

**Schlüsselwörter**

Österreich  
Kalkstein  
Marmor  
Industriemineral  
Geochemie  
Farbmetrik

# Weißmetrik und Geochemie ausgewählter österreichischer Kalkstein- und Marmor-Vorkommen

BEATRIX MOSHAMMER & HARALD LOBITZER<sup>1</sup>

3 Abbildungen, 4 Tabellen

## Inhalt

Zusammenfassung .....	63
Abstract .....	63
1. Einleitung .....	64
2. Analytik .....	66
2.1 Geochemie .....	66
2.1.1 Methodik .....	66
2.1.2 Einteilung .....	66
2.1.3 Ergebnisse .....	66
2.2 Weißmetrik .....	66
2.2.1 Methodik .....	66
2.2.2 Theorie .....	70
2.2.3 Interpretation .....	72
2.2.4 Ergebnisse .....	73
3. Charakterisierung der ausgewählten Vorkommen .....	73
3.1 Plassenkalk (Oberjura bis tiefe Unterkreide) .....	74
3.2 Marmor im Semmeringsystem (Mitteltrias) .....	74
3.3 Marmore im Murauer Paläozoikum (Unter- bis Mitteldevon) .....	74
3.4 Sölk-/Gumpeneck-Marmor (Wölzer Kristallin) .....	74
3.5 Salla-Marmor (Almhausserie im Stub-/Gleinalmkristallin) .....	74
3.6 Weißensteiner Marmor (Kristallin südlich des Tauernfensters) .....	75
4. Zusammenfassung der Ergebnisse .....	75
5. Dank .....	75
Literatur .....	75

## Zusammenfassung

Die weißesten und chemisch reinsten, in wirtschaftlich interessanter Quantität und Lage auftretenden Kalkstein- und Marmor-Vorkommen werden im Zuge einer Rohstoffstudie eruiert. Die Qualitätskriterien basieren auf hoher Weiße ( $Y > 90\%$ ) und chemischer Reinheit ( $\text{CaCO}_3 > 95\%$ ). Von den ausgewählten Vorkommen zeigt der chemisch extrem reine Plassenkalk unter den Kalksteinen die höchste Weiße. Marmore erreichen bessere Weißqualitäten, besitzen aber geringere chemische Reinheit. Mit dem an vorderster Stelle zu nennenden Weißensteiner Marmor, aus dem höchstwertige Füllstoff-Produkte erzeugt werden sowie dem ebenso höchstwertig eingesetzten Salla-Marmor, werden weitere Marmorvorkommen in der Semmeringseinheit und im Murauer Paläozoikum verglichen. Die Sölk-/Gumpeneck-Marmore nehmen hinsichtlich lagerstättenkundlicher Parameter sowie ihrer farbigen und chemischen Eigenschaften wegen eine Sonderstellung ein.

## Whiteness and Geochemistry of Selected Austrian Limestone- and Marble-Deposits

### Abstract

Throughout a raw material study the whitest and chemically purest limestone and marble occurrences are evaluated with emphasis on economic quantities and easy access. The quality criteria are based on high whiteness ( $Y$  [tristimulus value]  $> 90\%$ ) and chemical purity ( $\text{CaCO}_3 > 95\%$ ). Plassenkalk shows the highest whiteness among the non-metamorphic limestones within the selected occurrences. Better whiteness quality is reached by marbles but their chemical purity is lower. The superior Weissenstein marble, used for high quality filler products, as well as the approximately equivalent Salla marble are compared with other marble occurrences in the Semmering unit and the Murau Palaeozoic. Regarding the parameters of geological deposition, colour and chemical properties the Sölk-/Gumpeneck marbles hold an exceptional position.

### Anschrift der Verfasser

<sup>1</sup> Dr. Beatrix MOSHAMMER und Dr. Harald LOBITZER, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, A-1031 Wien

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich auszugsweise und exemplarisch mit Kalkstein- und Kalkmarmor-Vorkommen und gibt einen Einblick in die angewandte Methodik. Die Vorkommen wurden nach den Kriterien hoher Weiße und chemischer Reinheit sowie Lagerstättensubstanz im Rahmen einer rohstoffgeologischen Studie untersucht. Das Projekt (Ü-LG 38), dotiert aus dem Vollzug des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr und des Bundesministeriums für Wirtschaftliche Angelegenheiten, strebt einen österreichweiten Überblick über Kalkstein-, z. T. auch Dolomit-Vorkommen der angesprochenen hochwertigen Qualität an und diskutiert deren potentielle industrielle Nutzung (LOBITZER & MOSHAMMER, 1996; MOSHAMMER & LOBITZER, 1996, 1997). Die industrielle Nachfrage nach weißen und hochreinen Kalksteinen und Kalkmarmoren, verarbeitet zu feinen und ultrafeinen Ground Calciumcarbonates (GCC), die als funktionelle Füllstoffe für die Papier-, Kunststoff-, Farben- und Lacke-Herstellung sowie auch als Weißzemente und -putze Verwendung finden, induzierte die wissenschaftliche Bearbeitung in Form des gegenständlichen Projektes. Zusätzlich zu den füllstoffbezogenen Kriterien der Weiße und chemischen Reinheit bieten die geochemischen Ergebnisse auch Informationen zur potentiellen Verwendung der Rohstoff-Vorkommen für die Kalkindustrie und somit für zahlreiche weitere Einsatzmöglichkeiten, wie z. B. für die Eisen- und Stahlindustrie, die chemische Industrie (z. B. Zitronensäure-, Sodaproduktion, Glas-, Zuckerindustrie) sowie für den Umweltbereich (Abgasreinigung, Wasseraufbereitung).

Die Evaluierung der Vorkommen basiert auf den Parametern der Quantität, der chemischen Reinheit und der Weiße. Die Untergrenze der Quantität wird, um ein Vorkommen als industriell interessant auszuweisen, bei etwa 5 mio t (ca. 2 mio m<sup>3</sup>) angesetzt. Ausnahmen werden bedingt durch hervorragende Rohstoffqualität bei nicht allzu extremer topographischer Lage. Voraussetzung für die chemische Reinheit ist ein Mindest-Kalziumkarbonatgehalt von 95%, das entspricht einem CaO-Gehalt von 53,23%. FLÜGEL & HADITSCH, 1975, führten dafür die Bezeichnungen „reiner“ (95-<98% CaCO<sub>3</sub>), „hochreiner“ (98-99%) und „reinsten Kalk“ (>99%) ein. Durch einen möglichst hohen Kalziumkarbonatgehalt ist gewährleistet, daß Verunreinigungen (Silikate, Tonminerale, Dolomit) gering gehalten werden. Je nach den speziellen industriellen Einsatzbereichen sind über dieses Grundkriterium des möglichst hohen CaCO<sub>3</sub>-Gehaltes hinaus weitere Vorgaben im Chemismus einzuhalten. Wo neben chemischer Reinheit auch hohe Weiße (= Farblosigkeit in Verbindung mit Helligkeit) maßgeblich gefordert ist, sind färbende Substanzen wie Eisen, Mangan oder Chrom unerwünscht. Dies gilt auch für Quarz aufgrund seiner abrasiven Eigenschaften, bzw. drückt sich in sehr niedrigen Toleranzgrenzen hinsichtlich des SiO<sub>2</sub>-Gehaltes aus. Richtlinien über die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung von Kalkstein und Marmor für die genannten Verwendungsbereiche werden u. a. bei BERTOLDI (im Druck), BOYNTON, 1980, LORENZ, 1991, POSCHER et al., 1987 und SCHIELE & BEHRENS, 1972 ausgeführt. Was die Anforderungen an die Weiße dieser Rohstoffe betrifft, sind diese seltener publiziert (DIMKE, 1997; KOCH et al., 1997; LORENZ, 1991). In vorliegender Arbeit wird zur Auswertung der Weißmessungen in erster Linie der Normfarbwert Y (synonym Hellbezugswert), berechnet für D<sub>65</sub>/10° herangezogen (Erklärung siehe Kap. 2.2 Weißmetrik). Nach den gewonnenen Erfahrungen sind Marmore erst über Y 90% als Füllstoffe interessant; bei den Kalksteinen wird auch ein etwas geringerer Wert toleriert, keinesfalls aber unter Y 85%. Die für GCC-Produkte z. B.

bei FATTAH, 1995 angegebenen Helligkeiten sind, da die Produkte üblicherweise über die Aufmahlung hinausgehend Aufbereitungsprozesse durchlaufen haben (Abreicherung störender Substanzen) und wegen der größeren Mahlfineinheit, nicht auf diese Messungen übertragbar.

Das Projekt baut auf regionalen rohstoffgeologischen Studien, wie z. B. ANTONIUS, 1994, AUSTRORPLAN, 1993, BERTLE, 1980, 1982, EBNER, 1984, 1985, FLÜGEL, 1977, FLÜGEL & HADITSCH, 1975, HAYDARI & UCIK, 1981, 1983, HELLERSCHMIDT-ALBER, 1995, HÜBEL et al., 1984, KIESLINGER 1956, 1964, LOBITZER et al., 1981, 1982, LOBITZER & SURENIAN, 1984, MOSTLER, 1982, MOSTLER et al., 1983, 1988, POLEGEG & HÜBEL, 1986, POSCHER, 1993, POSCHER & MOSTLER, 1991, POSCHER et al., 1987, regionalgeologischer Literatur und dem Rohstoffarchiv der Geologischen Bundesanstalt auf. Nach dem dualistischen Kriterium der Helligkeit und Reinheit wurden lithologische Einheiten ausgewählt und punktförmig Aufschlüsse daraus beprobt. Bei der Beprobung dieser Lokalitäten, bei denen es sich meist um künstliche – stillgelegte und aktive Steinbrüche oder Wegböschungen – aber auch um natürliche Aufschlüsse handelt, wurden nach subjektiven Gesichtspunkten mehrere Handstücke entnommen. Dabei wurde getrachtet von der im Aufschluß vorhandenen Variationsbreite den durchschnittlichen sowie den helleren Typus zu erfassen. Pro Handstück wurde ein Dünnschliff hergestellt, eine Weißmessung durchgeführt und ausgewählte Proben geochemisch analysiert.

So wurde in der Anfangsphase ein Überblick gewonnen, der in diesem Stadium auch Regionen umfaßte, die man später ausklammerte. Demnach wurden die Vorkommen von Sulzfluh-, Vilser, Oberrhät- und ausgesuchte Partien des Wettersteinkalkes in Vorarlberg bzw. Tirol, die zwar hohe chemische Reinheit aufweisen, nicht aber die gewünschte Weiße zeigen, nachfolgend nicht mehr berücksichtigt. Eine wesentliche Ausnahme im westlichen Bundesgebiet stellt der kalkige Anteil des Spertentaler Marmors SE Aschau bei Kitzbühel dar, der sowohl chemisch als auch weißmetrisch hervorragende Qualität besitzt.

Die Aufbauphase konzentriert sich auf die nunmehr interessant erscheinenden Gebiete und wertet diese durch verdichtete, weiterhin auf selektiver Probenahme beruhender Analytik neu. Anhand der einzelnen bzw. zu Vorkommen zusammengefaßten Probenlokalitäten und unter Bedachtnahme auf deren Lage und Quantität, werden zahlreiche Gesteinseinheiten petrographisch, chemisch und weißmetrisch charakterisiert.

In der vorliegenden Arbeit werden die in der Kartenübersicht der Abb. 1 verzeichneten Vorkommen von Plassenkalk, Mitteltrias-Marmor der Semmeringeinheit, Marmoren im Murauer Paläozoikum, Sölk-/Gumpeneck-Marmor, Salla-Marmor und Weißensteiner Marmor vorgestellt. Nach dem derzeitigen fortgeschrittenen Untersuchungsstand treten sie in wirtschaftlich interessanten Mengen auf und besitzen sehr gute bis ausgezeichnete Eigenschaften hinsichtlich Chemismus und Weiße. Eine umfassende Darstellung der Ergebnisse der Rohstoffstudie ist an anderer Stelle vorgesehen. Darin werden ebenso die sehr weißen aber chemisch weniger hochwertigen Marmore (z. B. Marmor im Goldeckkristallin, Haimburger Marmor, Angertalmarmor, Marmore der Seidlwinkeltrias, Wenss-Veitlehener Kalk, die Kleinvorkommen von moldanubischen Dolomitmarmoren und der Schaidbergmarmor), die weniger hellen, jedoch chemisch reinen bis reinsten Kalksteine (z. B. Sulzfluhkalk, Oberrhätkalk, Wettersteinkalk, Teile des Dachstein-, Ernstbrunner und Leithakalkes, Kalke im Grazer Paläozoikum [Hochlantschkalk, Schöckelkalk]), und hinsichtlich Weiße & Chemie qualitativ nachgeordnete Typen (z. B. Bretstein-, Eppensteiner, Sau- und Koralmarmore, Teile des Koglhofmarmors) präsentiert.

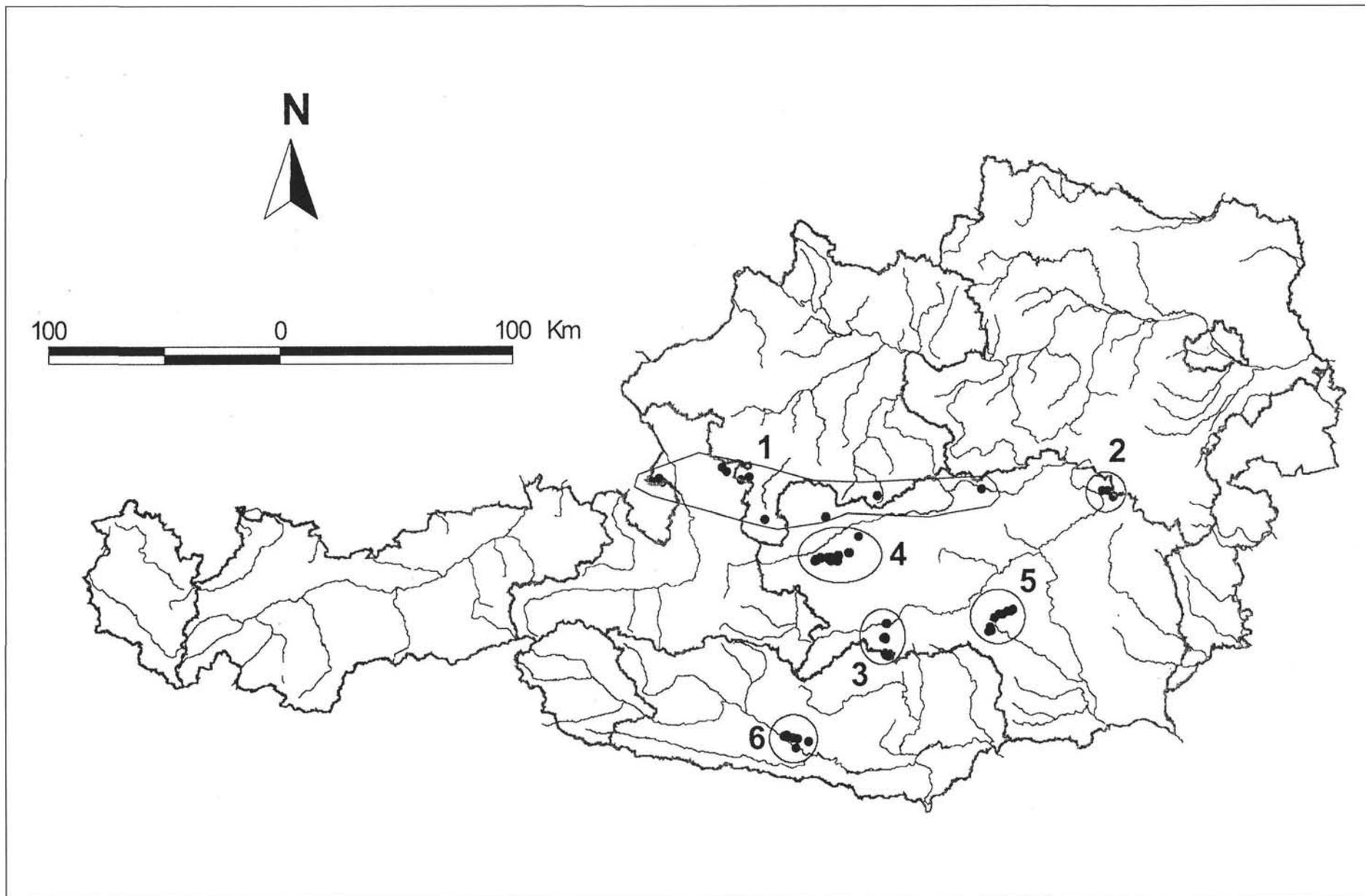


Abb. 1  
 Ausgewählte Vorkommen von 1: Plassenkalk, 2: Mitteltrias-Marmor im Semmeringmesozoikum, 3: Marmoren im Murauer Paläozoikum, 4: Sölk-/Gumpeneck-Marmor, 5: Sallamarmor und 6: Weißensteiner Marmor in Österreich.

## 2. Analytik

### 2.1 Geochemie

#### 2.1.1 Methodik

Von den ausgewählten Gesteinseinheiten wurden 98 Proben chemisch analysiert. Die chemische Analytik mittels Atomabsorptionsspektroskopie wurde von zwei Labors durchgeführt, wodurch zwei Probenstranchen von 70 und 28 Proben vorliegen, die sich im Spektrum der analysierten Elemente sowie in den Nachweisgrenzen, siehe Tabelle 1 unterscheiden.

Tab. 1  
Chemisch analysierte Elemente der zwei Probenstranchen

NG =  
Nachweisgrenze

n. a. =  
nicht analysiert

k. A. =  
keine Angabe

Elementoxide (%)	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
NG 1. Tranche (70 Pr.)	0,04	0,005	0,05	0,01	0,03	k. A.	k. A.	k. A.	0,01	0,01
NG 2. Tranche (28 Pr.)	0,002	n. a.	0,01	k. A.	n. a.	n. a.	k. A.	k. A.	0,01	0,01
Spurenelemente (ppm)	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn				
NG 1. Tranche (70 Pr.)	0,1	2	2	5	10	2				

den. Aus Gründen der Kompatibilität wurde FeO für die Diagramm-Darstellungen als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ausgedrückt, vgl. Tabelle 3 und Abbildung 2a. Die Spurenelemente wurden bei der 2. Probenstranche nicht bestimmt.

#### 2.1.2 Einteilung

Einteilungen der Kalksteine – gemeint sind rohstoffgeologisch ebenso Kalkmarmore – hinsichtlich ihrer Reinheit und Verwendung finden sich bei BENTZ & MARTINI, 1968; für den Bereich der hochwertigsten Kalksteine (Güteklasse 1 nach BENTZ & MARTINI) bei FLÜGEL & HADITSCH, 1975. In der ÖNORM G 1046, 1985 sind verschiedene Einteilungen zusammengefaßt. Für die gegenständliche Zielsetzung möglichst hochwertiger Nutzung wird die Einteilung von FLÜGEL & HADITSCH, 1975, bezogen auf Kalksteine mit einem CaCO<sub>3</sub>-Gehalt von über 95% übernommen. Da diese aber auf die am unteren Ende der Qualitätsskala auftretenden Typen nicht anwendbar ist, wird, wie in Tabelle 2 ersichtlich, für die Zwecke dieser Studie für Karbonatgesteine mit einem CaCO<sub>3</sub>-Gehalt von 90 bis 95% die Bezeichnung „unreiner Kalk/Marmor“ vorgeschlagen. Damit wird von BENTZ & MARTINI, 1968 abgewichen, die die Grenze zwischen rein und unrein bei 90% CaCO<sub>3</sub> legen. Die ÖNORM bietet hier keine Alternative, da sie für den Bereich von 90-95% CaCO<sub>3</sub> die nicht spezifizierte Bezeichnung „Kalkstein“ vorsieht. Bei weiter abnehmendem CaCO<sub>3</sub>-Gehalt bzw. zunehmender Verunreinigung werden die mineralischen oder lithologischen NebenkompONENTEN in die Bezeichnung aufgenommen (z. B. mergeliger, dolomitischer und kieseliger Kalk, Silikatmarmor), vgl. BENTZ & MARTINI, 1968, CARR & ROONEY, 1975, CORRENS, 1968, ÖNORM G 1046, 1985. Die Gruppe dieser chemisch betrachtet „unreinen“ Karbonatgesteine ist nicht Gegenstand dieser Studie.

Tab. 2  
Einteilung der Kalksteine und Marmore nach dem Chemismus.

	CaCO <sub>3</sub> -Gehalt (%)	CaO-Gehalt (%)
reinsten Kalk/Marmor	>99-100	>55,50-56,03
hochreiner Kalk/Marmor	98-99	54,90-55,50
reiner Kalk/Marmor	95-<98	53,23-<54,90
unreiner Kalk/Marmor	90-<95	50,43-<53,23
Benennung nach NebenkompONENTE(n)	<90	<50,43

Tab. 3

Geochemische Analysen zusammengefaßt für die ausgewählten lithostratigraphischen Einheiten.

Beim Sölk-/Gumpeneck-Marmor erfolgt die Aufgliederung in Kalk- und Dolomitmarmor.

Analysenwerte, die unter den Nachweisgrenzen liegen werden mit dem halben Wert der Nachweisgrenze verrechnet.

Der MEDIAN wird in der Tabelle angeführt, da er in den Diagrammen der Abbildungen 2a und 2b als Mittelpunkt der Box-Darstellungen gewählt wurde. MW = arithmetisches Mittel (Mean), STABW = Standardabweichung, MIN = kleinster Wert, MAX = größter Wert, AN-ZAHL = Probenanzahl; die unterschiedliche Probenanzahl für die einzelnen Elemente wird in Kap. 2.1.1 Methodik erklärt.

#### 2.1.3 Ergebnisse

Im Laufe der Studie zeigte es sich, daß die untersuchten Kalksteine im Chemismus tendenziell reiner sind als die Kalkmarmore. Der **Plassenkalk** besitzt aufgrund seiner Reinheit jedoch nicht nur gegenüber den hier qualitativ ausgewählten Vorkommen eine Vorrangstellung, vgl. Tab. 3 und Abb. 2a, sondern zeichnet sich auch gegenüber den nicht angeführten chemisch hochwertigen, aber meist etwas dunkleren Kalkstein-Einheiten aus (z. B. Oberrhätalk, Teile des Dachstein- und Wettersteinkalkes). Die weiteren Vorkommen, angefangen von den **Marmoren im Murauer Paläozoikum**, über den **Salla-Marmor**, **Weißensteiner Marmor** bis hin zum **Mitteltrias-Marmor der Semmeringeinheit**, lassen eine leichte Zunahme des unlöslichen Rückstandes – ausgedrückt durch die Summe der Elementoxide SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O und K<sub>2</sub>O – erkennen, die jedoch wegen der Streuung und teilweise geringen Anzahl der Analysen nicht signifikant ist. Innerhalb dieser Marmore zeigt der **Weißensteiner Marmor** leicht erhöhten MgO-Gehalt. Aufgrund ihrer Verunreinigung bzw. Mineralisation lassen sich die **Sölk-/Gumpeneck-Marmore**, von denen nur der Kalkmarmor-Anteil mit den übrigen Marmoren verglichen werden kann, trennen. Die Verteilung der Spurenelemente, vgl. Abb. 2b, zeigt abgesehen von unterschiedlicher Streuung keine Differenzen.

## 2.2 Weißmetrik

#### 2.2.1 Methodik

Die Weißmetrik bezeichnet denjenigen Teil der farbmetrischen Methoden, der sich mit der Anwendung auf weiße Proben befaßt (Hauptanwendung Papiere), vgl. GRIESSER,

	Plassenkalk						Semmering-Mesozoikum						Murauer Paläozoikum						Salliamarmor												
	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	
SiO <sub>2</sub>	20	0.13	0.00	0.04	0.04	0.10	7	0.62	0.04	0.21	0.19	0.10	7	0.06	0.05	0.08	0.06	0.06	13	0.17	0.02	0.05	0.08	0.06	13	0.04	0.15	0.28	0.04	0.15	0.28
TiO <sub>2</sub>	10	0.03	0.01	0.01	0.02	0.00	5	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	11	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	11	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20	0.21	0.00	0.06	0.06	0.14	7	0.29	0.07	0.08	0.15	0.14	7	0.08	0.10	0.12	0.08	0.08	13	0.28	0.03	0.10	0.12	0.10	13	0.18	0.17	0.14	0.18	0.17	0.14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20	0.06	0.00	0.02	0.03	0.05	7	0.10	0.02	0.04	0.06	0.05	7	0.07	0.02	0.07	0.07	0.07	13	0.13	0.04	0.02	0.04	0.06	13	0.04	0.06	0.05	0.04	0.06	0.05
MnO	10	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	5	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	11	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	11	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
MgO	20	0.79	0.10	0.20	0.33	0.41	7	0.70	0.14	0.25	0.42	0.41	7	0.48	0.12	0.50	0.48	0.48	13	0.74	0.36	0.12	0.36	0.47	13	0.48	0.47	0.13	0.48	0.47	0.13
CaO	20	56.01	54.40	54.40	55.49	55.48	7	55.90	53.53	54.50	55.26	55.48	7	55.40	55.32	55.32	55.40	55.40	13	55.74	54.51	54.51	55.32	55.05	13	55.05	54.99	0.51	55.05	54.99	0.51
Na <sub>2</sub> O	20	0.24	0.01	0.06	0.05	0.02	7	0.26	0.09	0.01	0.05	0.02	7	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	13	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	13	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
K <sub>2</sub> O	20	0.09	0.01	0.02	0.02	0.03	7	0.13	0.04	0.01	0.05	0.03	7	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	13	0.06	0.02	0.01	0.03	0.03	13	0.03	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06
As	10	0.48	0.05	0.14	0.26	0.29	5	0.60	0.19	0.17	0.34	0.29	5	0.17	0.12	0.19	0.17	0.17	11	0.48	0.05	0.12	0.19	0.17	11	0.33	0.41	0.24	0.33	0.41	0.24
Cr	10	19	4	5.99	12.40	15	16	13	1.30	1.30	14.80	15	6	6.86	2	9.73	6	6.86	20	20	2	6.86	2	20	11	12.5	13.17	2.14	11	17	6
Cu	10	7	1	2.51	4.90	6	7	6	0.55	0.55	6.40	6	1	3.07	1	3.64	1	3.07	8	8	1	3.64	1	8	7	7.33	1.03	6	9	6	
Ni	10	8	2.5	1.74	3.05	2.5	5	2.5	0.00	0.00	2.50	2.5	2.5	2.16	2.5	3.64	2.16	2.5	9	9	2.5	3.64	2.16	9	7	6.50	3.38	2.5	10	6	
Pb	10	33	16	4.64	22.70	22	28	28	3.11	3.11	22.80	22	5	5.10	15	22.73	5.10	15	30	30	15	22.73	5.10	15	16	16.33	7.26	5	27	6	
Zn	10	9	2	2.00	4.30	4	8	3	1.95	1.95	4.60	4	5	1.6	3	5.55	1.6	3	8	8	3	5.55	1.6	3	6	10.17	9.35	4	28	6	

Abb. 2a und 2b siehe nächste Seite  
 Visualisierung der für die lithostratigraphischen Einheiten zusammengefaßten chemischen Analysen in Box-Plots, getrennt nach Haupt-/Nebenelementen (in Gew. %; Abb. 2a) und nach Spurenelementen (in ppm; Abb. 2b). CaO ist bis auf die Gruppe der Sölk-/Gumpeneck-Dolomitmarmore aus Gründen der Skalierung separat dargestellt. Für die Legende des CaO-Box-Plots siehe Legende zu Abbildung 3a. Die Zahlenwerte der Mediane (Mittelpunkte der Boxes) sind in Tabelle 3 angeführt. Der Bereich der Boxes ist durch Perzentile (25% und 75%), der der Whiskers als ohne Ausreißer definiert. Für die Ausreißer- und Extreme-Berechnung wurde ein Koeffizient von 1,5 gewählt. Die Erstellung erfolgte im Programm Statistica 5.0.

	Sölk-/Gumpeneck-Kalkmarmor						Sölk-/Gumpeneck-Dolomitmarmor						Weißensteiner Kalkmarmor																
	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW	MEDIAN	ANZAHL	MAX	MIN	STABW	MW
SiO <sub>2</sub>	25	3.85	0.04	1.17	1.07	0.29	14	1.08	0.06	0.30	0.33	0.29	14	0.24	0.35	0.32	0.00	0.00	9	1.03	0.00	0.32	0.35	0.24	9	1.03	0.00	0.32	0.35
TiO <sub>2</sub>	20	0.09	0.00	0.02	0.02	0.01	13	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	13	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	5	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	5	0.03	0.00	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25	1.17	0.03	0.28	0.26	0.12	14	0.23	0.03	0.08	0.12	0.12	14	0.09	0.12	0.10	0.00	0.00	9	0.33	0.00	0.10	0.12	0.09	9	0.33	0.00	0.10	0.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25	0.58	0.04	0.14	0.12	0.10	14	0.19	0.05	0.05	0.11	0.10	14	0.06	0.06	0.03	0.02	0.02	9	0.14	0.02	0.03	0.06	0.06	9	0.14	0.02	0.03	0.06
MnO	20	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	13	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	5	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	5	0.02	0.01	0.01	0.01
MgO	25	2.56	0.36	0.54	0.76	18.40	14	20.84	18.06	0.75	18.65	18.40	14	0.50	1.30	1.60	0.23	0.23	9	5.17	2.5	1.60	1.30	0.50	9	5.17	2.5	1.60	1.30
CaO	25	56.20	49.71	56.20	54.48	34.29	14	35.57	31.55	0.88	34.07	34.29	14	54.96	53.98	2.33	48.27	55.91	9	55.91	48.27	2.33	53.98	54.96	9	55.91	48.27	2.33	53.98
Na <sub>2</sub> O	25	0.25	0.01	0.05	0.05	0.03	14	0.07	0.02	0.02	0.04	0.03	14	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	9	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	9	0.04	0.01	0.01	0.02
K <sub>2</sub> O	25	0.37	0.01	0.08	0.07	0.05	14	0.08	0.01	0.02	0.04	0.05	14	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	9	0.06	0.01	0.02	0.02	0.01	9	0.06	0.01	0.02	0.02
As	20	7.62	0.05	1.70	0.87	0.34	13	0.92	0.14	0.27	0.41	0.34	13	0.05	0.53	0.81	0.05	0.05	5	1.93	0.05	0.81	0.53	0.05	5	1.93	0.05	0.81	0.53
Cr	20	21	11	2.38	15	17	20	12	2.35	2.35	16.77	17	6	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5	21	6	6.00	6.00	18	15.00	6.00	6	21	5
Cu	20	9	5	0.97	6.75	5	13	4	0.58	0.58	5.00	5	4	2.70	1	5.60	2.70	1	8	8	1	5.60	2.70	6	5.60	2.70	1	8	5
Ni	20	11	2.5	2.85	4.03	2.5	13	2.5	2.59	2.59	4.04	2.5	10	2.5	3.40	2.01	2.5	2.5	5	7	2.5	3.40	2.01	2.5	7	7	2.5	3.40	2.01
Pb	20	32	16	4.87	20.75	15	18	11	1.89	1.89	14.69	15	11	3.90	12	18.20	3.90	12	22	22	12	18.20	3.90	12	22	22	12	18.20	3.90
Zn	20	36	3	7.34	7.15	7	20	5	4.73	4.73	8.77	7	4	2.51	3	5.40	2.51	3	9	9	3	5.40	2.51	4	5.40	2.51	3	9	5

Abb. 2a

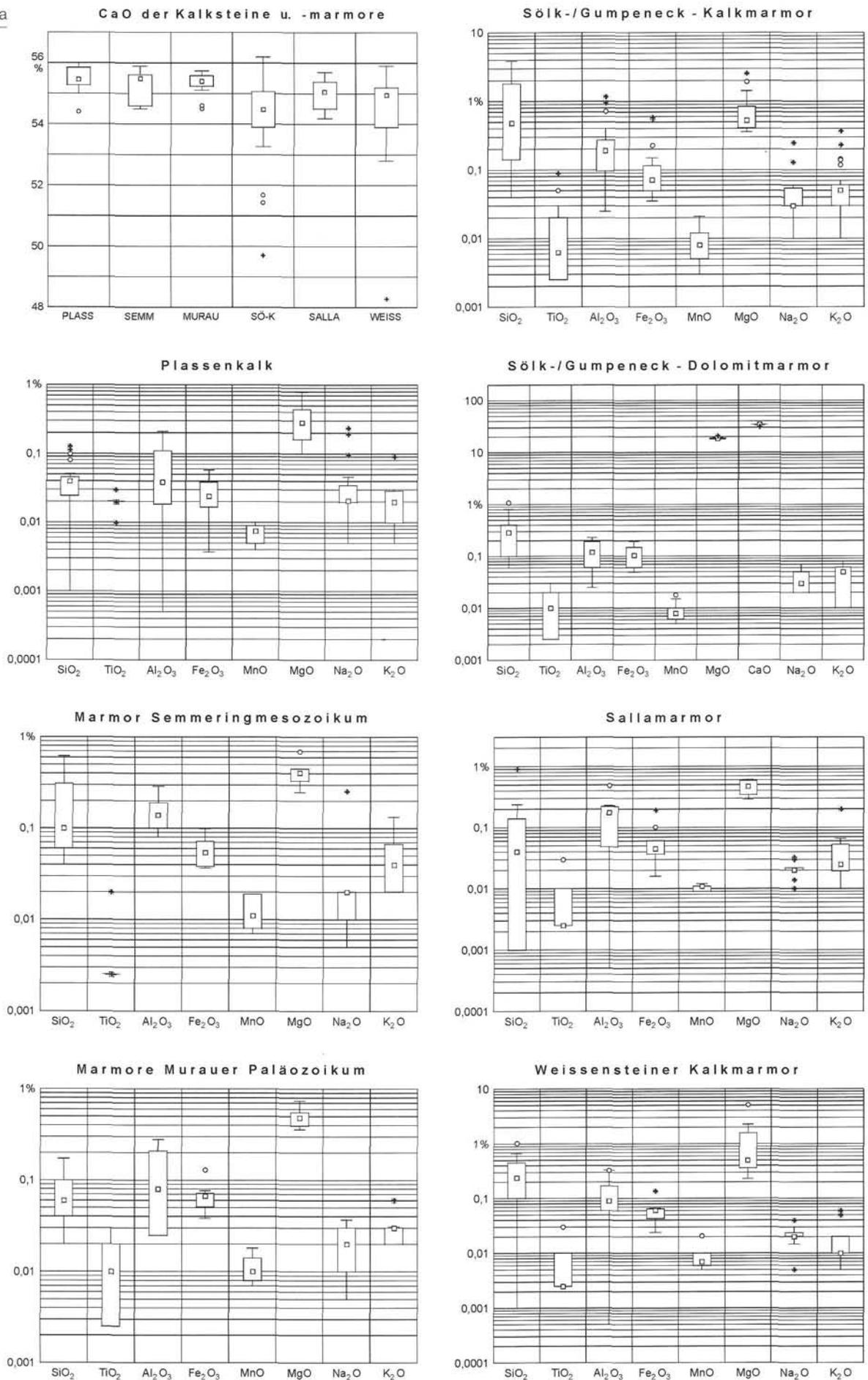
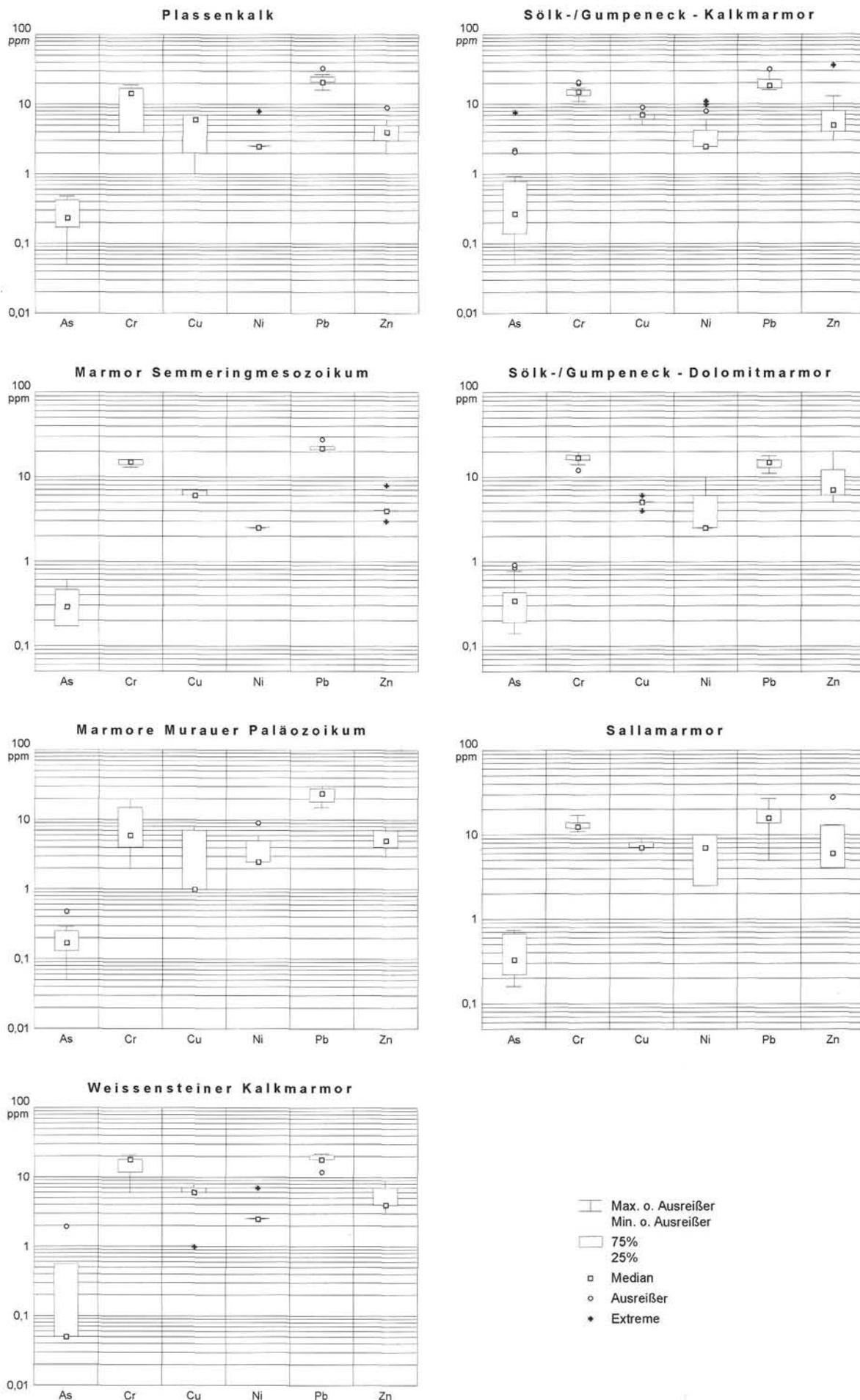


Abb. 2b



1979, wobei Farb- und Weißmetrik auf denselben physikalischen Grundlagen aufbauen.

Die Messungen werden an pulverförmig aufgemahlene und zu Tabletten gepreßten Proben durchgeführt. Die Proben werden 5 min in einer Scheibenschwingmühle gemahlen und erreichen damit stichprobenartig überprüft in der Korngrößenverteilung einen Median von  $6\mu$  und ein Größtkorn von  $63\mu$ . Nach dem Trocknen wird gemäß ZELLCHEMING, 1990 eine Tablette mit glatter Oberfläche hergestellt (Preßdruck: 1,2 bar, Preßdauer: 10 sec). Korngröße des Pulvers und Oberflächenbeschaffenheit der Tablette beeinflussen das Meßergebnis wesentlich.

Als Meßgerät dient ein Zweistrahlspektrofotometer (Zeiss MCS 311 und FMK 1800) mit einer Meßgeometrie von  $\text{diffus}/0^\circ$ , Xenon-Blitzlampe, Glanzfalle und 5 mm Blendenweite. Die Kalibrierung erfolgt an dem Eichstandard Bariumsulfat nach DIN 5033 Teil 9, 1982. Pro ausgelöster Messung erhält man den von der Probe bei jeder Wellenlänge im sichtbaren Spektrum (im Abstand von 10 nm zwischen 400 und 700 nm) reflektierten Lichtanteil der Xenon-Blitzlampe. Obwohl diese Basisinformation sich bereits in der daraus resultierenden Reflexionskurve zeigt, wird erst über die valenzmetrische Berechnung in einem Software-Programm (COLPRO) die Farbe (Körperfarbe DIN 5033 Teil 1, 1979) bestimmt, ihre Lokalisierung als Farbort in einem Farbenraum, und der Farbvergleich möglich. Den hier berechneten Farben liegen die Spektralwertfunktionen für das  $10^\circ$ -(Großfeld-)Normvalenz-System und die Normlichtart  $D_{65}$  (Daylight mit einer Farbtemperatur von  $6500^\circ\text{K}$ ) zugrunde (siehe ASTM DESIGNATION: E 308-90, 1991, Tab. 5.19; DIN 5033 Teil 2, 1992a, DIN 5033 Teil 7, 1983). Sie scheinen dort unter den Bezeichnungen CIE 1964 bzw. CIE 1976 auf.

## 2.2.2 Theorie

Aufgrund der Eigenschaft des menschlichen Auges, Farb- reize nach drei unabhängigen spektralen Empfindungsfunktionen (rot, grün, blau) zu bewerten, wird jede Farbe durch ein Zahlentripel, die Normfarbwerte  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  bestimmt (DIN 5033 Teil 3, 1992b). In die valenzmetrische Auswertung der gemessenen Reflexionskurven, die in den Normfarbwerten resultiert, gehen die Funktionen der spektralen Strahlungsverteilung der beleuchtenden Lichtart, die Reflexion des beleuchteten Körpers (Probe) und – dadurch ergibt sich das Zahlentripel – die drei Spektralwert-/Empfindungs-)funktionen des farbmetrischen Normalbeobachters ein. Die Festlegung der Spektralwertfunktionen für den normierten Beobachter und die Standardisierung der Normlichtarten werden von der Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) durchgeführt und in die einschlägigen Normen übernommen, vgl. DIN 5033 Teil 3, 1992b, ASTM DESIGNATION: E 308-90, 1991.

Mittels der Festlegung einer Farbe durch die Normfarbwerte sind die Farben in verschiedenen Farbsystemen bzw. Farbenräumen darstellbar. Gleichzeitig läßt sich jede Farbe aufgliedern in Farbton (zugehörige Spektralfarbe), Helligkeit (Anteil der unbunten Farbe weiß/grau/schwarz) und Sättigung (Intensität des Farbtons). Dementsprechend werden die Farbenräume durch eine horizontale Farbebene, aus der Farbton (Wellenlänge) und Sättigung (Entfernung zum Unbuntpunkt, s. u.) abzulesen sind, und durch eine vertikal dazu stehende Grau-Achse, auf der die Helligkeit aufgetragen wird, aufgespannt (AGOSTON, 1979; RICHTER, 1976; SCHULTZE, 1975). Dies ist dem angloamerikanisch gängigen Munsell-System vergleichbar, in der Geologie durch die Rock-Color-Chart, 1991 bekannt.

In der vorliegenden Arbeit wird die Farbörter-Darstellung anhand zweier, in der DIN 5033 Teil 3, 1992b beschriebenen Farbenräume, dem Normvalenz-System und dem  $L^*a^*b^*$ -Farbenraum CIE 1976 vorgenommen.

$10^\circ$ -(Großfeld-)Normvalenz-System (vgl. Abb. 3a):

Das Normvalenz-System wird durch die „Normfarbtafel“ dargestellt. Darin werden in der Farbebene die Farbwertanteile  $x (=X/(X+Y+Z))$  und  $y (=Y/(X+Y+Z))$ , und in einer senkrecht dazu stehenden Ebene ( $xY$ -Aufriß) der Normfarbwert  $Y$  (auch Hellbezugswert genannt) in Prozent von 0 (schwarz) bis 100 (weiß) aufgetragen. Für jede, der durch eine bestimmte Helligkeitsstufe ( $Y$ -Wert) festgelegten Farbebenen gilt, daß sich die Farben innerhalb eines annähernd dreieckigen Feldes befinden. Der Außenrand dieses Feldes wird von den Spektralfarben des sichtbaren Lichtes, angeordnet nach der zunehmenden Wellenlänge von violett über blau, grün, gelb zu rot gebildet. Während die Farbsättigung am Außenrand des Feldes am stärksten ist (100%), nimmt sie zentripetal zum Dreiecksmittelpunkt hin ab. Dort befindet sich der Farbort des Unbuntpunktes, der frei von jedem Farbton ist und 0% Sättigung besitzt. Im Falle von  $Y=100\%$ , d. h. an der Spitze der Farbebenen, entspricht er dem „vollkommen mattweißen Körper“ (energiegleiches Spektrum/physikalisches Idealweiß) gemäß DIN 5033, Teil 3, 1992b. Es sei noch erwähnt, daß die Gesamtheit der Farbörter der Körperfarben in diesem Farbenraum ein tetraedrisches Gebilde darstellt, mit dem Idealweiß an der Spitze (Farbkörper nach RÖSCH, zit. in RICHTER, 1976, SCHULTZE 1975). Die Farbabstände dieses Systems sind geometrisch gleich, unterscheiden sich jedoch sehr von den vom Menschen wahrgenommenen Farbabständen.

$L^*a^*b^*$ -Farbenraum CIE 1976 (vgl. Abb. 3b):

Der CIE- $L^*a^*b^*$ -Farbenraum (kurz CIELAB genannt), transformiert aus dem Normvalenzsystem, wurde von der CIE 1976 für Anwendungen empfohlen, bei denen es auf eine bessere Übereinstimmung zwischen geometrischem und empfundenem Farbabstand ankommt. Das in der Farbebene der Normfarbtafel dreiecksförmige Farbfeld ist so transformiert, daß die Farben rot-grün bzw. gelb-blau die positive und negative  $x$ - bzw.  $y$ -Achse, bezeichnet mit  $a^*$  bzw.  $b^*$  bilden. Der Unbuntpunkt liegt im Koordinatenursprung. Die Sättigung nimmt, wie bei den Farbenräumen generell üblich, nach außen hin zu. Die Skalierung der Helligkeit  $L^*$  unterscheidet sich von  $Y$  wegen der genannten physiologischen Anpassung an das menschliche Auge.

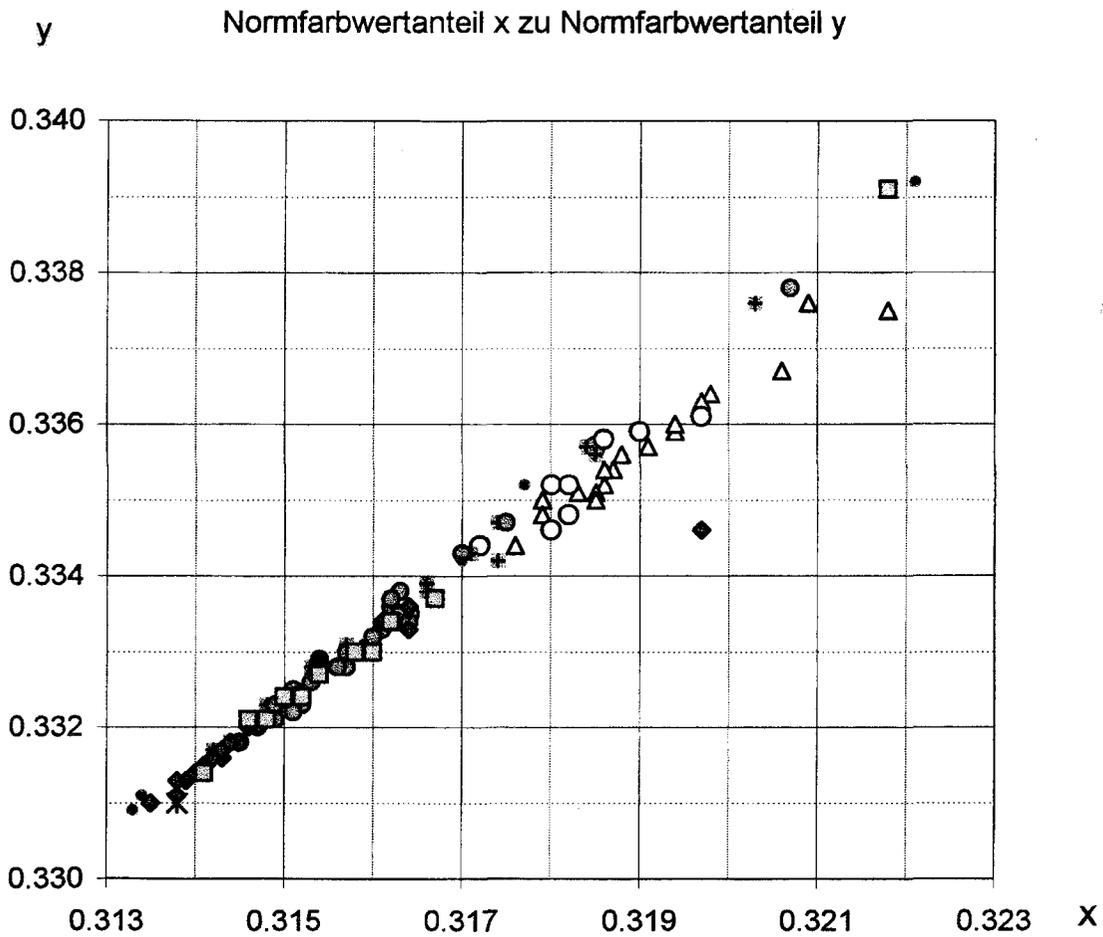
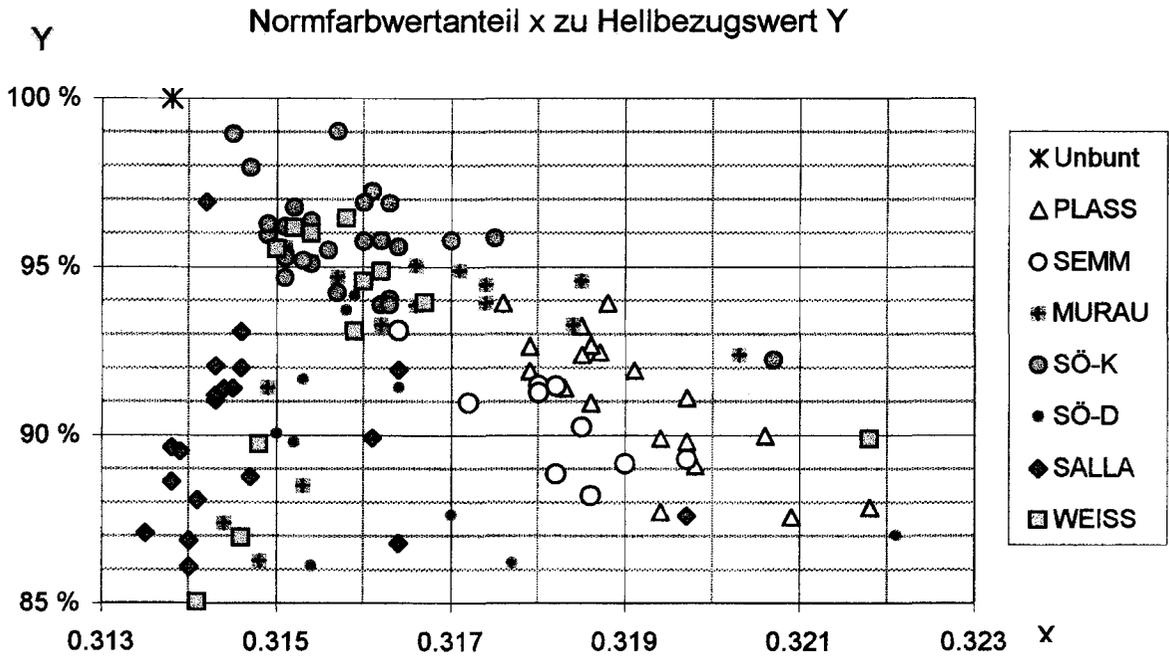
Eine von den Farbenräumen unabhängige, anwendungsspezifische Kenngröße stellt der Gelbwert DIN 6167, 1980 (synonym Yellowness-Index oder kurz Index genannt) dar. Er dient der Quantifizierung des Phänomens der Gelbstichigkeit „weißer“ Proben, ursprünglich eingeführt um den Vergilbungseffekt von Papiere zu beschreiben. Mit positivem Vorzeichen gibt er die zunehmende Sättigung von Gelb, mit negativem Vorzeichen die zunehmende Sättigung von Blau wieder und er verhält sich umgekehrt proportional zum Hellbezugswert.

Abb. 3a

Darstellung der gemessenen Proben als Farbörter in einem Ausschnitt der Normfarbtafel des  $10^\circ$ -(Großfeld-)Normvalenz-Systems unter Verwendung der Normlichtart  $D_{65}$ : Farbebene (unten), Helligkeitsachse normal zur Farbebene (oben). Stark abweichende Einzelproben sind nicht dargestellt, da sie außerhalb der Ausschnitte liegen.

Legende: Unbunt = Unbuntpunkt = Idealweiß, PLASS = Plassenkalk, SEMM = Marmor im Semmeringmesozoikum, MURAU = Marmor im Murauer Paläozoikum, SÖ-K = Sölk-/Gumpeneck-Kalkmarmor, SÖ-D = Sölk-/Gumpeneck-Dolomitmarmor, SALLA = Salla-Marmor, WEISS = Weißensteiner Marmor.

Farbörter der Proben im 10°-(Großfeld-)Normvalenz-System;  $D_{65}$



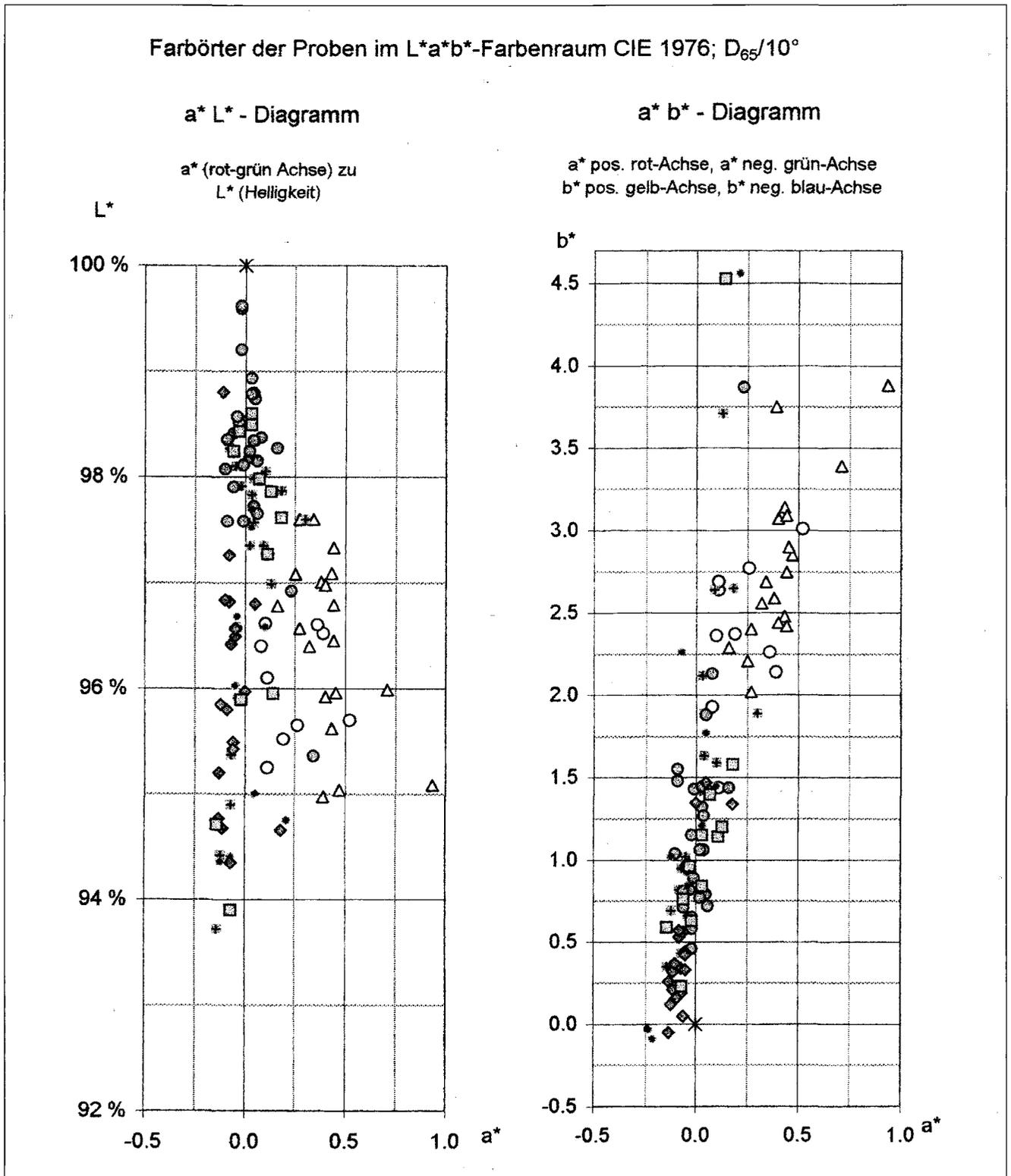


Abb. 3b

Darstellung der gemessenen Proben als Farbörter im L\*a\*b\*-Farbenraum CIE 1976; Meßbeleuchtung durch Normlichtart D<sub>65</sub>; Berechnung für den 10°-(Großfeld-)Normalbeobachter CIE 1964: Das rechte Diagramm stellt die a\*-b\*-Ebene (Farbebene), das linke die senkrecht dazu stehende Helligkeits-Komponente (L\*) dar. Stark abweichende Einzelproben liegen außerhalb der dargestellten Ausschnitte. Legende wie Abbildung 3a.

### 2.2.3 Interpretation

Wie aus den Abb. 3a, 3b, und der Tab. 4 hervorgeht, zeigen die Proben unterschiedliche Helligkeiten, die durch Y im xy-Diagramm bzw. L\* im a\*L\*-Diagramm zum Ausdruck kommen. In der Darstellung der Farbebenen (xy- und a\*b\*-Dia-

gramm) scheint bei den Proben eine nahezu kontinuierliche Sättigungszunahme durch den Farbton Gelb auf. Dies zeigt sich im xy-Diagramm durch die annähernd lineare Probenverteilung diagonal vom Unbuntpunkt weg. Verlängerte man diese Linie weit über den dargestellten Ausschnitt der Normfarb-



werden Angaben zu Lage und Größe der Vorkommen gemacht sowie die lithologische Ausbildung, der Chemismus und die Farbeigenschaften der darin auftretenden Karbonate dargestellt bzw. Verwendungsbeispiele angeführt. Die Klassifizierung hinsichtlich des Chemismus folgt dem Einteilungsschema aus Kap. 2.1.2 Einteilung, die Auswertung der Weißmessungen fußt auf den im Kap. 2.2.2 Theorie erläuterten Normfarbwert Y und Index. Die Gesteinseinheiten sind punktförmig überblicksmäßig in Abbildung 1 dargestellt.

### 3.1 Plassenkalk (Oberjura bis tiefe Unterkreide)

*Größe:* Mehrere linsenförmige Vorkommen von 50-100 mio m<sup>3</sup>.  
*Lithologie:* Hellbeige mikritische und sparitische Kalke einer Karbonatplattform.

*Chemismus:* Vorwiegend hochreine bis reinste Kalke.

*Weiß:* Geringere Helligkeit (Y 90%), starker Gelblich (Index 6).

*Beschreibung:* Die zusammengefaßten Proben, vgl. Abbildung 1 Nr. 1, stammen vom Untersberg-Nordfuß (ÖK 93), dem Bereich Wolfgangsee (ÖK 65, 95), Plassen-Ostseite (ÖK 96), Krahstein (ÖK 97), Stubwieswipfel (ÖK 98) und Torstein nördlich des Hochschwab (ÖK 101). Während die ausgezeichnete chemische Reinheit und Homogenität des Plassenkalkes bereits für Vorkommen im Salzkammergut von FLÜGEL & HADITSCH, 1975 dokumentiert ist, zeigt es sich, daß diese auch für die weiteren Vorkommen zutrifft, von denen hier aufgrund ihrer Quantität vor allem Untersberg-Nordfuß und Torstein hervorgehoben werden.

*Verwendung:* Stillgelegte Steinbrüche (Untersberg-Nordfuß, „Steinbruch“ bei Wildalpen). Aktuelle Nutzung für chemische Industrie bei Ebensee.

*Literatur:* DYA, 1992; EBNER, 1984; FENNINGER & HOLZER, 1972; FLÜGEL & HADITSCH, 1975; POSCHER et al., 1987; POSCHER & MOSTLER, 1991.

### 3.2 Marmor im Semmeringsystem (Mitteltrias)

*Größe:* Zwei mehrfach versetzte Züge von <10 und 10-50 mio m<sup>3</sup>.

*Lithologie:* Tektonisierte feinklüftig-massige, fein- bis mikrokristalline weißgraue bis rötliche Marmore mit Einschaltungen von Rauhackeln und Verzahnung mit dunkelgrauen Bänderkalken. Alpidische grünschieferfazielle Metamorphose (FREY, M. et al., 1999).

*Chemismus:* Reine, hochreine und reinste Kalkmarmore.

*Weiß:* Geringere Helligkeit (Y 90%), Gelblich (Index 5).

*Beschreibung:* Es handelt sich um die hellen Anteile in einem Ost-West streichenden Kalkmarmorzug nördlich Mürzzuschlag, der insgesamt 200-300 m mächtig ist sowie um einen parallel laufenden, 10-50 m mächtigen Zug längs des Raxenbaches, in dem hell-rötliche Kalkmarmore überwiegen (beide ÖK 104). Qualitätsmindernd sind Rauhackeneinschaltungen, vgl. RIEDMÜLLER, 1976 sowie die teilweise graue Färbung, während Dolomitmarmore aufgrund ihres räumlich getrennten Auftretens keine Beeinträchtigung darstellen.

*Verwendung:* Stillgelegte Steinbrüche; ehemals Brantkalk.

*Literatur:* GAAL, 1966; NOVOTNY & ROCKENSCHAUB, 1995; RIEDMÜLLER, 1976.

### 3.3 Marmore im Murauer Paläozoikum, Murauer Decke des Gurktaler Deckensystems (Unter- bis Mitteldevon)

*Größe:* Drei Vorkommen von 10-50 und >100 mio m<sup>3</sup>.

Auftreten in einzelnen Zügen, oder als verkarstetes Kalkmassiv mit lateralem Übergang in dunkle Bändermarmore.

*Lithologie:* Feinkristalline, kataklasierte, weiß-gelbliche, massige oder gebankte Marmore mit Limonit-impregnierten Klüften. Variszische und alpidische grünschieferfazielle Metamorphose.

*Chemismus:* Reine bis hochreine Kalkmarmore.

*Weiß:* Hellgrau und unbunt, oder annähernd weiß mit Gelblich (Y 90-95%, Index 3).

*Beschreibung:* Die Vorkommen befinden sich nördlich Pux im Murtal (ÖK 160) sowie im Bereich der Grebenzen bei St. Lambrecht (ÖK 159, 160), wo der Kalkberg bei Weißenbach, die Lokalitäten Scharfes Eck und Königkogel bei Hinterwinkel näher untersucht werden. Bei dem ersteren handelt es sich um ca. 30 m mächtige Kalkpartien, die mit Kalkschiefern wechseln; beim verkarsteten Kalkstock der Grebenzen erreicht die Mächtigkeit der Kalkmarmore mehrere 100 m.

*Verwendung:* Stillgelegte Steinbrüche; ehemals Brantkalk und Baustein.

*Literatur:* EBNER, 1975, 1984; FLÜGEL & NEUBAUER, 1984; SCHÖNLAUB, 1979; THURNER & VAN HUSEN, 1978.

### 3.4 Sölk-/Gumpeneck-Marmor (Wölzer Kristallin)

*Größe:* Vorkommen von <10 bis <100 mio m<sup>3</sup> eingefaltet in Wölzer Glimmerschiefer.

*Lithologie:* Kalkmarmore heterogener Ausbildung: Grob- bis feinkristallin, weiß oder bunt gebändert und entsprechend rein oder mineralisiert (Muskowit, Quarz, Epidot). Gelblich-bräunliche Dolomitmarmore, z. T. kalkig, treten als Einschaltungen auf. Variszische amphibolitfazielle und alpidische grünschieferfazielle Metamorphose.

*Kalkmarmore:*

*Chemismus:* Verunreinigte, reine und hochreine Kalkmarmore.

*Weiß:* Sehr hell und unbunt (Y um 95%, Index -0,3 bis 4).

*Dolomitmarmore:*

*Chemismus:* Kalkige Dolomitmarmore.

*Weiß:* Hellgrau bis weiß (Y 86-95%; Index 2), gelb-grünlich.

*Beschreibung:* Gegenstand sind die Gebiete Großsölk-West (Umgebung Kochofen), Gumpeneck, Walchen-Englitztal und Donnersbachtal (ÖK 128, 129). Sie stellen großteils massige, sehr weiße sowie bunt gezeichnete und stark mineralisierte, bzw. häufig silikatische mittelkörnige Kalkmarmore dar. Gebietsweise, aber auch als möglicherweise rhythmische Einschaltungen in den Kalkmarmoren, treten gelb-bräunliche, geringer silikatische, feinkörnige Dolomitmarmore mit Kalklaminae auf. Charakteristisch sind die erstklassige Weiß sowie die zumindest untergeordnet vorhandene bunte Zeichnung dieser Marmore, andererseits ist ihr Chemismus für hochwertige Ansprüche zu stark verunreinigt.

*Verwendung:* Dekorsteingewinnung (Sölk); stillgelegte Steinbrüche und Stollenvortrieb (Walchen) für Füllstoffzwecke.

*Literatur:* FRITSCH, 1953; SKALA, 1964; WEISS, 1958.

### 3.5 Salla-Marmor (Almhauserie im Stub-/Glein-almkristallin)

*Größe:* Anhaltende Züge, getrennt durch Paragneise etc. von 10 bis 50 mio m<sup>3</sup>.

*Lithologie:* Graue bis weiße oder bräunlich durch Pyrit anwitternde mittelkörnige Marmore. Ausgeprägte Bankung und Bänderung vorwiegend durch Glimmerlagen. Variszische und alpidische amphibolitfazielle Metamorphose.

*Chemismus:* Reine bis hochreine Kalkmarmore.

*Weiß:* Hellgrau (Y variabel 87->95%, Index 0-2) und grau mit Grünlich.

*Beschreibung:* Es zeigt sich, daß die ca. 30 m mächtigen weißen Anteile der Marmorzüge im Bereich Schrottgraben bis Gallmannsegg (ÖK 162, 163), sieht man von tektonisch bedingten Störungen ab, schichtgebunden und dementsprechend gut prognostizierbar auftreten. Dies äußert sich in den darin aufgereihten Abbaugebieten. Die hier angeführten Analysen berücksichtigen einerseits diejenigen Teilgebiete, deren hochwertige Qualität durch die aktuelle Verwendung erwiesen ist, andererseits stammen Analysen von unverritzten Gebieten und historischen Abbaustellen (südlich Salla). Die Marmore letzterer sind heterogener und zeigen sowohl hinsichtlich Geochemie als auch Weiß nicht mehr optimale Qualität. Dies rechtfertigt den Schluß, daß die noch vorhandenen optimalen Bereiche der relativ mächtigsten und weißen Marmorzüge nahe oder zwischen den derzeitigen Steinbrüchen liegen, bereits bekannt und als Vorratsgebiete ausgewiesen sind.

*Verwendung:* Zahlreiche aktive Abbaue zwischen Sallagraben – Schrottgraben – Oswaldgraben – Gallmannsegg; selektiver Abbau des hellen Marmors für Füllstoff-, untergeordnet Weißputz-Erzeugung, des grauen bzw. gebänderten Marmors für Splitte und Dekorstein.

*Literatur:* BECKER, 1979; EBNER, 1984.

### 3.6 Weißensteiner Marmor (Kristallin südlich des Tauernfensters)

*Größe:* Ein Großvorkommen von >100 mio m<sup>3</sup> und zusätzliche Vorkommen von <10 mio m<sup>3</sup>.

*Lithologie:* Weiß, seltener graue grobkörnige Marmore, durchzogen von feinkristallinen Mylonitonen; unregelmäßige Einschaltungen feinkörniger Dolomitmarmore und dünner Amphibolitlagen; Kalksilikate nahe den Kontaktbereichen zu Amphibolit und Glimmerschiefer. Variszische und alpidische amphibolitfazielle Metamorphose.

*Chemismus:* Meist reine bis hochreine Kalkmarmore.

*Weiß:* Sehr hell (Y 90-95%) und annähernd weiß bis gelbstichig (Index 2-5).

*Beschreibung:* Das Großvorkommen, in dem dolomitische, dunklere Abschnitte miteingerechnet sind, bezieht sich auf den mehrere 100 m mächtigen Weißensteiner Marmorzug in der nördlichen Talflanke des Unteren Drautals zwischen Weißenstein, Krastal und Gummern (ÖK 200). Von den im Bereich zwischen Oswaldiberg, Treffen und Ossiacher See auftretenden kleineren Marmorvorkommen (ÖK 201) wurde lediglich das Vorkommen von Treffen erfaßt.

*Verwendung:* Großmaßstäblicher selektiver Abbau zur Füllstoff-Erzeugung, ober- und untertägiger Abbau zur Dekorsteinnutzung; historische Verwendung für Dekorstein, Brantkalk und chemische Industrie.

*Literatur:* KIESLINGER, 1956; STRAUSS, 1990.

## 4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorliegende Auswahl präsentiert interessante Kalkstein-Rohstoffvorkommen in Österreich. Naturgemäß stellen Kalkstein-/Marmor-Vorkommen wirtschaftlicher Größe mit hohen Weiß- und Reinheitsqualitäten eine Ausnahme dar.

Wie die Charakterisierung der Vorkommen zeigt, stellt der **Weißensteiner Marmor** das umfangreichste und erstrangigste Vorkommen hinsichtlich der Qualitäts-Dualität Weiß und che-

mische Reinheit dar. Seine Rohstoffgüte ist durch selektiven Abbau, der die dolomitischen Anteile sowie Amphibolitlagen aussondert und auf konstante Weiß abzielt, auf diesem hohen Niveau konstant zu halten. Bezogen auf die Quantität sind auch die **Marmore im Murauer Paläozoikum**, insbesondere Teile der **Kalke der Grebenzen**, aber auch Bereiche der **Marmore der Semmeringeinheit** als interessante Vorkommen anzusehen. Ihre, trotz gelegentlicher Eisen- (Murauer Paläozoikum) bzw. Quarzgehalte (Semmeringeinheit) hohe chemische Reinheit wird für große Bereiche als homogen eingeschätzt. Allerdings kommt ihrer Weißverteilung geringere Beständigkeit zu. Die hellen Partien verzahnen teilweise im Kleinbereich mit graueren und gelblich-bräunlichen Partien. Ob diese Qualitätsminderung durch selektiven Abbau wettgemacht werden könnte, läßt sich aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht beurteilen. Die weißen Anteile der **Salla-Marmore** zeigen in ihren Zügen außer im Übergangsbereich zum Nebengestein eine homogene und sehr gute Qualität, sind jedoch schon vielerorts abgebaut. Der **Plassenkalk** kann als einziger nichtmetamorpher Kalkstein im Vergleich zu den Marmoren hinsichtlich seiner Weißwerte mithalten und übertrifft diese sogar in der chemischen Reinheit. Die untersuchten Vorkommen des Plassenkalkes zeigen wirtschaftlich interessante Größe und homogene Qualität. Der **Sölk-/Gumpeneck-Marmor**, für den in gewissen Teilen der selektive Abbau von Kalk- und Dolomitmarmor vorstellbar ist, zeigt zwar besonders beim Kalkmarmor die absolut höchsten, jedoch in dessen Kleinbereich schwankende Weißqualitäten.

Daß nicht alle hochwertigen Vorkommen insbesondere der sowohl räumlich ausgedehnten als auch heterogenen lithostratigraphischen Einheiten erfaßt werden konnten wurde nachträglich an Beispielen für den Wettersteinkalk und Dachsteinkalk sichtbar. Auch innerhalb der oberostalpinen und südalpinen paläozoischen Kalkstein- und Marmor-Einheiten werden neben den untersuchten Vorkommen im Murauer Paläozoikum noch weitere interessante Vorkommen vermutet.

Die Studie ist als Basisinformation hinsichtlich der Verbreitung und der Güte-Dualität Weiß und chemischer Reinheit möglicher Calcit-Rohstoffe (GCC) zu verstehen. Für die hier dargestellten Vorkommen sind zum Nachweis der Füllstoff-Eignung an den Gesteinen noch unbedingt industrielle Tests für aufbereitungstechnische Eigenschaften (z. B. Mahlverhalten, Abrasivität) durchzuführen. Für die Auswahl eines Abbaugebietes möge man die Substanz- und Qualitätsangaben mittels geeigneter Prospektionsmethoden absichern.

## 5. Dank

Die Autoren danken der Obersten Bergbehörde, Sektion VII des BM f. Wirtschaftliche Angelegenheiten, dem BM f. Wissenschaft und Verkehr, Sektion III, Abt. III/A/5 sowie den MitarbeiterInnen der Fachabteilung Rohstoffgeologie der Geologischen Bundesanstalt für die Möglichkeit der Durchführung, die Unterstützung und das Interesse an dieser Studie. Weiters ist es uns ein Anliegen, zahlreichen Kollegen aus Industrie und akademischer Forschung für wertvolle Anregungen und Hilfestellungen zu danken. Ebenso gilt unser Dank Herrn R. BRANDNER und Herrn A. ROHATSCH für ihre kritische Durchsicht des Manuskriptes. Für die Unterweisung in der Weißmetrik sei Herr Ing. D. SIEGERT (Ingenieurbüro für Farbmeterik, Steinheim am Albuch, Bayern) bedankt.

## Literatur

AGOSTON, G. A., 1979: Color Theory and Its Application in Art and Design. – 137 S., Berlin (Springer).

- ANTONIUS, G., 1994: Erfassung aller hochwertigen Karbonatgesteinsvorkommen in Niederösterreich, die auf Grund ihrer Umweltsituation nutzbar sind. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-033/93, S. ungez., Wien.
- ASTM DESIGNATION: E 308-90, 1991: Standard Test Method for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System. – Annual Book of ASTM Standards, Vol. **06.01**, 736-762, Philadelphia.
- AUSTROPLAN, 1993: Hochwertige Karbonatgesteine in Niederösterreich. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-033/92, S. ungez., Wien.
- BECKER, L. P., 1979: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Bl. 162 Köflach. Mit Erläuterungen. – Geol. B.-A., Wien.
- BENTZ, A. & MARTINI, H. J., 1968: Lehrbuch der Angewandten Geologie, 1. Teil, Geowissenschaftliche Methoden. Band 2, Teil 1. – 1355 S., Stuttgart (Enke).
- BERTLE, H., 1980: Rohstoff-Forschungs-Projekt betreffend die Erkundung der Karbonatgesteine des Rätikons (Vorarlberg) nach Vorkommen von reinen Kalken und reinen Dolomiten. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt V-A-001/79, 37 S., Schruns.
- BERTLE, H., 1982: Reinkarbonat-Lagerstätten im Rätikon (Vorarlberg). – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **2**, 7-14, Wien.
- BERTOLDI, G. A., 2000: Der Kalk. – Düsseldorf (Stahleisen), im Druck.
- BOYNTON, R. S., 1980: Chemistry and Technology of Lime and Limestone. 2. Edition. – 578 S., New York-Chichester (John Wiley and Sons).
- CARR, D. D. & ROONEY, L. Y., 1975: Limestone and Dolomite. – In: S. J. LEFOND (ed.): Industrial Minerals and Rocks. – 4. Ed., 757-789, New York (American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers Inc.).
- CORRENS, C. W., 1968: Einführung in die Mineralogie. – 2. Aufl., 458 S., Berlin (Springer).
- DIMKE, M., 1997: Fazies und Diagenese der „Tithon-Massenkalke“ und „Hangenden Bankkalke“ südöstlich von Tuttligen auf Blatt Neuhausen ob Eck (8019), nebst einigen angewandten Aspekten ihrer Nutzung als Rohstoff (Farbe, Brech- und Mahlverhalten). – Dissertation Univ. Erlangen, 181 S., Erlangen.
- DIN 5033, 1979: Farbmessung Teil 1: Grundbegriffe der Farbmessung. – DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 5 S., Berlin.
- DIN 5033, 1982: Farbmessung Teil 9: Weißstandard für Farbmessung und Photometrie. – DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 3 S., Berlin.
- DIN 5033, 1983: Farbmessung Teil 7: Meßbedingungen für Körperfarben. – DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 8 S., Berlin.
- DIN 5033, 1992a: Farbmessung Teil 2: Normvalenz-Systeme. – DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 5 S., Berlin.
- DIN 5033, 1992b: Farbmessung Teil 3: Farbmaßzahlen. – DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 4 S., Berlin.
- DIN 6167, 1980: Beschreibung der Vergilbung von nahezu weißen oder nahezu farblosen Materialien. – DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 1 S., Berlin.
- DYA, M., 1992: Mikropaläontologische und fazielle Untersuchungen im Oberjura zwischen Salzburg und Lofer. – Unveröff. Dissertation, Technische Universität Berlin, Fachbereich Bergbau und Geowissenschaften, 138 S., Berlin.
- EBNER, F., 1975: Die Geologie der Grebenzen. – TV „Die Naturfreunde“ Steiermark; natur + landschaft + mensch **1975/1**, 7 S., Graz.
- EBNER, F., 1984: Farb- und Gefügevarietäten steirischer Karbonatgesteine. – Unveröff. Bericht Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-A-032c/81-84, 342 S., Graz.
- EBNER, F., 1985: Dekor- und Nutzgesteine der Steiermark: Farb- und Gefügevarietäten steirischer Karbonatgesteine. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **6**, 7-9, Wien.
- FATTAH, H., 1995: North American GCC. The finer, brighter Side of Life. – Industrial Minerals, **329**, 33-47, London.
- FENNINGER, A. & HOLZER, H. L., 1972: Fazies und Paläogeographie des oberostalpinen Malm. – Mitt. Geol. Ges., **63** (1970), 52-141, Wien.
- FLÜGEL, E. (1977): Untersuchungen über die Beziehungen zwischen mikrofaziellen und technologischen Merkmalen steirischer Dachsteinkalke (Obertrias; Grimmingstock, Gesäuse). – Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum, **38**, 47-58, Graz.
- FLÜGEL, E. & HADITSCH, J. G., 1975: Vorkommen hochreiner und reiner Kalke im Steirischen Salzkammergut. – Archiv f. Lagerst. Forschung in den Ostalpen, **15**, 65-84, Leoben.
- FLÜGEL, H. W. & NEUBAUER, F., 1984: Steiermark. Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:200.000. – Geol. B.-A., 127 S., Wien.
- FREY, M., DESMONS, J. & NEUBAUER, F., 1999: Metamorphic Maps of the Alps. 1:500.000. – c-macs publishing service, 2 Blätter, Dresden.
- FRITSCH, W., 1953: Die Gumpeneckmarmore. – Mitt. Mus. Bergbau, Geol. u. Technik Joann., **10**, 3-12, Graz.
- GAAL, G., 1966: Geologie des Roßkogelgebietes W Mürzzuschlag (Steiermark). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **16**, 105-148, Wien.
- GRIESSER, R., 1979: Methoden und Einsatzmöglichkeiten der farbmetrischen Weissbewertung von Papieren. – 81 S., CIBA-GEIGY 7008 D.
- HAYDARI, F. & UCİK, F. H., 1981: Dekorgesteine in Kärnten. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt K-A-012/80, S. ungez., Klagenfurt.
- HAYDARI, F. & UCİK, F. H., 1983: Dekorgesteine in Kärnten. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **3**, 35-41, Wien.
- HELLERSCHMIDT-ALBER, J., 1995: Bundesweite Übersicht über Vorkommen von Industriemineralen (Österreich). – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-027, 225 S., Wien.
- HÜBEL, G., AIGNER, R. & POLEGEG, S. (Projektl.), 1984: Beurteilung steirischer Karbonatgesteinsvorkommen für spezielle Verwendungsbereiche. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt St-A-055/84, 35 Bl., Leoben.
- KIESLINGER, A., 1956: Die Nutzbaren Gesteine Kärntens. – Carinthia II, **SH 17**, 348 S., Klagenfurt.
- KIESLINGER, A., 1964: Die Nutzbaren Gesteine Salzburgs. – Mitt. Ges. Salzburger Landeskunde, **4**, 436 S., Salzburg-Stuttgart.
- KOCH, R., FLÜGEL, E., DIMKE, M., HASSELMAYER, B., MICHEL, U., ROSSNER, R. & SOBOTT, R., 1997: Die „Angewandte Faziesforschung“ am Institut für Paläontologie in Erlangen. – Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 1996, **9/10**, 989-1032, Stuttgart.
- LOBITZER, H. & MOSHAMMER, B., 1996: Weiße Karbonatgesteine Österreichs: Technologische Nutzungsoptionen in Abhängigkeit von Mikrofazies/Korngefüge und Geochemie. – 11. Sedimentologentreffen Sediment 96, Kurzfassungen der Vorträge und Poster, S. 101, Wien.
- LOBITZER, H. & SURENIAN, R., 1984: Geologische Untersuchungen an ausgewählten Vorkommen von Dolomit im Bundesland Salzburg. – Arch. f. Lagerst. Forsch. Geol. B.-A., **5**, 73-97, Wien.
- LOBITZER, H., TATZREITER, F., DAURER, A., KIESL, W. & ZIMMER, W., 1981: Bestandsaufnahme der Vorkommen von Kalk und Dolomit im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-A-011/80, 44 S., Wien.
- LOBITZER, H., TATZREITER, F., DAURER, A., KIESL, W., ZIMMER, W., STRADNER, H., SURENIAN, R. & ALLRAM, F., 1982: Bestandsaufnahme der Vorkommen von Kalk und Dolomit im Bundesland Salzburg. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt S-A-011/80-81, 167 S., Wien.
- LORENZ, W., 1991: Criteria for the Assessment of Non-Metallic Mineral Deposits. – Geol. Jb., A 127, 299-326, Hannover.
- MOSHAMMER, B. & LOBITZER, H., 1996: Nutzungsoptionen ausgewählter österreichischer Vorkommen von hochreinen Karbonatgesteinen (Kalkstein, Marmor, Dolomit zT.). – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-038/94-95, 57 S., Wien.

- MOSHAMMER, B. & LOBITZER, H., 1997: „Weisse“ Marmore/Kalke/Dolomite in Österreich. Petrographie – Weissmetrik – Geochemie. – Zusammenfassungen Symposium Calcaire/Kalk 177. Jahresversammlung SANW u. Schweizerische Geologische Gesellschaft, S. 30, La Chaux-de-Fonds.
- MOSTLER, H., 1982: Erfassung und Beurteilung von Natursteinen in Tirol. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **2**, 121-130, Wien.
- MOSTLER, H., KRAINER, K. & STINGL, V., 1983: Baurohstoffe Tirols (Endbericht 1983). – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-A-002d/83, 145 S., Innsbruck.
- MOSTLER, H., SPÖTL, C. & STINGL, V., 1988: Baurohstoffe Tirols (2. Teil). – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt T-A-002d/84, 117 S., Innsbruck.
- NOVOTNY, A. & ROCKENSCHAUB, M., 1995: Erläuterung der regionalen Geologie des Semmeringgebietes: Exkursionsführer. – Geol. B.-A., 11 S., Wien.
- ÖNORM G 1046, 1985: Begriffe der Lagerstättenkunde der Steine, Erden und Industriemineralien, Teil 3: Kalkstein. – Österreichisches Normungsinstitut, 4 S., Wien.
- POLEGEG, S. & HÜBEL, G., 1986: Beurteilung steirischer Karbonatgesteinsvorkommen für spezielle Verwendungsbereiche. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **7**, 195-198, Wien.
- POSCHER, G., 1993: Geochemisch-technische Eigenschaften von Karbonatgesteinen der Nördlichen Kalkalpen Oberösterreichs. – Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., **16**, 83-102, Wien.
- POSCHER, G. & MOSTLER, H., 1991: Karbonatrohstoffe in Oberösterreich: Endbericht, Teil 1 und Teil 2. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-A-019/89, 73 S., Innsbruck.
- POSCHER, G., STINGL, V., ASTL, C., HARTLEITNER, K., SANDERS, D., TESSADRI, R. & MOSTLER, H., 1987: Karbonatrohstoffe in Oberösterreich. – Unveröff. Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt O-A-019/86, 72 S., Innsbruck.
- RICHTER, M., 1976: Einführung in die Farbmetrik. – 274 S., Berlin (Walter de Gruyter).
- RIEDMÜLLER, G., 1976: Genese und Charakteristik der Rauhacken im Pittental (Niederösterreich). – Geol. Rundschau, **65**, 290-332, Stuttgart.
- ROCK-COLOR CHART COMMITTEE, 1991: Rock Color Chart. – Geological Society of America, Boulder.
- SCHIELE, E. & BEHRENS, L. W., 1972: Kalk. Herstellung – Eigenschaften – Verwendung. – 627 S., Düsseldorf (Stahleisen).
- SCHÖNLAUB, H. P., 1979: Das Paläozoikum in Österreich. – Abh. Geol. B.-A., **33**, 124 S., Wien.
- SCHULTZE, W., 1975: Farbenlehre und Farbmessung. – 97 S., Berlin (Springer).
- SKALA, W., 1964: Typen, Facies und tektonische Position der Karbonatgesteine der östlichen Wölzer Tauern. – Verh. Geol. B.-A., **1964/1**, 108-123, Wien.
- STRAUSS, H., 1990: Kristallisations- und Deformationsgeschichte des Altkristallins nordwestlich von Villach. – Unveröff. Dissertation Naturwiss. Fak. Univ. Graz, 168 S., Graz.
- TURNER, A. & VAN HUSEN, D., 1978: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Bl. 160 Neumarkt. Mit Erläuterungen. – Geol. B.-A., Wien.
- WEISS, E. H., 1958: Zur Petrographie der Hohen Wildstelle (Schladminger Tauern). – Joanneum, Mineralogisches Mitteilungsblatt, **2/1958**, 69-109, Graz.
- ZELLCHEMING, VEREIN DER ZELLSTOFF- UND PAPIER-CHEMIKER UND INGENIEURE, 1990: Prüfung von Füllstoffen und Pigmenten für Papier, Karton und Pappe: Farbmessung nach dem Dreibereichsverfahren. Merkblatt V/27.5/90. – 4 S., Darmstadt (Verein ZELLCHEMING).

Manuskript eingegangen am: 16.11.1998 ●

Revidierte Fassung eingegangen am: 08.11.1999 ●

Manuskript akzeptiert am: 30.12.1999 ●