarbonatabaus ergeben sich vor allem aus der Einlagerung relativ wenig mächtiger Reinkarbonatzüge zwischen mächtigen Sandstein-, Tonschiefer- und Rauhwackenschichtfolgen.

Auswertung der Untersuchungsergebnisse, Lagerstättenbeschreibung

Die chemische Detailbeprobung und die Lagerstättenuntersuchung im Hinblick auf die Abbauwürdigkeit, Erschließbarkeit und Raumverträglichkeit der Vorkommen ergeben drei Reinkalk- und zwei Reindolomit-Lagerstätten als abbaufähig. Sie wurden in Abb. 1 eingetragen.

Lagerstätte A: Sulzfluhrkalk der Weißplatte

Die Auswertung der chemischen Beprobung ergibt für diese große Lagerstätte von hochreinem Kalk einen durchschnittlichen CaCO₃-Gehalt von 98,38–99,01 % und Extremwerte von 97,818 % (Störungszone Prof. A4) und 99,78 %. Sie enthält abtrennbare umfangreiche Bereiche von reinstem Kalk (Sammelproben A 10, A 11, A 13–A 15) und Bereiche von knapp über der Hochreinkalkgrenze liegendem reinem Kalk (A 4, A 7, A 12). Die Gehalte an Spurelementen (Tabelle 1) erfüllen die Ansprüche der Hüttenindustrie, der chemischen und Glasindustrie sowie der Pharmazie. Die Helligkeit bzw. der Weißegrad ist im Verhältnis zur Reinheit nur mäßig und kann gehobene Ansprüche nicht zufriedenstellen. Die chemische Zusammensetzung ist unabhängig von der tektonischen und stratigraphischen Lage sowie der Gesteinsfacies. Die Untersuchungsergebnisse lassen sich direkt auf die übrigen Sulz-

Tabelle 6: Gesteinschemismus der karbonatischen Raibler Schichten von Mustergiel/Vandans, Klamperschrofen/Nenzing und Gampberg/Nenzing; Zahlenangaben in Prozenten.

Probe Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe _{tot} als Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	GV (CO ₂)	H ₂ O (110°C)	rückger. CaCO ₃ -Geh. = CaO × 1,785	Ca/MgO- Verhältnis
B 1	0,27	0,021	0,064	0,0036	21,40	30,6	47,36	0,15	99,3898	1,4299
B 2	0,21	0,026	0,055	0,0027	21,50	30,6	47,28	0,15	99,5990	1,4230
B 3	0,13	0,016	0,036	0,0038	21,35	30,8	47,23	0,20	99,6422	1,4426
B 4	0,20	0,033	0,032	0,0031	21,20	31,2	47,05	0,14	100,0000	1,4716
B 5	0,11	0,022	0,049	0,0043	20,80	31,7	47,11	0,20	100,0000	1,5240
B 6	0,59	0,068	0,081	0,0054	20,40	31,0	47,07	0,19	98,0118	1,5196
B 7	0,64	0,091	0,110	0,0056	21,20	30,8	47,07	0,19	99,3284	1,4528
B 8	0,60	0,100	0,129	0,0064	20,90	31,0	47,23	0,22	99,0578	1,4832
B 9	0,11	0,024	0,124	0,0160	21,40	31,2	46,90	0,13	100,0000	1,4579
B 10	0,40	0,043	0,226	0,0225	1,25	54,0	44,00	0,24	96,3900	
B 11	0,16	0,020	0,201	0,0054	4,40	50,2	44,93	0,21	89,6070	
B 12	0,09	0,012	0,019	0,0004	5,90	48,8	45,03	0,16	87,1080	
B 30	0,72	0,190	0,086	0,0019	1,50	53,6	43,80	0,06	95,6760	
B 31	2,30	0,280	0,120	0,0043	0,80	53,5	42,85	0,13	95,4975	
B 32	0,72	0,210	0,150	0,0240	0,60	54,5	43,70		97,2825	
B 33	0,43	0,090	0,040	0,0020	1,00	54,6	44,00		97,4610	
B 34	0,86	0,080	0,050	0,0020	8,10	45,7	45,00		81,5745	

fluhydritvorkommen zwischen Lünersee und Gargellen übertragen. Die Lagerstätte Weißplatte setzt sich über die Grenze in die Schweiz und unter dem Silvrettakristallin durch bis ins Fenster von Gargellen fort. Sie weist an der Grenze eine aufgeschlossene, tektonisch angeschoppte Mächtigkeit von 600 m auf, dünn aber gegen E und N außerhalb der vorgeschlagenen Abbaugrenzen rasch auf ca. 50–70 m aus. Im Abaugebiet ist der Kalk teils weitflächig unbedeckt aufgeschlossen, teils von gering mächtiger Arosa Zone und Silvrettakristallin überlagert. Die ca. 2,3 km² umfassende, zwischen 2600 m und 2100 m ü.A. gelegene Lagerstätte weist einen rechnerischen Inhalt von ca. 700 Mio m³ hochreinen Kalkes auf. Wegen der exponierten hochalpinen Lage (Schneereichtum, Lawinengefährdung) und der Lage in einem landschaftlich empfindlichen Intensivwandergebiet ist nur ein Abbau in Form eines untertägigen Festenbaus ohne geplanten Einbruch des Deckgebirges und der Abtransport des gewonnenen Materials über eine untertägige Absturz- und Förderbandanlage, eine Spülleitung oder eventuell auch eine Seilbahn vorstellbar. Aus dem Untertagebau und Rücksichten auf die Staatsgrenze, die zahlreichen Karsthohlräume, die Felssturzgefährdung und den Quellschutz ergeben sich wesentliche Einschränkungen des gewinnbaren Lagerstätteninhalts. Der abbaubare wahrscheinliche Vorrat beträgt somit ca. 150 Mio m³ Hochreinen, Reinsten und fast Hochreinen Reinkalks.

Lagerstätte B1: Raibler Kalk des Klamperschrofens

Der in der Geologischen Karte des Rätikons eingetragene, im Gelände als Felsstufe auffallende, 30–40 m mächtige und weit durchstreichende Karbonatzug in den oberen Raibler Schichten weist einen CaCO₃-Gehalt von 95,67–95,497 % und einen Gesamtkarbonatgehalt von 98,82–97,17 % (Tabelle 6) auf. Diese gegen SE mittelteil bis flach in den Hang unter eine rasch wachsende Überlagerung aus Tonschiefer, Sanddolomit, Rauhwacken und Breccien einfallende Kalkbankfolge ist ein Reinkalk, der für die Zement- und Hüttenindustrie sowie Teile der chemischen Industrie geeignet ist.

Der auf einer Fläche von 12 ha abbaubare wahrscheinliche Lagerstätteninhalt beträgt im Tagbau ca. 2,5 Mio m³ Reinkalk, erfordert jedoch die Umlagerung von ca. 2 Mio m³ Abraum auf unmittelbar angrenzende geeignete Deponieflächen. Ein Erschließungsfahrweg ist vorhanden, der Materialabtransport kann nur mit einer Seilbahn zur 1200 m tiefer liegenden Talsohle (Bundesstraße, ÖBB) im Bereich der Nenzinger Büchel erfolgen. Die Einsehbarkeit und Landschaftsbelastung des Abbaus und des Endzustandes können in Grenzen gehalten werden.

Lagerstätte B2: Raibler Kalk des Gampberges

Die Beprobung der mächtigen, in Streichrichtung weit verfolgbaren Kalkfolge in den Unteren Raibler Schichten mit einer Gesamtmächtigkeit von ca. 100 m ergab für einen großen Teil der Lagerstätte einen CaCO₃-Gehalt von 97,28–97,46 % (Tab. 6) mit einem kleinen MgCO₃- und SiO₂-Gehalt. Dieser Teil der Lagerstätte mit einer Oberflächenausdehnung von 35 ha und einer im Tagbau gewinnbaren wahrscheinlichen Lagerstättenkubatur von 5 Mio m³ Reinkalk ist für die Zement- und Hüttenindustrie, aber auch für die Karbitherstellung und andere Bedürfnisse der chemischen Industrie geeignet. Die Lagerung ist flach bis mittelteil gegen SSE mit dem Hang einfallend, wobei die Abbaugrenzen gegen S und W durch die zunehmende Mächtig-

tigkeit der Überlagerung aus Moräne und Dolomit-Sandstein-Rauhwacke bestimmt werden.

Der vorgeschlagene Abbau erfordert eine Abraumbewegung von ca. 1 Mio m³ Hangschutt, Moräne und Fels auf unmittelbar angrenzende Deponieflächen. Ein Erschließungs-Fahrweg ist vorhanden, der Materialtransport kann nur per Seilbahn in den Bereich Latz-Beschling (Landes- bzw. Bundesstraße) erfolgen. Der Landschaftseingriff und die Störung des Ferienhausgebietes in Außergamp können durch eine entsprechende Gestaltung des Abbaus in tragbaren Grenzen gehalten werden.

Lagerstätte C1: Hauptdolomit des Lorünser Berges

Der Lorünser Berg ist ein in Fortsetzung der Vandanser Steinwand ins Tal vorspringender, oben 300–500 m breiter und zur Talsohle teils mit 100 m hohen Felswänden, teils mit felsigen bewaldeten Hängen abfallender Felssporn. Die Schichtflächen des Hauptdolomits streichen in Längsrichtung des Rückens und fallen steil gegen N ein, sodaß sich der Felssporn und damit die Lagerstätte tief unter das Niveau der Talsohle fortsetzen. Am Fuße des Felssporns führen die Bundesstraße B 188 und die Trasse der Montafonerbahn vorbei.

Die Auswertung der Detailbeprobung (Tab. 4) ergibt für diese ca. 80 ha Fläche umfassende Lagerstätte mit einem rechnerischen Gesamtinhalt von ca. 100 Mio m³ oberhalb des Talniveaus einen mittleren Gesamtkarbonatgehalt von 99,547 % und ein mittleres Gewichtsverhältnis CaO : MgO von 1,439 : 1 mit Extremwerten von 1,379 (C 3) und 1,4739 (C 7). Die Lagerstätte Lorünserberg ist somit eine Reinstdolomit-Lagerstätte mit einzelnen Partien an der Grenze zum Reindolomit. Sie eignet sich für die Feuerfest- und Glasindustrie, die Metallurgie und auch die Wasseraufbereitung. Mit Rücksicht auf den Landschafts-, Hochwasser-, Wind-, Sicht- und Lärmschutz muß der Abbau in Form eines sich erweiternden Kessels mit einem Absturzschnitt und einem Zufahrt- bzw. Materialabtransportstollen in der Trasse eines bestehenden Triebwasserstollens erfolgen. Der abbaubare wahrscheinliche Lagerstätteninhalt beträgt ca. 70 Mio m³ Reinstdolomit. Der Abbau setzt die Verlegung von Hochspannungsleitungen und die Stilllegung des bestehenden Kraftwerks Lorüns der VKW voraus. Im Falle einer Neutrassierung der B 188 in Form eines Tunnels würde sich der Lagerstättenvorrat wesentlich verringern. Der Hauptdolomit ist großteils freiliegend, auf dem Rücken von gering mächtiger Moräne bedeckt. Die verkehrsmäßige Lage und die Abbauperhältnisse sind außerordentlich günstig, die Landschaftseingriffe und die Belastungen für die Gemeinde Lorüns können durch eine entsprechende Abbauführung in Grenzen gehalten werden.

Lagerstätte C2: Hauptdolomit des Daleukopfes

Der Daleukopf bildet einen isolierten, in weichere Gesteine eingebetteten, steil gegen S und E abfallenden Felskopf, der das Brandner Tal gegen den Walgau abschließt. Die Schichtlagerung des allseitig von teilweise mächtigen Hangschutthalden bedeckten Hauptdolomits ist mittelteil gegen E bis SE zum Alviereinschnitt abfallend. Die abbaubare Lagerstätte hat eine Fläche von ca. 1,2 km² und einen wahrscheinlichen abbaubaren Inhalt von 150 Mio m³. Die Detailbeprobung (Tab. 4) weist den Lagerstätteninhalt als hochwertigen Reinstdolomit mit einem Gesamtkarbonatgehalt von 99,39 % und einem CaO/MgO-Verhältnis von 1,423 : 1 aus. Die Lagerstätte ist daher für die Ansprüche der Wasseraufbereitung, der Feuerfest- und Glasindustrie sowie der Metallurgie geeignet.

Der Abraum des im Tagbau von oben nach unten fortschreitenden Etagenabbaus wird sehr gering sein. Der landschaftliche Eingriff des Abbaus wird unvermeidbar größeres Ausmaß erreichen. Der Materialabtransport ist schwierig und das Wohngebiet von Bürserberg und Bürs jedenfalls gravierend belastend, sofern nicht eine Bandstraße, Spülleitung oder Seilbahn durch das Schesatobel zur Talsohle des Walgaues angelegt wird. die Erschließung ist über einen bestehenden Fahrweg von oben her möglich.

Literatur

- ALLEMANN, F., BLASER, R. & SCHÄTTI, H.: Geologie des Fürstentums Liechtenstein, Geologie des Nördlichen Gebietes. — Jb. Hist. Ver. Liecht., **51**, **52**, 228 S., 19 Abb., 3 Taf., Vaduz 1951, 1952.
- BENTZ, A. & MARTINI, H. J.: Lehrbuch der Angewandten Geologie II, I. — XIX + 1355 S., 457 Abb., 112 Tab., Stuttgart (Encke-Verlag) 1968.
- BERTLE, H.: Zur Geologie des Fensters von Gargellen (Vorarlberg) und seines kristallinen Rahmens. — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., **22**, 1–59, 8 Abb., 3 Taf., Wien 1972.
- BERTLE, H.: Erkundung der Karbonatgesteine des Rätikons (Vorarlberg) nach Vorkommen von reinen Kalken und reinen Dolomiten (Rohstoff-Forschungs-Projekt). — 37 S., 4 Anl., 1980-08-29.
- BERTLE, H., FURRER, H. & LOACKER, H.: Geologie des Walgaues und des Montafons mit Berücksichtigung der Hydrogeologie (Exkursion G am 1979-04-20). — Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F., **61**, 71–85, 5 Abb., Stuttgart 1979.
- CZURDA, K.: Parameter und Prozesse der Bildung bituminöser Karbonate (Bituminöser Hauptdolomit). — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., **21**, 235–250, 3 Abb., 4 Fig., Innsbruck 1972.
- CZURDA, K. & NICKLAS, L.: Zur Mikrofacies und Mikrostratigraphie des Hauptdolomites und Plattenkalkniveaus der Klostertaler Alpen und des Rhätikon (Nördliche Kalkalpen, Vorarlberg). — Festbd. Geol. Inst. 300-Jahr-Feier Univ. Innsbr., 165–253, Innsbruck 1970.
- FLÜGEL, E. & HADITSCH, J. G.: Vorkommen hochreiner und reinster Kalke im steirischen Salzkammergut. — Arch. Lagerst.forsch. Ostalpen, **15**, 65–83, 4 Tab., 3 Taf., Leoben 1975.
- HARSOH, W.: Lithofacielle, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen in den Raibler Schichten der Nördlichen Kalkalpen zwischen Fernpaß und Rhein etc. — Diss. Fak. Allg. Wiss. Techn. Hochsch. München, 37 S., 3 Taf., München 1968.
- HEISSEL, W., OBERHAUSER, R., REITHOFER, O. & SCHMIDEGG, O.: Geologische Karte des Rätikon, Vorarlberg. M. 1 : 25.000. — Geol. B.-A., Wien 1965.
- HEISSEL, W., OBERHAUSER, R. & SCHMIDEGG, O.: Geologische Karte des Walgaues, Vorarlberg. M. 1 : 25.000. — Geol. B.-A., Wien 1967.
- KOBEL, M.: Lithostratigraphische und sedimentologische Untersuchungen in der kalkalpinen Mitteltrias (Anisian und Ladinian) des Rätikon etc. — Mitt. Geol. Inst. E. T. H. Zürich, N.F., **118**, 149 S., 17 Abb., Zürich 1969.
- OTT, W.: Zur Geologie des Sulzfluh-Kalkes (Malm) in Graubünden und Vorarlberg. — Diss. Techn. Hochsch. Darmstadt, 174 S., 20 Abb., Darmstadt 1969.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 16. September 1981.