

RA 356
(29) a

Mitteilungen aus dem Geologischen Institut
der Universität Hannover

Redaktion: J.-P. Groetzner

Heft 29

Lithostratigraphische, technologische und geochemische
Untersuchungen im Muschelkalk
des Osnabrücker Berglandes

von
Alfred Langer

Hannover 1989

Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover	ISSN 0440-2812	29	114 S., 16 Abb., 22Tab., 5 Taf. (in Tasche)	Hannover Mai 1989
-------------------------------------	----------------	----	--	----------------------

MITTEILUNGEN AUS DEM GEOLOGISCHEN INSTITUT
DER UNIVERSITÄT HANNOVER

Noch lieferbar :

- Heft 1: BERNHARD, H.: Der Drucksetzungsversuch als Hilfsmittel zur Ermittlung der Mächtigkeit des pleistozänen Inlandeises in NW-Niedersachsen.- 108 S., 5 Taf., 1963. DM 5,--
- Heft 2: RICHTER, K.: Beziehungen zwischen lokalem Grundwasserstand und Kryoturbationen auf Bornholm.- SICKENBERG, O.: Neue Säugetierfunde aus dem Gipskarst v. Osterode/Harz.- MICHAEL, E.: Mikroplankton und Sporomorphe aus dem NW-deutschen Barreme.- 48 S., 7 Taf., 1964. DM 3,--
- Heft 3: RICHTER, K.: Der Salzstock von Lüneburg im Quartär.- BENDA, L. & MICHAEL, E.: Ein neues Vorkommen von marinem Holstein-Interglazial b. Lüneburg.- RICHTER, K.: Konnektionierungsmöglichkeiten nieders. Flugsandrhythmen.- 50 S., 10 Taf. 1966. DM 2,50
- Heft 4: SCHRAPS, A.: Schwermineraluntersuchungen an quartären Sanden im Bereich der ostfriesischen Inseln Baltrum, Langeoog und Spiekeroog.- 149 S., 17 Taf., 1966. DM 5,50
- Heft 8: Sonderheft zum 65. Geburtstag von K. RICHTER mit Beiträgen von J.-D. BECKER-PLATEN, H. BERNHARD, J.-P. GROETZNER, H.-U. HARK, H. HILTMANN, E.-R. LOOK, G. LÜTTIG, E. MALZAHN, R. MARCZINSKI, H. PUTZER, W.G. SCHRAPS, G. SCHÜTT, E.-G. SCHULZE, O. SICKENBERG H. VIERHUFF.- 190 S., 1968. DM 8,--
- Heft 10: Sonderheft zum 70. Geburtstag von O. SICKENBERG mit Beiträgen von C. BRAUCKMANN, G. HILLMER, U. LEHMANN, E. MICHAEL, Hg. PAPE, K. RICHTER, G. SCHÜTT, H. TOBIEN.- 162 S., 1971. DM 8,50
- Heft 11: GROETZNER, J.-P.: Geschiebeführung und Stratigraphie Saale-eiszeitlicher Ablagerungen (Pleistozän) im Südwestteil d. Uelzener Beckens (Nordost-Niedersachsen).- 76 S., 20 Abb., 7 Tab., 2 Taf., 1972. DM 5,--
- Heft 12: PREUSS, H.: Gliederung und Zusammensetzung der Weserterrassenkörper b. Bodenfelde (mit einer geolog. Kartierung). RAUSCH, M.: Der "Dropstein-Laminat" von Bögerhof und seine Zuordnung zu den drenthezeitlichen Ablagerungen d. Wesertales b. Rinteln.- 86 S., 6 Tab., 4 Taf., 1975. DM 9,90
- Heft 13: (Unterkreideheft).- GEORGI, K.-H.: Mikrofaunistische Untersuchungen der Hilsandstein-Region (Apt/Alb) im Raum Salzgitter-Goslar.- SEILER, W.C.: Mikropaläont. Untersuchungen z. stratigraphischen Einstufung des Hilsandsteins (Unterkreide) in der Hilsmulde (Südnieders.).- HEINEMANN, B.: Lateritische Verwitterungsböden aus Hils-Sandstein (Unterkreide) und Dogger-tonen im Harzvorland b. Goslar.- 152 S., 7 Taf., 24 Abb., 2 Tab., 1976. DM 11,--
- Heft 15: KRÜGER, S.: Zur Taxionomie und Systematik isolierter Schwamm-sklereen mit Beispielen aus der Unter-Kreide Ostniedersachsens.- DENEKE, E.: Ein Profil von den Ornat-Schichten (Callovium-Dogger) bis zum unteren Korallenoolith (Oxfordium-Malm) im Grubenfeld "Konrad", Salzgitter Bleckenstedt (Ostnieders.).- HENNINGSEN, D.: Schwermineral-Untersuchungen in Quartär-zeitl. Sanden NW von Hannover.- 146 S.; 3 Taf., 1978. DM 11,50

Lithostratigraphische, technologische und geochemische
Untersuchungen im Muschelkalk des
Osnabrücker Berglandes

von dem Fachbereich Erdwissenschaften

der Universität Hannover
zur Erlangung des Grades eines

DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN

- Dr. rer. nat. -

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Geol. Alfred Langer
geboren am 28.02.1955 in Peine

Referent: Prof. Dr. D. Henningsen

Korreferent: Prof. Dr. U. Rosenfeld

Tag der Promotion: 25.01.1989

Mitteilungen aus dem Geologischen Institut
der Universität Hannover

Redaktion: J.-P. Groetzner

Heft 29

Lithostratigraphische, technologische und geochemische
Untersuchungen im Muschelkalk
des Osnabrücker Berglandes

von
Alfred Langer

Hannover 1989

Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover	ISSN 0440-2812	29	114 S., 16 Abb., 22Tab., 5 Taf. (in Tasche)	Hannover Mai 1989
-------------------------------------	----------------	----	--	----------------------

Die vorliegende Arbeit wurde gefördert mit Hilfe von
Forschungsmitteln des Landes Niedersachsen

LITHOSTRATIGRAPHISCHE, TECHNOLOGISCHE UND GEOCHEMISCHE
UNTERSUCHUNGEN IM MUSCHELKALK
DES OSNABRÜCKER BERGLANDES

(114 S., 16 Abb., 22 Tab., 5 Taf. in Tasche)

von

ALFRED LANGER^{*)}

Inhalt

	<u>Seite</u>
0 KURZFASSUNG	6
1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	6
2 GEOLOGISCHE UND STRATIGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN DES UNTEREN MUSCHELKALKS IM OSNABRÜCKER BERGLAND	10
2.1 Unterer Muschelkalk (mu)	10
2.1.1 Schichtaufbau	15
2.1.1.1 Grenzbereich Oberer Buntsandstein/Unterer Muschel- kalk und Bereich der Basiskonglomeratbänke (muK)	15
2.1.1.2 Wellenkalk 1 (muW1)	17
2.1.1.3 Horizont der Oolithbänke (muO)	17
2.1.1.4 Wellenkalk 2 (muW2)	18
2.1.1.5 Horizont der Terebratelbänke (muT)	20
2.1.1.6 Wellenkalk 3 (muW3) einschließlich des Bereichs der Schaumkalkbänke (muS)	23
2.1.2 Zur Sedimentation und Faziesentwicklung	24
2.1.2.1 Tempestite	25
2.1.2.2 Trockenrisse	25
2.1.2.3 Sedimentationszyklen	27
2.1.3 Vergleich zwischen der Ausbildung des Unteren Muschelkalks im Arbeitsgebiet und in SE- Niedersachsen	28
2.1.4 Ausbildung des Unteren Muschelkalks hinsichtlich der Gewinnung von Hartstein für den Straßenbau	32

^{*)} Anschrift des Verfassers: Dr. A. Langer, Niedersächsisches
Landesamt für Bodenforschung, Stilleweg 2, D-3000 Hannover 51

	<u>Seite</u>	
2.2	Mittlerer Muschelkalk (mm)	33
2.3	Oberer Muschelkalk (mo)	35
2.3.1	Aufschlußbohrungen	37
2.3.2	Encrinus-Schichten (mo1)	38
2.3.2.1	Gelbe Basisschichten (mo1 GB)	39
2.3.2.2	Haupt-Trochitenkalk (mo1 HT)	40
2.3.3	Ceratiten-Schichten (mo2)	41
2.3.3.1	Tonplatten (mo2 TP)	41
2.3.3.2	Terebratelkalk (mo2 TK)	42
2.3.3.3	Dolomitische Grenz-Schichten (mo2 DG)	44
2.3.4	Regionale Verbreitung und Ausbildung der Abbauhorizonte im Oberen Muschelkalk	44
3	TECHNOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	48
3.1	Probenahme und Probenvorbereitung	49
3.2	Petrographische Untersuchungen des Probenmaterials	53
3.2.1	Karbonatgesteine des Unteren Muschelkalks (muK, muO)	54
3.2.2	Karbonatgesteine der Gelben Basisschichten (mo1 GB)	55
3.2.3	Karbonatgesteine des Haupt-Trochitenkalks (mo1 HT)	55
3.2.4	Karbonatgesteine des Terebratelkalks (mo2 TK)	57
3.2.5	Karbonatgesteine des Mittel-Kimmeridge (joKI)	58
3.2.6	Spezielle Aspekte der Dolomitverwitterung	59
3.3	Versuchsdurchführungen und Ergebnisse	62
3.3.1	Bestimmungen der Rohdichte (TP Min-StB, Teil 3.2.1/2)	62
3.3.2	Bestimmungen der Wasseraufnahme (DIN 52 103) und des Sättigungswertes (DIN 52 113)	63
3.3.3	Frost-Tauwechselfersuche (DIN 52 104, Teil 1, Verf. N)	65
3.3.4	Schlagversuche an Splitt (TP Min-StB, Teil 5.2.1.4)	68
3.3.5	Untersuchungen an Brechsanden (nach VOGLER 1986)	72
3.3.5.1	Durchführung der Setzungsversuche	72
3.3.5.2	Ergebnisse der Setzungsversuche	74
3.3.5.3	Durchführung der Schüttelversuche	74
3.3.5.4	Ergebnisse der Schüttelversuche	76
3.3.5.5	Diskussion der Versuchsergebnisse	77
3.4	Statistische Verfahren	80
3.5	Korrelationsanalyse	80
3.6	Entnahme und Untersuchung einer Großprobe aus dem Unteren Muschelkalk	83
4	GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN	84
4.1	Methodik	84
4.2	Die geochemischen Hauptbestandteile der Gesteine des Unteren und Mittleren Muschelkalks	85

		<u>Seite</u>
4.3	Spurenelemente	89
4.3.1	Strontium und Barium	90
4.3.2	Übrige Spurenelemente	93
4.4	Industrielle Verwendbarkeit der Gesteine des Muschelkalks aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung	94
5	ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN UNTERSUCHUNGS- ERGEBNISSE IM HINBLICK AUF DIE WIRTSCHAFTLICHEN NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN DES MUSCHELKALKS IM RAUM OSNABRÜCK	96
6	ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN	101
7	ÜBERSICHT ÜBER ABBILDUNGEN, TABELLEN UND TAFELN	111
8	ANHANG (Abb. 16, Tab. 5 - 22)	114

0 KURZFASSUNG

Im niedersächsischen Teil des Osnabrücker Berglands wurde der Muschelkalk lithostratigraphisch untersucht und sein Gesteinsinventar im Hinblick auf dessen Eignung für die Herstellung von Straßenbaumaterial sowie andere Nutzungsmöglichkeiten überprüft. Die methodischen Schwerpunkte lagen bei der Aufschluß-Bearbeitung, der Ermittlung technologischer Kennwerte nach den einschlägigen Prüfvorschriften für Straßenbaustoffe und der Bestimmung der durchschnittlichen geochemischen Zusammensetzung von Teilschichtfolgen mittels RFA-Analysen.

Durch geologische Aufnahme und Korrelation von zahlreichen Tagesaufschlüssen und zwei Kernbohrungen gelang es, eine detaillierte lithostratigraphische Regionalgliederung des ca. 80 m mächtigen Unteren Muschelkalks für den Raum Osnabrück zu erarbeiten. Eine von DUCHROW & GROETZNER (1984) publizierte lithostratigraphische Gliederung des Oberen Muschelkalks (ca. 60 m mächtig) im Arbeitsgebiet erwies sich als nachvollziehbar und wird auch in Gamma-Ray-Logs aus Bohrungen deutlich. Die Interpretation der geologischen Befunde ergab, daß die lithofaziellen Voraussetzungen für den Hartsteinabbau im Oberen Muschelkalk am günstigsten im Raum SW Osnabrücks sind.

Nach den Ergebnissen der technologischen Untersuchungen sind nicht nur die zur Zeit bereits im Abbau stehenden, dickbankigen, sehr karbonatreichen Einschaltungen in den Oberen Muschelkalk (Haupt-Trochitenkalk, Terebratelkalk) für die Herstellung von Straßenbaumaterial geeignet, sondern mit einigen Einschränkungen auch der hierfür bisher nicht genutzte Untere Muschelkalk und die Gelben Basisschichten (Oberer Muschelkalk). Der Abbau und Einsatz dieses Gesteinsmaterials im Straßen- und Wegebau kann einen wichtigen Beitrag zur Streckung der nur noch geringen Vorräte an hochwertigem Kalkstein liefern.

Die Gesteine des Unteren Muschelkalks und der Gelben Basisschichten (Oberer Muschelkalk) sind darüber hinaus aufgrund ihrer geochemischen Zusammensetzung ein gutes Rohmaterial für die Herstellung von "Kohlensaurem Kalk" und "Kohlensaurem Magnesiumkalk". Diese Produkte werden in zunehmendem Maße in der Forst- und Landwirtschaft eingesetzt, um durch saure Niederschläge hervorgerufene Vegetationsschäden zu begrenzen.

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Beruhend auf geologischen, technologischen und geochemischen Untersuchungen soll die vorliegende Arbeit Hinweise auf die industrielle Verwertbarkeit der Gesteine des Muschelkalks im Osnabrücker Raum liefern. Der größte Teil der Untersuchungen erfolgte im Rahmen eines Forschungsvorhabens mit dem Titel "Untersuchung der bisher nicht genutzten Hartgesteine im Osnabrücker Bergland

zur Sicherstellung der regionalen Versorgung mit Straßenbaustoffen", für das d. Verf. als verantwortlicher Sachbearbeiter beim Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Hannover eingestellt war.

Naturstein für den Hoch- und Straßenbau wird im Osnabrücker Bergland seit vielen Jahrhunderten abgebaut. In heutiger Zeit ist der silifizierte Karbonsandstein vom Piesberg, der am Nordrand der Stadt Osnabrück in einem der größten Hartsteinbrüche Mitteleuropas gewonnen wird, nach Qualität und Quantität von herausragender, überregionaler Bedeutung. Das hochwertige Gestein eignet sich besonders gut für die Verwendung im Straßenbau, als Betonzuschlagstoff und aufgrund seiner Frost- und Seewasserbeständigkeit für den Wasserbau und Küstenschutz. Außerdem wurden früher, abhängig vom regionalen Vorkommen, andere Gesteinstypen genutzt, wobei die weit verbreitet auftretenden Karbonatgesteine aus dem Muschelkalk bevorzugt in der unmittelbaren Umgebung von Osnabrück für den Hausbau Verwendung fanden. Der z. T. auffällig gelblich verwitternde, etwas dolomitische Kalkstein aus dem Unteren Muschelkalk prägt beispielsweise auch heute noch das Bild der Altstadt von Osnabrück, da viele historische Gebäude einschließlich der mittelalterlichen Stadtbefestigung aus diesem Material errichtet sind.

Sämtliche Abbaustellen im Unteren Muschelkalk liegen inzwischen still und sind meist verfüllt. Karbonatreiche Partien des Oberen Muschelkalks (Trochitenkalk, Terebratelkalk) werden zur Zeit noch für die Herstellung von hochwertigen Straßenbaustoffen in drei Steinbrüchen abgebaut. Angesichts der in den nächsten Jahren voraussichtlich erschöpften, derzeitigen bekannten Lagerstätten wurde die vorliegende systematische Untersuchung der Muschelkalkvorkommen im niedersächsischen Teil des Osnabrücker Berglandes (vgl. Abb. 1, 16) durchgeführt. Ihr Schwerpunkt sind die Nutzungsmöglichkeiten der Gesteine für den Straßenbau. Die Untersuchungen sollten dabei nicht ausschließlich auf die erfahrungsgemäß qualitativ guten Gesteinspartien im Oberen Muschelkalk beschränkt bleiben, sondern auch den zur Zeit nicht genutzten Unteren Muschelkalk einbeziehen.

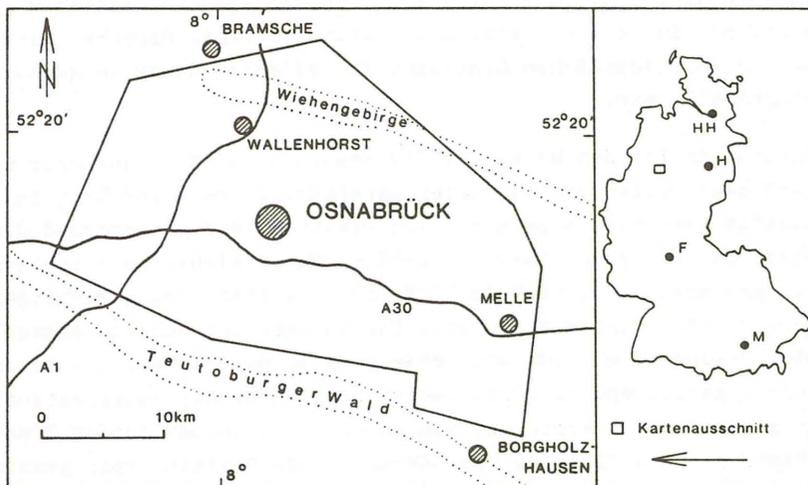


Abb. 1: Lage des Arbeitsgebietes (vgl. auch Abb. 16)

Zur Erfassung des Gesteinsinventars und seiner lateralen, faziel-
len Veränderungen waren umfangreiche Geländearbeiten einschließ-
lich Aufschlußbohrungen erforderlich. Der Untere Muschelkalk
mußte dabei aufgrund bisher nur lückenhafter stratigraphischer
und petrographischer Kenntnisse grundlegend neu bearbeitet und
gegliedert werden.

Parallel dazu wurden die verschiedenen Karbonatgesteine auf ihre
mögliche Eignung für den qualifizierten Straßenbau durch
einschlägige technologische Untersuchungen überprüft. Kalkstein
ist aber nicht nur ein Rohstoff für Straßenbaustoffe, sondern
beispielsweise auch Grundstoff für die Zementindustrie und ge-
winnt im Zusammenhang mit sauren Niederschlägen stark an
Bedeutung als Dünger in der Land- und Forstwirtschaft. Diese
Nutzungsmöglichkeiten hängen von der chemischen Zusammensetzung
des Gesteinsmaterials ab. Deshalb erfolgte eine Probenentnahme
aus Bohrkernen für geochemische Analysen mit Schwerpunkt auf dem
Unteren Muschelkalk.

In zunehmendem Maße wird die Gewinnung oberflächennaher Rohstoffe durch konkurrierende Nutzungsansprüche, wie zum Beispiel Naturschutz, Grundwasserschutz und Bebauung, eingeschränkt oder ausgeschlossen. Da die Erteilung einer Abbaugenehmigung von diesen sich teilweise überlagernden Nutzungsansprüchen abhängt, wurden sie im Rahmen des oben genannten Forschungsvorhabens detailliert erfaßt und in Verbindung mit einer Kurzbeschreibung der einzelnen Vorkommen des Oberen Muschelkalks dokumentiert (LANGER 1988).

Danksagung:

Einen wesentlichen Teil der Untersuchungsergebnisse konnte ich im Rahmen eines vom Niedersächsischen Minister für Wirtschaft, Technologie und Verkehr finanziell geförderten Forschungsvorhabens (Lottomittel) mit dem Titel "Untersuchung der bisher nicht genutzten Hartgesteine im Osnabrücker Bergland zur Sicherstellung der regionalen Versorgung mit Straßenbaustoffen" erarbeiten. Mein ganz besonderer Dank gilt daher dem Antragsteller dieses Projekts, Herrn Dir. und Prof. Dr. V. STEIN, sowie den Herren Dir. und Prof. Dr. J. D. BECKER-PLATEN, Dipl.-Ing. E. HOFMEISTER und Dr. P. SIMON (alle U.-Abt. N 3.1 des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung in Hannover), die durch Diskussionsbeiträge, Anregungen und Hinweise zum Gelingen der Arbeit wesentlich beigetragen haben.

Der Fa. WITTFELD in Wallenhorst bei Osnabrück verdanke ich die unentgeltliche Entnahme und Aufbereitung einer Großprobe für technologische Untersuchungen.

Herr Dr. H. VOGLER vom Geologischen Landesamt NRW in Krefeld untersuchte dankenswerterweise Brechsandproben mit von ihm neu entwickelten Methoden, die bisher nicht genormt sind.

Für die Überlassung des Themas und sein reges Interesse am Fortgang der Arbeit danke ich Herrn Prof. Dr. D. HENNINGSEN vom Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover.

Ferner möchte ich Herrn Dr. J.-P. GROETZNER (Inst. f. Geol. u. Paläont. Univ. Hannover) meinen Dank für wertvolle Diskussionen und die Durchsicht des Manuskripts aussprechen.

Gedankt sei schließlich allen nicht namentlich erwähnten Bekannten, Freunden und Kollegen, die mich durch vielerlei Hilfen unterstützten und auf diese Weise einen Beitrag zur vorliegenden Arbeit geleistet haben.

2 GEOLOGISCHE UND STRATIGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN DES MUSCHELKALKS IM OSNABRÜCKER BERGLAND

FRANTZEN & v. KOENEN (1889) und FRANTZEN (1889) veröffentlichten die ersten Profilaufnahmen aus dem Unteren Muschelkalk der Umgebung von Osnabrück. Neben weiteren, im fortlaufenden Text zitierten Autoren lieferten vor allem HAACK (1926), KLEINSORGE (1935), JUBITZ (1954) sowie in jüngster Zeit GROETZNER (1984) und DUCHROW & GROETZNER (1984) bedeutende Beiträge zur Erforschung des Muschelkalks in dieser Region. Darüber hinaus waren die Ergebnisse der Geologischen Landesaufnahme im Maßstab 1 : 25 000 (HAACK 1930, HAACK & DIENEMANN 1930, HAACK & POTONIÉ 1935, HINZE 1979, 1982, MESTWERDT 1930, THIERMANN 1983) die wichtigsten Grundlagen für die Geländearbeiten.

Wie in anderen Gebieten ist der Muschelkalk auch im Osnabrücker Bergland in die drei stratigraphischen Einheiten Unterer, Mittlerer und Oberer Muschelkalk gliederbar. Seine Gesteinsausbildung weist aber einige Abweichungen von der Normalentwicklung auf, da eine der Rheinischen Masse vorgelagerte Untiefenregion (Hunteschwelle) die Sedimentation im Arbeitsgebiet geprägt hat (ROSENFELD 1978).

2.1 Unterer Muschelkalk (mu)

Verglichen mit dem östlich gelegenen niedersächsisch - ostwestfälischen Bergland ist die Gliederung des zur Zeit nicht im Abbau stehenden, circa 80 m mächtigen Unteren Muschelkalks im Osnabrücker Bergland unvollständig und bisher wenig befriedigend (vgl. z.B. GROETZNER 1984). Die sonst in NW-Deutschland typisch ausgebildeten karbonatreichen Leithorizonte sind im Osnabrücker Raum lediglich geringmächtig entwickelt oder fehlen völlig. Auffällig gelblich verwitternder, ebenplattiger Kalkstein und Kalkmergelstein tritt hingegen in ungewöhnlich großer Mächtigkeit und Häufigkeit auf (vgl. HAACK 1926). Auch geologische Kartierungen neueren Datums (z.B. BEERBAUM 1973, HINZE 1979, 1982, THIERMANN 1983) brachten kaum neue Erkenntnisse zur Gliederung des Unteren

Muschelkalks und seines Gesteinsinventars.

Im Hinblick auf die Untersuchung der potentiellen Nutzungsmöglichkeiten dieser Gesteinsserie im Arbeitsgebiet war daher ihre eingehende geologische Neubearbeitung mit dem Ziel einer wenigstens regional gültigen Gliederung unumgänglich.

STEIN (1966, 1968) und SCHULZ (1972) zeigten beispielhaft für SE-Niedersachsen, N-Hessen und E-Westfalen, daß die feinstratigraphische Aufnahme von Tagesaufschlüssen und Bohrungen eine sehr differenzierte, lithostratigraphische Gliederung des Unteren Muschelkalks und die sichere Einstufung auch von kurzen Teilprofilen ermöglicht. Besonders die Registrierung der unterschiedlichen Verwitterungsbeständigkeit aufgrund wechselnder Ton-Siltgehalte der Karbonatgesteine hat sich hier in Kombination mit der Erfassung weiterer petrographischer Merkmale (z.B. Schichtung, Schill- und Geröllführung, Farbe etc.) als sehr sinnvoll herausgestellt.

Unter Anwendung der von STEIN (1966, 1968) erläuterten und diskutierten Methodik wurden zahlreiche Aufschlüsse und zwei Kernbohrungen in der weiteren Umgebung von Osnabrück bearbeitet. Dabei zeigte sich bereits bald, daß auch der Untere Muschelkalk des Osnabrücker Berglandes detaillierter als bisher gegliedert werden kann.

Die folgenden, bei der geologischen Landesaufnahme von Niedersachsen verwendeten Gliederungseinheiten von STEIN (1966, 1968) werden hier übernommen, obwohl dies aufgrund einer bisher fehlenden Neubearbeitung der Schichtfolge des Unteren Muschelkalks zwischen Bielefeld und Borgholzhausen nur mit zum Teil erheblichen Vorbehalten möglich ist (vgl. 2.1.3):

Mittlerer Muschelkalk (mm)

Bereich der Schaumkalkbänke (muS)
 Wellenkalk 3 (muW3)
Horizont der Terebratelbänke (muT)
 Wellenkalk 2 (muW2)
Horizont der Oolithbänke (muO)
 Wellenkalk 1 (muW1)
Bereich der Basiskonglomeratbänke (muK)

Oberer Buntsandstein (Röt)

Eine feinere Untergliederung erfolgte mit Kleinbuchstaben, weil die Horizonte 1-20 (STEIN 1966, 1968) nicht mit der notwendigen Sicherheit nachgewiesen werden konnten. Der lithologische Aufbau und die stratigraphische Einstufung zahlreicher Profile ist in den Tafeln I und II detailliert dargestellt.

Im Gelände bewährte sich die folgende Einteilung der Schichtungsabstände in Verbindung mit dem Zusatz "ebenflächig" bzw. "unebenflächig":

bankig	> 8 cm
dickplattig	ca. 4 - 8 cm
mittelpplattig	ca. 1,5 - 4 cm
dünnplattig	ca. 0,5 - 1,5 cm
feinschichtig	< 0,5 cm

Eine weitergehende Differenzierung der unebenflächigen Gefüge in knauerig, linsig, flaserig oder wellig erwies sich als wenig sinnvoll und für die Profilkorrelationen eher hinderlich. Bereits die auf das Wesentliche reduzierte Ansprache der Gefügemerkmale, wie auch die Erfassung der relativen Festigkeitsunterschiede durch wechselnde Karbonatgehalte, sind nicht frei von subjektiven Fehlern und Unsicherheiten bei der Profilaufnahme. Den Aufschlußverhältnissen und dem Verwitterungszustand der anstehenden Gesteine kommt hier eine wichtige Bedeutung zu. So können beispielsweise scheinbar massive Bänke unter zunehmendem Verwitterungseinfluß an zunächst kaum erkennbaren, dünnen Schichtfugen plattig aufspalten und zerfallen. Als besonders problematisch erwies sich die Ansprache des lediglich an Klufflächen stellenweise angewitterten Gesteinsmaterials aus den beiden Kernbohrungen (B 1, Hollage und B 2, Schleddehausen), das darüber hinaus bei der B 2 aufgrund von Kernverlusten unvollständig war. Die Zuordnungen sind daher bei dieser Bohrung in einigen Bereichen nicht immer zweifelsfrei.

Das Gesteinsinventar des Unteren Muschelkalks besteht ganz

überwiegend aus feinkristallinem, tonigen Kalkstein und Kalkmergelstein^{*)}. CaO- und MgO-Werte aus Röntgenfluoreszenz-Analysen ergeben umgerechnet zwischen 70 und 90 Gew.-% Gesamtkarbonat (vgl. a. Nebensäulen Prof. B 2 u. B 3, Taf. I u. II). In erster Näherung gilt, daß zunehmend enger werdende Schichtung auch mit einer Abnahme des Karbonatgehaltes einhergeht, doch muß dies nicht in jedem Fall zutreffen. Da im Gelände weder der meist unter 20 Gew.-% liegende Dolomitgehalt noch der exakte Nichtkarbonatanteil erfaßbar ist, sondern nur ein relativer Festigkeitsunterschied, werden die genau definierten Gesteinsbezeichnungen in der Legende zu den Tafeln nicht verwendet. Feste, CaCO₃-reichere Gesteine sind im Text als Kalkstein ohne den Zusatz "tonig" bezeichnet.

Kalkstein im engeren Sinn (> 90 Gew.-% CaCO₃) bleibt im Unteren Muschelkalk auf vereinzelte, in der Regel unter 1 dm dicke, grobkristalline Bruchschill-Einschaltungen beschränkt. Diese sind ab einer Mächtigkeit von 5 cm in den Profildarstellungen (Tafel I u. II) berücksichtigt und setzen sich im wesentlichen aus unterschiedlich stark aufgearbeitetem Bruchschill von Bivalven und Gastropoden zusammen. Häufig sind Schillkomponenten verwitterungsbedingt herausgelöst und die verbleibenden Hohlräume mit braunem Mulm gefüllt, der nach einer Röntgendiffraktometer-Aufnahme aus Goethit besteht. Einige Bruchschillbänke enthalten vereinzelte Trochiten und nicht selten mehr oder weniger gut kantengerundete, plattige, vorwiegend braun anwitternde Gerölle, bestehend aus dem gleichen Material wie die darunter liegende, meist erosiv angeschnittene Schicht. Im Profil 15 (Grambergen, Top muK) war erkennbar, daß derartige, im Text als Intraklasten bezeichneten Komponenten durch Korrosion von Hartgründen ent-

*) Sämtliche, im nachfolgenden Text und in den Anlagen beschriebenen Gesteinstypen sind entsprechend den Nomenklaturregeln von FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977: Abb. 2-1) benannt. Nach FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977: 276) bedeutet feinkristallin, im Gegensatz zu grobkristallin, daß Kristalle mit bloßem Auge nicht mehr erkennbar sind. Partikelkalkstein wird als Sammelbegriff für Kalksteine verwendet, die vorwiegend aus verschiedenen Partikeln (Schill, Ooide, Trochiten etc.) zusammengesetzt sind (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977: 350).

stehen können und in diesem konkreten Fall als Brekzie auf der verkarsteten Unterlage nahezu "in situ" sedimentiert wurden.

Eine erheblich intensivere Aufbereitung und Umlagerung, besonders der organischen Hartteile, dokumentieren runde und längliche Schillkörner im mm-Bereich, die, allerdings nur vereinzelt, zusätzlich einen konzentrischen Schalenbau aufweisen und dann als Ooide anzusprechen sind. Daneben treten in dünnen Lagen und Schlieren (cm-Bereich) überwiegend braun anwitternde Peloiden (max. \varnothing ca. 2mm) auf, die vermutlich den Pseudoooiden von SCHÜLLER (1967) entsprechen, doch wurden keine Dünnschliffuntersuchungen durchgeführt, um diese Geländebefunde zu präzisieren. Der Komponentengehalt und die Zusammensetzung der Bruchschillbänke variiert nicht selten auf eine laterale Entfernung von nur wenigen Metern ganz erheblich. Dies trifft vor allem für dünne Grobschilllagen zu, die häufig bereits in einem Aufschluß auskeilen und unweit davon im gleichen Niveau wieder einsetzen.

In der einschlägigen Literatur über den Unteren Muschelkalk sind die Begriffe "Gelbkalk" und "Wellenkalk" gebräuchlich, die auch in den folgenden Ausführungen Verwendung finden und deshalb einer Definition bedürfen.

Unverwittert besteht der sogenannte Gelbkalk in Bohrungen vorwiegend aus Dolomit, ist fossilfrei, grau und z.T. im mm-Bereich ebenflächig geschichtet. In Verwitterungsprofilen zeichnet er sich hingegen durch seine sehr intensive, durchgehend braun-gelbe bis eigelbe Färbung, einen hohen Kalkgehalt, meist fehlende Schichtung und deutlich erhöhte Porosität aus. Ursache für die Veränderung der Gesteinsfarbe, des Mineralbestandes und des Gefüges ist die Verdrängung von Dolomit durch Calcit beim Verwitterungsprozeß. Diese sogenannte Dedolomitisierung wird im Abschnitt 3.2.6 näher betrachtet und diskutiert (vgl. a. PAUL & FRANKE 1977, SCHÜLLER 1967). Stellenweise zu beobachtende, mit Calcit ausgekleidete, drusige Hohlräume sind nach JUBITZ (1958) mit der Herauslösung von Gipsknollen erklärbar.

Es muß eingeräumt werden, daß fließende Übergänge zwischen Gelbkalk und braun oder gelb anwitternden Gesteinen eine klare Abgrenzung stellenweise ausschließen. Für gleichartige Gesteine,

die zwar zum Teil die oben genannten Kennzeichen aufweisen, aber in anderen stratigraphischen Niveaus auftreten (z.B. Gelbe Basis-schichten, mol GB), wird die Bezeichnung Gelbkalk vermieden.

Der Wellenkalk als Gesteinstyp besteht aus vorwiegend mittelgrauem, dünnplattigem, unebenflächigem, fast immer stärker bioturbattem Kalkstein mit mm-dünnen Mergelstein-Zwischenlagen, die speziell im Osnabrücker Raum auf nahezu mergelfreie Fugen reduziert sein können. Darüber hinaus gibt es aber auch die stratigraphische Bedeutung des Begriffs Wellenkalk. So werden bei der Gliederung des Unteren Muschelkalks drei lithostratigraphische Einheiten (Wellenkalk 1-3, s.o) abgegrenzt, deren Gesteinsinventar keineswegs immer durch einen dominierenden Anteil an Wellenkalk im engeren Sinn gekennzeichnet ist.

2.1.1 Schichtaufbau

2.1.1.1 Grenzbereich Oberer Buntsandstein/Unterer Muschelkalk und Bereich der Basiskonglomeratbänke (muK)

Der sogenannte Basisgelbkalk als Grenzbank zwischen Oberem Buntsandstein (Röt) und Unteren Muschelkalk ist auch im Osnabrücker Raum ausgebildet und wird hier in Anlehnung an GROETZNER (1984) dem Unteren Muschelkalk zugerechnet. Das höchste Röt (Röt 4 sensu HINZE 1967) wurde nur durch die beiden Kernbohrungen B 2 Schleddehausen (13 m Röt 4, 11,4 m muK) und B 3 Hollage (8 m Röt 4, 11 m muK) aufgeschlossen.

Unter dem Basisgelbkalk der Bohrung B 2 folgen (vom Hangenden zum Liegenden) zunächst ca. 3,5 m grauer und hellgrauer, im mm-Bereich eben geschichteter Dolomitmergelstein mit etwas Gips und Cölestin in vereinzelt dünnen Klüftchen, sowie darunter ca. 7 m überwiegend grauer, dolomitischer Tonmergelstein, der in Richtung auf das Liegende zunehmend grau-oliv und rot-violett gebändert ist. Mit scharfer Grenze schließt sich rotbrauner, etwas grünfleckiger, z.T. karbonathaltiger Ton-Siltstein mit mehreren, wenige mm - dicken, verkieselten Feinsandlagen an. Die Schichtabfolge in der Bohrung B 3 ist sehr ähnlich, doch treten hier be-

reits 2 m unterhalb der Muschelkalkbasis die ersten blaßroten Lagen im sonst hellgrauen Dolomitmergelstein auf. Vor dem Erreichen des Ton-Siltsteins mit der intensiven Rotfärbung wurde diese Bohrung aber eingestellt.

Der markante Basisgelbkalk weist Mächtigkeiten von 1 - 1,5 m auf und ist deutlich karbonatreicher als die blaßgelb anwitternden Dolomitmergel des höchsten Röt 4. Über dem basalen Gelbkalk setzt in allen Profilen eine feste, überwiegend ebenplattige bis bankige Kalksteinfolge mit zahlreichen, z.T. intraklastenführenden Bruchschillagen ein. Stellenweise liegt unmittelbar auf dem Gelbkalk eine Konglomeratbank (Prof. 15 Grambergen, 20 Krevinghausen), die Gelbkalkgerölle aus dem Liegenden führt. Auch für die anderen Aufarbeitungshorizonte gilt, daß die bis zu 10 cm langen, meist plattigen, selten gut gerundeten Intraklasten aus dem gleichen Gesteinsmaterial wie das Liegende bestehen. In Richtung auf das Hangende schaltet sich zunehmend unebenflächiger, dünnplattiger und bioturbater Kalkstein vom Wellenkalktypus ein.

Der einschließlich Basisgelbkalk ca. 10 - 12 m mächtige Bereich der Basiskonglomeratbänke wird zum überlagernden Wellenkalk 1 durch eine Konglomeratbank einschließlich der sie zum Teil begleitenden mittel- bis dickplattigen Kalksteinlagen begrenzt.

Zwei Profildarstellungen von GROETZNER (1984: Abb. 2), die auf Aufnahmen von HINZE (1979) und JUBITZ (1952) beruhen und ebenfalls den Grenzbereich Oberer Buntsandstein/Unterer Muschelkalk umfassen, sind mit den eigenen Ergebnissen nur schwer in Einklang zu bringen. Nach GROETZNER treten intensiv rote Ton-Siltgesteine bereits 7 m (statt 11 m in der B 2) unter dem Basisgelbkalk auf. Über dem Basisgelbkalk folgt dann ca. 4.5 m gelber und grauer Mergelstein, den GROETZNER (1984) bereits in den Unteren Muschelkalk stellt, ebenso wie den hangenden, ca. 6 m mächtigen, dickplattigen, gelben (?) Kalkstein mit einer Konglomeratbank an der Basis. Obwohl dieser Profilbereich an der Bundesstraße 68 (GROETZNER 1984: Abb. 2) nicht mehr vollständig aufgeschlossen ist, scheint die Grenzziehung Muschelkalk/Röt ca. 1 m unter der Konglomeratlage angebracht zu sein. Dies ließe sich gut mit den eigenen Befunden und einem Profil von HAACK (1926: 173) vereinba-

ren, der unter dem Basisgelbkalk zunächst ebenfalls fast 12 m gelblich-graue und darunter rote Mergel antraf.

2.1.1.2 Wellenkalk 1 (muW1)

In diesem knapp 20 m mächtigen Abschnitt des Unteren Muschelkalks herrscht dünnplattiger, z.T. feinschichtiger Kalkstein vor, der meist unebenflächig und stark bioturbat ist. An der Bundesstraße 68 (Prof. 4) ist im unteren Drittel des Wellenkalks 1 (Basis muW 1b) inmitten einer etwas karbonatreicheren Gesteinsfolge eine intensiv ockergelb gefärbte, 0,1 m mächtige Kalksteinbank (Gelbkalk) mit erosiver Basis und vereinzelt, hellgrauen Intraklasten aufgeschlossen. In diesem Bereich ist bei den Profilen 18 (Spelhof), 13 (Holte) und 15 (Grambergen) etwas festerer, mittelplattiger Kalkstein anzutreffen, aber kein Gelbkalk.

Wenige m darüber folgt in den Profilen B 3 (KB Hollage), 18 (Spelhof), 4 (Bundesstraße 68), 12 (Eistruper Berg), 13 (Holte) eine sehr charakteristisch ausgebildete, weit verbreitete Konglomeratbank (Basis muW1c) mit geringem bis fehlendem Bruchschillgehalt und auffällig dünnplattigen, meist bräunlichen Intraklasten. Sie bestehen aus etwas dolomitischen und stark mergeligen, feinschichtigen, teilweise braun-gelb anwitternden Karbonatgesteinen, die im Liegenden der Konglomeratbank im gesamten Arbeitsgebiet vorkommen. Diese stärker mergelige, feinschichtige Lithofazies tritt im Hangenden erneut auf und begrenzt den Wellenkalk 1 nach oben häufig mit einem oder mehreren Trockenrißhorizonten und einem dünnen Gelbkalk (dm-Bereich).

Als Trockenrisse interpretierte Phänomene sind in verschiedenen Niveaus des Unteren Muschelkalks nachweisbar und werden unter 2.1.2.2 beschrieben und diskutiert.

2.1.1.3 Horizont der Oolithbänke (muO)

Der durch zahlreiche ehemalige Abbaustellen aufgeschlossene 4 bis knapp 6 m mächtige Horizont der Oolithbänke besteht vorwiegend aus festen, ebenschichtigen, bankigen Karbonatgesteinen, die in

der Vergangenheit als Werksteine für den Hausbau sehr geschätzt waren. Besonders gut zugänglich ist dieser Profilbereich am Westerberg (Prof. 3) in einem größeren Steinbruchsareal im NW des Stadtgebietes von Osnabrück, das vom Fachbereich Biologie der Universität als Botanischer Garten gestaltet wurde.

Der bis zu 1 m mächtige Basisbereich des Horizonts der Oolithbänke (muOa) ist durch besonders harten, bankigen und dickplattigen Kalkstein mit stellenweise mehreren, dünnen Bruchschillagen und grauen Gesteinsfarben gekennzeichnet. Er kann nicht in allen Profilen eindeutig zur darüber liegenden, lithologisch ähnlich ausgebildeten Gliederungseinheit (muOb) abgegrenzt werden. Allerdings fehlen im muOb Bruchschillagen weitgehend und es treten verstärkt diffuse, braun-gelbe Verwitterungsfarben auf, die bereits zu dem darüber liegenden, sehr markanten Gelbkalk (Basis des muOc) überleiten. Dieser Gelbkalk ist ausnahmslos bei sämtlichen Profilen im gleichen stratigraphischen Niveau ausgebildet. Über dem Gelbkalk folgen nicht weniger charakteristische, bis 0,15 m mächtige Bruchschillbänke, die aber lateral im Aufschluß teilweise oder sogar vollständig durch dichte, harte Kalksteinbänke vertreten werden können. In diesem höchsten Bereich des Horizonts der Oolithbänke, der von HAACK (1926: 174) als die "Untere Oolithbank" (vgl. SCHULZ 1972: Tab. 1) angesehen wurde, sind lokal auch bräunliche Gesteinsfarben zu beobachten. Aufgrund der eigenen Untersuchungsergebnisse kann der Einstufung von HAACK (1926) nicht gefolgt werden. Es ist naheliegender, den in den Tafeln als muOa bezeichneten Profilabschnitt mit der "Unteren Oolithbank" und die Bruchschill- und Kalksteinbänke über dem markanten Gelbkalk mit der "Oberen Oolithbank" zu parallelisieren.

2.1.1.4 Wellenkalk 2 (muW2)

Der Wellenkalk 2 erreicht eine Mächtigkeit von ca. 35 m und wurde in 5 Abschnitte (a - e) gegliedert. Hervorzuheben ist das in dieser Teilschichtfolge wiederholte Auftreten mächtiger Gelbkalklagen und braun-gelb anwitternder Bereiche, die fast immer stär-

ker mergelig, feinschichtig, sowie frei von Bruchschilleinschaltungen und Bioturbation sind.

An der Basis des Wellenkalk 2 über den höchsten Bruchschill- und Kalksteinbänken des Horizonts der Oolithbänke ist in unmittelbarer Nähe der Stadt Osnabrück ein sehr intensiv bioturbater Horizont (besonders im Prof. 3 Westerberg) ausgebildet. Auch bei den anderen Profilen sind Wühlgefüge in dieser Position verbreitet anzutreffen, die zum Hangenden mit dem Einsetzen ebenflächiger, bankiger und plattiger Karbonatgesteine stark zurücktreten. Der Tongehalt dieser Gesteine nimmt im höheren Teil des Wellenkalks 2a zu, ebenso wie dünnplattige, teils feinschichtige Gefüge und gelb-braune Verwitterungsfarben. Nach oben hin schalten sich zudem mehrere Gelbkalkhorizonte ein, von denen HAACK (1926: 175) ein Gelbkalkpaar mit grauem Zwischenmittel, das in den Darstellungen der Profile 3 (Westerberg), 4 (Bundesstraße 68) und 10 (Heller Berg) durch zahlreiche Drusen gekennzeichnet ist, in den höchsten Teil der "Oolithzone" (= $\mu 0$) stellte. Dieser stratigraphischen Zuordnung kann nicht zugestimmt werden (vgl. 2.1.1.3). In den anderen Profilen ist das Gelbkalkpaar nicht zu identifizieren.

Eine dem Wellenkalk 2a prinzipiell ähnliche Gesteinsabfolge weist der Wellenkalk 2b auf, in dem im Basisbereich graue, karbonatreiche und bioturbate Gesteine vorherrschen, die nach oben zunehmend toniger, dünnschichtiger und braun-gelb werden. Bruchschillbänkchen und Lagen mit fein zerriebenem Karbonatdetritus bleiben auf den tiefsten Teil des Wellenkalks 2b beschränkt und sind im Profil 8 (Holter Burg) besonders mächtig entwickelt.

Grundsätzlich gleichartig ist auch der Wellenkalk 2c aufgebaut, allerdings treten Wühlgefüge und Bruchschilllagen sogar an der Basis nur untergeordnet auf oder fehlen völlig. Der mächtige Gelbkalk, der den Wellenkalk 2c zum Hangenden hin abschließt, ist der höchste Gelbkalk im Wellenkalk 2 und liegt ca. 10 m unter dem Horizont der Terebratelbänke.

Über dem Gelbkalk des Wellenkalks 2c setzt der Wellenkalk 2d mit grauen, harten Kalksteinbänken und -platten ein, die in einer oder mehreren Lagen Intraklasten und Bruchschill führen können. Darüber folgt 3 - 4 m stark bioturbater Wellenkalk, der nach oben

zunehmend feinschichtig und mergelig wird.

Die vertikale Abfolge der Gesteinstypen im Wellenkalk 2d wiederholt sich im Wellenkalk 2e erneut, so daß in sämtlichen Profilen unter dem Horizont der Terebratelbänke knapp 2 m mächtige feinschichtig-flaserige, mergelige Karbonatgesteine anzutreffen sind, die lokal auch gelblich anwittern (z.B. Prof. 4 Bundesstraße 68) können, aber nach der vorangegangenen Definition (vgl. 2.1) nicht als Gelbkalk i.e.S. zu bezeichnen sind.

2.1.1.5 Horizont der Terebratelbänke (muT)

Im Osnabrücker Bergland wird eine spätig-kristalline, 0,45-0,9 m mächtige Schillkalksteinbank mit vereinzelt Schalenrümern von *Coenothyris vulgaris* als Vertretung des Horizonts der Terebratelbänke angesehen (GROETZNER 1984: 161). Die in SE-Niedersachsen ca. 7 m mächtige Gliederungseinheit unterscheidet sich in Mächtigkeit und Ausbildung ganz erheblich von dem im Osnabrücker Raum mit gleichem Namen belegten Horizont, so daß eine ausführlichere Beschreibung angebracht ist.

Nach HAACK (1926) folgt die "Terebratelbank" zwischen 11,2 und 20 m oberhalb der "Oolithzone", nach Profilaufnahmen von FRANTZEN (1888) beträgt dieser Abstand sogar nur 9,4 - 12,7 m. In deutlichem Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse der vorliegenden Neubearbeitung, nach der eine derartig markante Bank in allen Profilen, mit Ausnahme der Kernbohrung Schleddehausen (B2), erst mehr als 30 m über dem Horizont der Oolithbänke anzutreffen ist. Dabei ist zu bedenken, daß weder FRANTZEN (1888) noch HAACK (1926) zusammenhängende Profile aus Kernbohrungen oder das Profil 4 an der Bundesstraße 68 zur Verfügung standen. Als Hauptursachen für die abweichenden Mächtigkeitsangaben sind nicht erkannte Verwerfungen zwischen Teilprofilen und Verwechslungen der Terebratelbank mit den Schill- und Konglomeratbänken des Wellenkalks 2 zu vermuten. Darüber hinaus hat HAACK (1926) die obere Grenze des Horizonts der Oolithbänke ungefähr 6 m höher als in der hier vorgestellten Gliederung gezogen (vgl. 2.1.1.4).

Der Horizont der Terebratelbänke besteht in den Pro-

filen B3 (KB Hollage), 1 (Sportplatz Hollage) und 2 (Ruller Loh) aus nur einer 0,4 - 0,5 m mächtigen Kalksteinbank, die sich aus teils zerriebenem Bruchschill, flachen, kantengerundeten Intraklasten und kleinen Trochiten zusammensetzt. Südlich davon, in den Profilen 4 (Bundesstraße 68) und 7 (Werscher Berg), spaltet diese Bank in zwei Teilbänke mit prinzipiell gleicher Zusammensetzung auf, wobei die obere deutlich mächtiger ist. Auch am Silbersee südlich des Hügels sind zwei Bänke nachweisbar, allerdings nur im westlichen Teil der Westhälfte des Steinbruchs. Vereinfacht stehen dort vom Hangenden zum Liegenden in Höhe des Wasserspiegels an:

- 0,5 m harte Schillkalksteinbank mit plattigen Intraklasten besonders im Dachbereich
- 0,6 m fester, plattiger bis bankiger, teils bioturbater Kalkstein mit eingestreutem Bruchschill
- 0,2 m harte Kalksteinbank mit plattigen Intraklasten und Bruchschill

NIENHAUS (1953: Abb. 18) interpretierte diesen Befund als tektonisch bedingte Wiederholung der Terebratelbank, was aber bereits aufgrund der unterschiedlichen Mächtigkeit beider Bänke auszuschließen ist. Der Horizont der Terebratelbänke umfaßt demnach an dieser Stelle insgesamt 1,3 m. An der E-Wand des Mittelstückes zwischen den beiden Steinbrüchen (NIENHAUS 1953: Abb. 11 u. 16), an dem auch Profil 5 aufgenommen wurde, ist nur die obere Bank aufgeschlossen, die nahezu konkordant auf einem sehr markanten Gelbkalkhorizont liegt. An mehreren Stellen ist zweifelsfrei nachweisbar, daß die Abfolge hier durch eine im Aufschlußbereich nahezu schichtparallele, steilstehende Verwerfung gestört ist, wie sie für die Randstaffeln am S-Hügel typisch ist. Es muß noch einmal hervorgehoben werden, daß bei den Geländeaufnahmen im Arbeitsgebiet keine Hinweise auf einen mächtigen Gelbkalk unmitttelbar im Liegenden des Horizonts der Terebratelbänke gefunden wurden, sieht man von den lokal gelblich anwitternden Gesteinen am Top des Wellenkalk 2 ab (vgl. 2.1.1.4).

In der Kernbohrung Schledehausen (Prof. B 2) wurde keine dem

Horizont der Terebratelbänke zuzuordnende Bruchschillbank erbohrt. Dies könnte mit einer Verwerfung oder dem in diesem Niveau verstärkt auftretenden Kernverlust erklärt werden. Wahrscheinlicher ist aber eine im Vergleich zum übrigen Arbeitsgebiet abweichende lithofazielle Entwicklung des höheren Unteren Muschelkalks im Raum Schleddehausen. Dafür spricht, daß HINZE (1982: 15) bei der geologischen Neuaufnahme der GK 3615 (Bohmte), deren südliche Blattgrenze nur ca. 0,5 km nördlich der Bohrung B 2 verläuft, die auf dem westlichen Anschlußblatt (3614, Wallenhorst) wiederholt beobachtete "fragliche Terebratelbank" nicht aufgefunden hat. Eigene, intensive Geländeuntersuchungen in der näheren Umgebung der Bohrung B 2 und auf Blatt Bohmte im zu erwartenden Ausstrichbereich des Horizonts der Terebratelbänke blieben ebenfalls erfolglos und stützen diesen Befund. Nach HAACK (1930: 18) ist die Terebratelbank auch östlich von Schleddehausen nirgends mit Sicherheit nachzuweisen. In einem kleinen, ehemaligen Steinbruch an der Umbiegung der Straße von Astrup nach Deitinghausen (R: 34 50 780, H: 57 95 380) ist aber eine mindestens 0,9 m mächtige, massive, harte Kalksteinbank mit eingestreutem, teils stark aufgearbeitetem Bruchschill, Intraklastenlagen und vereinzelt Crinoidenstielgliedern aufgeschlossen, die vermutlich in den Horizont der Terebratelbänke zu stellen ist. Dieser Bank, die HAACK (1930: 18) unbegründet in die "Oolithzone" einstuft, folgen zahlreiche kleine Pinggen nahe dem Ausstrich des Haupt-Trochitenkalks, der hier störungsbedingt auf mehr als 1 km Länge unmittelbar an den wahrscheinlich höheren Unteren Muschelkalk grenzt. Südöstlich von Osnabrück kann stellenweise eine (?) klotzige, weißgrau anwitternde, feinporöse intraklasten- und bruchschillführende Kalksteinbank aufgrund ihres Abstands zum Ausstrich des Mittleren Muschelkalks als Terebratelbank auskartiert werden. Sie ist im Bereich des Holter Sattels wenigstens 1,1 m (R: 34 44 100, H: 57 88 400) und am Eistruper Berg 0,5 m mächtig. Da aber weder das Hangende noch das Liegende dieser Bank aufgeschlossen war, ist ihre Einstufung durch Profile nicht belegbar.

2.1.1.6 Wellenkalk 3 (muW3) einschließlich des Bereichs der Schaumkalkbänke (muS)

Der Wellenkalk 3 (muW3) und der Bereich der Schaumkalkbänke (muS) werden zu einer Gliederungseinheit zusammengefaßt, da diese in SE-Niedersachsen, E-Westfalen und anderenorts durchführbare Differenzierung im Osnabrücker Raum nicht möglich ist (vgl. GROETZNER 1984: 163). Die Mächtigkeit dieses Profilbereichs unterliegt im Arbeitsgebiet starken, regionalen Schwankungen und wurde von HAACK (1926: 176) mit höchstens 7 - 10 m, von GROETZNER (1984) mit 12 - 15 m angegeben. Die Mindestmächtigkeiten stimmen nach den Geländeuntersuchungen mit den Angaben von HAACK (1926) überein, die größte festgestellte Mächtigkeit beträgt 20 m (Prof. 2 Ruller Loh).

In sämtlichen Profilen folgt im Hangenden des Horizonts der Terebratelbänke wenigstens 1 m ausgeprägt bioturbater Wellenkalk, am Silbersee (Prof. 5) sind es sogar 5 m. Darüber schließen sich vorwiegend bankige, dickplattige, stellenweise feinschichtig-flaserige Gesteine mit meist nur noch geringmächtigen Wellenkalk-Einschaltungen an. Obwohl Bruchschillbänke und Gelbkalkhorizonte keineswegs fehlen, ist aus den Profilen zu ersehen, daß eine lithostratigraphische Feingliederung zwischen dem Horizont der Terebratelbänke und Mittlerem Muschelkalk im Arbeitsgebiet bisher nicht möglich ist, sieht man von einigen deutlichen Parallelen im unteren Teil der Gesteinsabfolge am Ruller Loh und an der Bundesstraße 68 (Prof. 2 u. 4; Entfernung: 4 km) ab. Dies geht offenbar auf eine kleinregionale Faziesentwicklung im höchsten Unteren Muschelkalk zurück und führt dazu, daß die Grenze Unterer/Mittlerer Muschelkalk, die aus kartiertechnischen, praktischen Gründen über dem letzten, festeren CaCO_3 -reicheren Kalkstein des Unteren Muschelkalks gezogen wird (STEIN 1968: 827), nicht horizontbeständig ist. Ein ungestörtes Profil vorausgesetzt, sind beispielsweise an der Bundesstraße 68 (Prof. 4) bereits 13 m oberhalb des Horizonts der Terebratelbänke mehrere m gelber Dolomitmergelstein aufgeschlossen. Am Ruller Loh setzt diese für den Mittleren Muschelkalk typische Lithofazies erst 7 m höher ein.

Noch auffälliger wird diese Problematik bei den Profilen B 2 und B 3 der Kernbohrungen Schledehausen und Hollage, wo die Faziesgrenze zum Mittleren Muschelkalk offensichtlich noch tiefer liegt. Diese Abgrenzungen sind aber mit Fragezeichen versehen, da bei der Bohrung Schledehausen ein verwerfungsbedingter Schichtausfall, der auch das Fehlen des Horizonts der Terebratelbänke erklären könnte, nicht völlig auszuschließen ist (vgl. 2.1.1.5) und in der Bohrung Hollage lediglich 2 m Dolomitmergel am Top erbohrt wurden, die eventuell nur eine Gelbkalklage im Unteren Muschelkalk darstellen. Gegen den Schichtausfall sprechen aber die Ausführungen unter 2.1.1.5 und gegen eine Gelbkalkeinschaltung, daß die stärker tonhaltigen Gesteine des Mittleren Muschelkalks eine morphologisch mehr oder weniger deutliche Kartiergrenze ausbilden, deren Lage zum Ausstrich der Terebratelbank die in der Tafel I angedeutete Grenzziehung für den Raum Hollage wahrscheinlicher macht.

Die obere Begrenzung des Unteren Muschelkalks anhand des Dolomit- und Tongehaltes verläuft mithin nicht nur im Osnabrücker Bergland, sondern vermutlich auch in SE-Niedersachsen diachron (STEIN 1968: 827, vgl. a. BLOCH 1964: 573). DUCHROW & GROETZNER (1984) beschreiben eine vergleichbare, nicht horizontbeständige Faziesgrenze aus dem Oberen Muschelkalk (mo₂, Tonplatten/Dolomitische Grenz-Schichten) des Arbeitsgebietes.

2.1.2 Zur Sedimentation und Faziesentwicklung

Aufgrund der Zielsetzung vorliegender Arbeit kann an dieser Stelle keine detaillierte Erläuterung, Diskussion und Deutung der bei den Profilaufnahmen registrierten sedimentären, biogenen und diagenetischen Gefüge und Phänomäne erfolgen, die auch im Unteren Muschelkalk anderer Regionen in wechselnden Häufigkeitsverteilungen auftreten. Sie sind jeweils an die bereits unter 2.1 kurz beschriebenen Gesteinstypen gebunden. Stellvertretend für die Vielzahl der Publikationen, die sich mit der Sedimentologie und Fazies des Unteren Muschelkalks befassen, sind die Arbeiten von SCHWARZ (1970, 1975) zu nennen, die sehr ausführliche Literatur-

hinweise enthalten. Für das Arbeitsgebiet speziell sei auf die Untersuchungen von BEERBAUM (1973) hingewiesen.

2.1.2.1 Tempestite

Neuere Fazies-Interpretationen von Karbonatsedimenten, die sich vor allem in den letzten Jahren für den Oberen Muschelkalk durchgesetzt haben (z.B. AIGNER & FUTTERER 1978, AIGNER et al. 1978, AIGNER 1979, 1982, 1984, 1985, MEHL 1982, RÖHL 1986), können teilweise auf den Unteren Muschelkalk übertragen werden (vgl. DAHMER & HILBRECHT 1986, De BOORDER et al. 1985). So weist zum Beispiel auch die Mehrzahl der Bruchschillbänke im Arbeitsgebiet typische Merkmale von Sturmsedimenten (Tempestiten) auf. Weitgehend ideale Tempestit-Sequenzen (vgl. AIGNER 1982: Abb. 5) sind unter anderem im Profil 3 (Westerberg) über dem markanten Gelbkalk des Horizonts der Oolithbänke aufgeschlossen. Sie beginnen mit nach oben feiner werdendem Grobschill an der erosiven Basis und vereinzelt Intraklasten. Der darüber folgende feine Kalkdetritus weist stellenweise eine deutliche Schrägschichtung auf, die zum Hangenden schließlich in ebene Feinschichtung übergeht. Darüber folgt dann dünnplattiger, unebenschichtiger, bioturbater Kalkstein, in den sich die nächste Tempestit-Sequenz einschaltet. Die Mächtigkeit dieser keinesfalls immer vollständigen und sich mehrfach wiederholenden, gradierten Abfolgen liegt im dm- bis mehrere dm-Bereich. Sie sind vor allem an der Basis der unter 2.1.2.3 erläuterten Sedimentationszyklen zu beobachten, und ihre Häufigkeit nimmt in der Regel innerhalb der Zyklen von unten nach oben ab.

Turbidite kommen als Ursache für diese Gradierungen im Unteren Muschelkalk aufgrund fehlender "topographischer Voraussetzungen" (SCHWARZ 1970) nicht in Frage.

2.1.2.2 Trockenrisse

Mit dem Foto einer ausgedehnten, im verlassenen Steinbruch Hellerberg (Prof. 10) auch heute noch aufgeschlossenen Schichtfläche dokumentierte bereits WEGNER (1913: Abb. 59) das Vorkommen von Trockenrissen im Unteren Muschelkalk südwestlich von

Osnabrück. Darüber hinaus werden sie in der Literatur lediglich in der Profilbeschreibung zu diesem Aufschluß (HAACK & POTONIE 1935) und von BEERBAUM (1973) erwähnt. Die Neuaufnahme zahlreicher Profile führte zum Nachweis im Arbeitsgebiet weit verbreiteter Trockenriß-Horizonte im Dachbereich des Wellenkalks 1 und lokal in anderen stratigraphischen Niveaus des Unteren Muschelkalks (vgl. Taf. I u. II).

Auf einer Schichtfläche ordnen sich die meist cm-breiten Trockenrisse zu einem polygonalen Muster im dm- bis mehrere dm-Abstand an. Die von den Rissen begrenzten Kalksteinplatten sind an den Rändern ausnahmslos tellerartig aufgewölbt, was gegen subaquatisch gebildete Synärese-Risse spricht (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977: 77) und bei überkippter Lagerung oder isolierten Platten immer die Orientierung oben/unten erkennen läßt. Im Schnitt senkrecht zur Schichtung fällt auf, daß die von oben nach unten enger werdenden Spalten bis zu 2 dm tief in das Sediment hineinreichen, teilweise offen stehen oder vollständig mit grobspätigem, weißem Calcit sowie kleinen Sedimentfetzen gefüllt sind. Die Trockenrisse sind immer an Horizonte mit mm-dünner Feinschichtung sowie teils erhöhte Ton-/Silt- und Dolomitgehalte gebunden, wobei letztere meist als Gelbkalk anzusprechen sind (vgl. 2.1).

Identische Sedimentstrukturen wurden von De BOORDER et al. (1985) auch aus dem holländischen Muschelkalk bei Winterswijk im Grenzgebiet zu Nordrhein-Westfalen beschrieben und ebenfalls als Trockenrisse interpretiert. Nach den Dünnschliffuntersuchungen dieser Autoren ist die feine Lamination unter Mitwirkung von Algen entstanden (vgl. auch SCHWARZ 1970, 1975) und in den grobspätigen Rißfüllungen treten neben Cölestin und Fluorit häufig Sulfidminerale auf.

Das Ausmaß der Schichtlücken aufgrund von Sedimentationsunterbrechungen in Zeiten des Trockenfallens ist schwer abzuschätzen. Auffällig ist in diesem Zusammenhang jedoch, daß in den Profilabschnitten mit Gelbkalk- und Trockenrißhorizonten bereits auf kurze Entfernungen deutliche Mächtigkeitsschwankungen festzustellen sind. Dies ist beispielsweise im Wellenkalk 2a (muW2a) der Fall, wo bei den Profilen 3 (Westerberg) und 10 (Hellerberg) der Abstand von der Oberkante des "charakteristischen Gelbkalk-

paares" (HAACK 1926, vgl. 2.1.1.4) bis zur Basis der Gliederungseinheit Wellenkalk 2b (muW2b) circa 2,5 m, hingegen aber im Profil 4 (Bundesstraße 68) nur 1 m beträgt. Meßfehler oder Verwerfungen sind hier wegen der relativ guten Aufschlußverhältnisse weitgehend auszuschließen.

2.1.2.3 Sedimentationszyklen

Zahlreiche Bearbeiter (u.a. FIEGE 1938, JUBITZ 1958, SCHÜLLER 1967, SCHULZ 1972, SCHWARZ 1977) wiesen auf die zyklische Wiederholung verschiedener Gesteinstypen im Unteren Muschelkalk hin. Nach FIEGE (1938), SCHÜLLER (1967) und SCHULZ (1972) folgen im Ideal-Zyklus über grobkristallinen, teils konglomeratischen und schillführenden zunächst feinkristalline, ebenplattige Kalksteine, die von Wellenkalk, Mergelstein und schließlich dolomitischem Gelbkalk überlagert werden. Darüber setzt dann mit scharfer Grenze der nächste Zyklus ein. Bezogen auf den nach oben abnehmenden Kalkgehalt kann diese Abfolge auch als Sohlbankzyklus bezeichnet werden. Der Artenreichtum der Faunenreste nimmt in gleicher Richtung ab, und im Gelbkalk fehlen Fossilien völlig. Die Mächtigkeit der einzelnen, nur selten vollständig ausgebildeten Zyklen schwankt zwischen knapp 1 m und 10 m, wobei sie zu 80 % zwischen 2 und 6 m beträgt (FIEGE 1938). Unbestritten sind die den Unteren Muschelkalk aufbauenden Gesteine ausnahmslos als Flachwasserbildungen zu deuten, deren unterschiedliche Gefüge, Fossilführung und geochemisch-mineralogische Zusammensetzung im wesentlichen auf wechselnde hydrodynamische Bedingungen und Salzgehalte des Meerwassers zurückgehen (vgl. GROETZNER 1984: 163). Nach SCHULZ (1972) sind die Ursachen für die periodischen Faziesänderungen weniger in der Wassertiefe als in unterschiedlicher Intensität des Wasseraustausches zwischen dem Germanischen Becken und dem offenen Meer durch die Oberschlesische Pforte zu sehen. FIEGE (1938) und SCHÜLLER (1967) nahmen für die Zeit des Unteren Muschelkalks rhythmische, epirogene Hebungen und Senkungen des

gesamten Ablagerungsraumes an. Die Ausführungen von SCHWARZ (1977) belegen, daß ausgeprägte Sedimentationsrhythmen selbst in den vorwiegend detritisch beeinflussten extremen Randlagen des mu-Beckens in Luxemburg nicht fehlen.

Beim Betrachten der Tafeln I und II wird offensichtlich, daß eine sehr auffällige Zyklizität - im Gegensatz zur Ansicht BEERBAUMS (1973: 41) - trotz der paläogeographischen "Schwellenposition des Osnabrücker Raumes" auch im Unteren Muschelkalk des Arbeitsgebietes vorhanden ist und keineswegs auf N-Hessen, E-Westfalen und SE-Niedersachsen beschränkt bleibt. Gelbkalk, zum Teil in Kombination mit Trockenrissen, der als Endglied der Ideal-Zyklen angesehen wird, ist sogar sehr viel häufiger und mächtiger entwickelt als in oben genannten Regionen, wo er nur an der Muschelkalk-Basis, als Zwischenmittel im Horizont der Oolithbänke, stellenweise im Liegenden des Horizonts der Terebratelbänke und im Bereich der Schaumkalkbänke auftritt. Besonders im Wellenkalk 1 und 2 folgen mehrere, teils vollständige, zwischen 5 und 10 m mächtige Sohlbankzyklen übereinander und geben die Begrenzungen der lithostratigraphischen Gliederungseinheiten vor. Im Gegensatz zu SCHULZ (1972) erfolgten diese Grenzziehungen aber nicht ausschließlich auf der Grundlage der in einigen Profilabschnitten unvollständigen und daher nur unter Vorbehalten erkennbaren Zyklen, sondern immer an der Ober- und Unterkante markanter Gesteinsfolgen.

2.1.3 Vergleich zwischen der Ausbildung des Unteren Muschelkalks im Arbeitsgebiet und in SE-Niedersachsen

In Abb. 2 ist das Profil Hardeggen (ca. 15 Km NW von Göttingen) dem durch den Straßeneinschnitt der Bundesstraße 68 (vgl. Taf. I u. II: Prof. 4) freigelegten Profil am nordwestlichen Stadtrand von Osnabrück schematisch gegenübergestellt. Ausgehend vom Raum Hardeggen konnte STEIN (1966, 1968) zeigen, daß seine dort durchgeführte Gliederung des Unteren Muschelkalks auch im übrigen süd-

ostniedersächsischen Bergland Gültigkeit hat. SCHULZ (1972: Taf. 4) verglich das Profil von Hardeggen mit anderen Profilen durch den Unteren Muschelkalk vom Thüringer Wald im Süden bis nach Helmstedt im Norden. Für den Raum Osnabrück bietet sich der Straßeneinschnitt der Bundesstraße 68 für den Vergleich an, weil hier der größte Teil der Schichtfolge zusammenhängend aufgeschlossen ist. Die Darstellung dieses Profils von GROETZNER (1984: Abb. 1) beruht auf einer Profilaufnahme von HINZE aus dem Jahr 1976, als der Einschnitt nur unvollständig aufgeschlossen war. Sie konnte durch die Neuaufnahme wesentlich ergänzt werden.

Bei Nichtberücksichtigung einer nicht völlig auszu-schließenden Verwerfung im Grenzbereich zwischen Unterem und Mittleren Muschelkalk erreicht der Untere Muschelkalk an der Bundesstraße 68 eine Mächtigkeit von ca. 80 m. Diese Gesamtmächtigkeit liegt in der gleichen Größenordnung wie in den Bohrungen B 2 (Schledehausen) und B 3 (Hollage). Im Gebiet von Hardeggen umfaßt die Schichtfolge des Unteren Muschelkalks nach STEIN (1966, 1968) hingegen ca. 100 m. Die Mächtigkeiten der verschiedenen Gliederungseinheiten sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Übereinstimmend tritt in beiden Profilen an der Basis des Unteren Muschelkalks über einem Gelbkalkhorizont wiederholt dickplattiger und bankiger Kalkstein mit zum Teil intraklastenführenden Bruchschillagen auf. Der Gelbkalk ist an der Bundesstraße 68 z. Zt. nicht aufgeschlossen, doch ist er, wie im gesamten Arbeitsgebiet, auch hier vorhanden und durch Lesesteine max. 2 m unter der Aufschlußbasis nachzuweisen. Prinzipielle Ähnlichkeiten zwischen den Profilen in diesem als Bereich der Basiskonglomeratbänke zusammengefaßten Profilsabschnitt sind deutlich, auch wenn die einzelnen Bänke nicht sinnvoll miteinander korreliert werden können und (im Gegensatz zu Hardeggen) im Raum Osnabrück gelb-braun anwitternde Lagen vorkommen. Grundsätzlich gilt dies auch für den Bereich des im Hangenden anschließenden Wellenkalk 1, doch sind darüber hinaus an der Bundesstraße 68 zwei markante Trockenrißhorizonte aufgeschlossen.

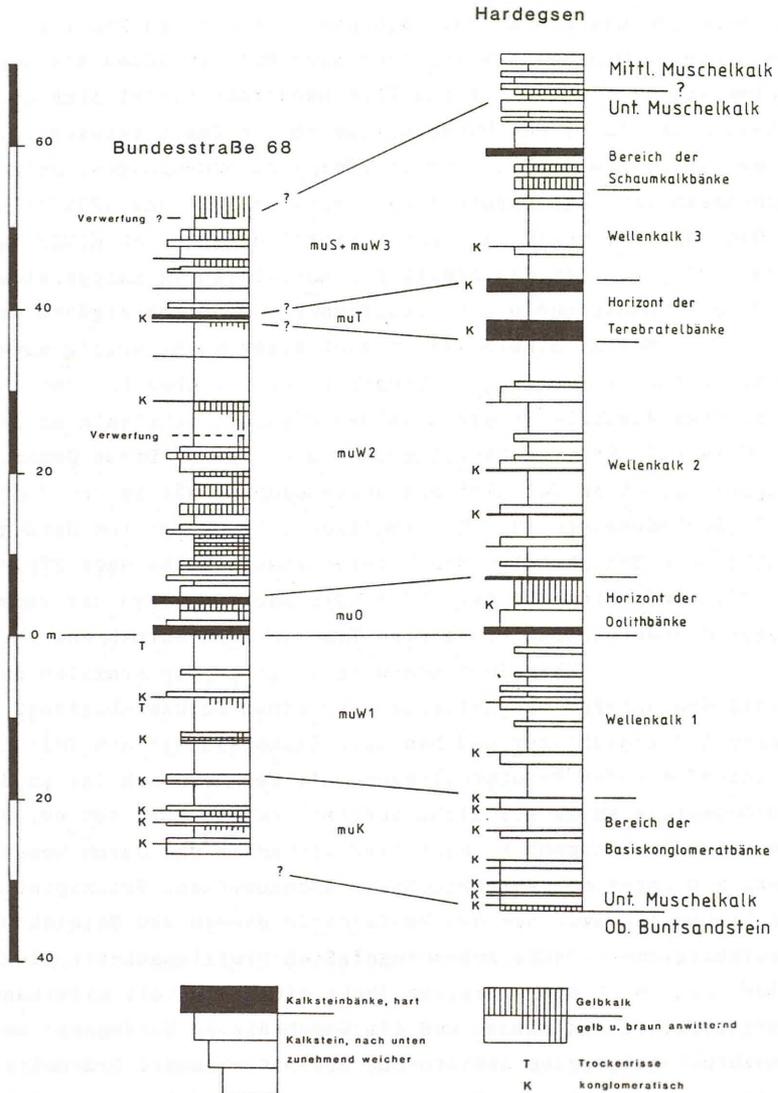


Abb. 2: Gegenüberstellung der vereinfachten Profile durch den Unteren Muschelkalk an der Bundesstr. 68 und Hardegsen (umgezeichnet nach STEIN 1968, ergänzt nach SCHULZ 1972).

(Mittlerer Muschelkalk)	B 68	Hardeggen
Bereich der Schaumkalkbänke] ca. 12 m (?)	ca. 12 m
Wellenkalk 3		ca. 11 m
Horizont der Terebratelbänke	ca. 0,7 m	ca. 7 m
Wellenkalk 2	ca. 34,0 m	ca. 30 m
Horizont der Oolithbänke	ca. 4,5 m	ca. 7 m
Wellenkalk 1	ca. 17,0 m	ca. 20 m
Bereich der Basiskonglomeratbänke	ca. 12,0 m (?)	ca. 14 m

(Oberer Buntsandstein)

Tab. 1: Mächtigkeiten der Gliederungseinheiten des Unteren Muschelkalks an der Bundesstraße 68 und im Raum Hardeggen

Der im Arbeitsgebiet als Horizont der Oolithbänke bezeichnete Abschnitt liegt ca. 30 m über der Dachfläche des Oberen Buntsandsteins und damit nur geringfügig tiefer als in Hardeggen, ist aber geringmächtiger als dort entwickelt (B 68: 4,5 m, Hardeggen: 7 m). Für den darüber folgenden Wellenkalk 2 sind im Gebiet um Osnabrück zahlreiche Gelbkalkeinschaltungen kennzeichnend, die in den übrigen Teilen des Niedersächsischen und Ostwestfälischen Berglandes fehlen, sieht man von einem nur lokal ausgebildeten und in Hardeggen nicht nachweisbaren Gelbkalk unmittelbar unter dem Horizont der Terebratelbänke ab. Diese letztere Gliederungseinheit wird bei Osnabrück nach GROETZNER (1984) vermutlich nur durch eine vergleichsweise geringmächtige und lokal aufspaltende Bruchschillbank vertreten. Der Wellenkalk 3 und der Bereich der Schaumkalkbänke sind hier ebenfalls untypisch entwickelt und nicht zu trennen.

Zusammenfassend ist hervorzuheben, daß im tieferen Teil des Unteren Muschelkalks, bis einschließlich dem Horizont der Oolithbänke, zahlreiche Parallelen in der Gesteinsausbildung von Osnabrück und Hardeggen festzustellen sind. Problematischer ist es hingegen mit den sich im Hangenden anschließenden Gliederungseinheiten, die kaum noch Übereinstimmungen erkennen lassen.

Die im Osnabrücker Raum sehr zahlreichen Gelbkalkhorizonte in diesem Profilbereich sind faziell als eindeutige Hinweise auf ruhiges, übersalzenes, extremes Flachwasser und sogar gelegentliches Trockenfallen zu interpretieren (vgl. z.B. SCHWARZ 1970). Diese Ablagerungsbedingungen zur Zeit des Unteren Muschelkalks sind - ohne einer detaillierten Faziesstudie vorgreifen zu wollen - ebenso wie die geringere Mächtigkeit zwanglos mit dem Einfluß der sogenannten Hunte-Schwelle erklärbar, die als Untiefenzone dem Rheinischen Festland vorgelagert war und vom Zechstein bis zum Oberen Jura die Sedimentation in dieser Region ganz entscheidend beeinflußt hat (ROSENFELD 1978). Eine ausgeprägte paläogeographischen Randposition bzw. unmittelbare Festlandsnähe des Ablagerungsgebietes kann allerdings kaum angenommen werden, da die von SCHWARZ (1977) aus der Kernbohrung Mersch (Luxemburg) für einen derartigen Faziesbereich beschriebenen Gesteinsmerkmale wie hoher Anteil an detritischen Mineralen, Rote Tone, Einschaltungen von Sulfatgesteinen und Magnesit fehlen.

2.1.4 Ausbildung des Unteren Muschelkalks hinsichtlich der Gewinnung von Hartstein für den Straßenbau

Die feinstratigraphische Bearbeitung zahlreicher Profile (vgl. Taf. I u. II, Anl. 1) des Unteren Muschelkalks ergab, daß zur Herstellung hochwertiger Straßenbaustoffe besonders geeignete harte, bankige und dickplattige Profilabschnitte lediglich geringmächtig ausgebildet sind. Im gesamten Arbeitsgebiet erreichen feste, vorwiegend dickbankigere Partien nur im Bereich des Horizonts der Oolithbänke Mächtigkeiten bis max. 5 m. Das zum Teil gelb-braun anwitternde Gestein wurde in der Vergangenheit als Werkstein sehr geschätzt, wovon zahlreiche alte Abbaustellen in diesem stratigraphischen Niveau und historische Gebäude in Osnabrück zeugen. Die in anderen, ebenfalls relativ karbonatreichen Profilbereichen überwiegende dünnplattige Schichtung mit mm-dünnen Mergelsteinzwischenlagen hat bei großtechnischer Aufbereitung des Gesteinsmaterials eine für Schottertragschichten sehr ungünstige Kornverteilung zur Folge (vgl. 3.6).

Der gewöhnlich dickbankige Horizont der Terebratelbänke, der früher im Niedersächsischen Bergland lokale Bedeutung für die Gewinnung von Werkstein hatte (z.B. ERNST & WACHENDORF 1968), ist im Raum Osnabrück nur geringmächtig (vgl. 2.1.1.5) und nicht abbauwürdig ausgebildet.

2.2 Mittlerer Muschelkalk (mm)

Der dolomitisch-tonige Mittlere Muschelkalk zwischen den Festgesteinsfolgen des Unteren und Oberen Muschelkalks ist für die Herstellung von Straßenbaustoffen ungeeignet und war daher kein Untersuchungsschwerpunkt. Aus diesem Grund erfolgt hier nur eine kurze Darstellung am Beispiel einer Bohrung. Darüber hinaus wird auf die Arbeit von GROETZNER (1984) verwiesen.

Einen Überblick über den Gesteinsaufbau der Schichtfolge erlaubt das bisher nicht publizierte Profil der Kernbohrung Rulle 1 (B 1), die von LANGER (1983) auf Mineralneubildungen im Dach des Bramscher Plutons detaillierter untersucht wurde. Vereinfacht sind vom Hangenden zum Liegenden vier lithologische Bereiche (mm a-d) abzugrenzen:

- a 11 m mäßig fester Dolomitmergelstein mit mehreren brekziösen Lagen (< 1 dm) gehäuft im mittleren Bereich
- b 12 m überwiegend weicher, calcithaltiger Dolomitmergelstein mit dünnplattigen, meist feinlaminierten, festen Dolomitmergelstein-Bruchstücken, die teils durch grob-spätigen Calcit und Fasergips verkittet sind; das Kernmaterial war unvollständig, am Top 2,5 m totaler Kernverlust
- c 4 m Wechselfolge von festem, ebenplattigem und häufig feinlaminiertem (< 1 mm) Dolomitmergelstein mit weichem Dolomitmergelstein; hervorzuheben sind mehrere, blaßrot gefärbte Lagen (Mächtigkeit im dm-Bereich) im höheren Teil
- d 9 m überwiegend mäßig fester und fester Dolomitmergelstein mit calcitgefüllten Drusen

Abgesehen von blaßrot gefärbten Lagen im Profilabschnitt c variieren die Gesteinsfarben in der Bohrung zwischen weißgrau (Abschnitt b), mittelgrau und grau-oliv. Verwitterungsbedingt dominieren in Tagesaufschlüssen gelbe Farbtöne. Eine Bestimmung des in HCl (15 %) unlöslichen Rückstands (LANGER 1983) ergab, daß dieser im Bereich b am größten ist (> 40 Gew.-%), gefolgt vom Abschnitt a (> 30 Gew.-%) und d bzw. c (< 30 Gew.-%).

Die Mächtigkeit des Mittleren Muschelkalks beträgt in der B 1 (Rulle 1) ca. 35 m und dürfte im Arbeitsgebiet nach den Ergebnissen der geologischen Landesaufnahme (HAACK 1926, 1930; HAACK & DIENEMANN 1930; HAACK & POTONÍÉ 1935; HINZE 1979, 1982; THIERMANN 1983) zwischen 25 und 40 m liegen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Grenzziehung zum Hangenden und Liegenden von den verschiedenen Autoren uneinheitlich durchgeführt wurde und im tieferen Untergrund, wegen der in Oberflächennähe weitgehend ausgelagerten Sulfatgesteine, eine etwas höhere Mächtigkeit angenommen werden muß. Calcitgefüllte Drusen und z.T. grobspätig calcitisierte Mergelstein- und Brekzienlagen kennzeichnen in der B 1 (Rulle 1) typische Residualgesteine ehemaliger Sulfathorizonte, deren Hauptverbreitung im mittleren Profilbereich hervorzuheben ist. Größere primäre Mächtigkeiten (mehrere m) reiner Sulfatgesteine sind aber auch hier kaum anzunehmen, sondern lediglich eine Wechsellagerung von Mischgesteinen aus Sulfat, Karbonat und Ton (vgl. a. HINZE 1979: 142). Von wenigen Ausnahmen abgesehen (KIESER 1974) fehlen daher Erdfalltrichter im Osnabrücker Raum weitgehend, im Gegensatz zu anderen Regionen, wo sie im Ausstrichbereich des Mittleren und Oberen Muschelkalks gehäuft anzutreffen sind und auf mächtigere Sulfatlager hinweisen. Steinsalzeinschaltungen sind erst nördlich des Arbeitsgebiets zu erwarten (WOLBURG 1969: Abb. 5).

Die Abgrenzung des Mittleren gegen den Unteren Muschelkalk ist in vielen Fällen problematisch (vgl. 2.1.1.6). Bei der Bohrung B 1 (Rulle 1) erfolgte die Grenzziehung an der Oberkante der höchsten Kalksteinbank mit dem Einsetzen der ausschließlich dolomitischen Fazies. Zum Hangenden ist der Mittlere Muschelkalk durch den sprunghaften Anstieg des Karbonatgehalts im Oberen Muschelkalk scharf begrenzt. Sowohl der hohe Mergelsteingehalt als auch die

besonders für den höchsten Mittleren Muschelkalk typischen Gesteinsfarben (grau-oliv und gelb-oliv) waren bei den Aufschlußbohrungen sichere Kennzeichen für das Erreichen des Mittleren Muschelkalks. In einem Tagesaufschluß an der Natberger Egge (R: 34 40 700, H: 57 91 200) war dieser Grenzbereich zur Zeit der Geländearbeiten vollständig aufgeschlossen.

2.3 Oberer Muschelkalk (mo)

Wie in anderen Regionen Niedersachsens wurden auch im Osnabrücker Raum die dickbankigen und verwitterungsbeständigen Kalksteineinschaltungen des Oberen Muschelkalks für die Herstellung von Werkstein intensiv genutzt. Besonders die Wirtschafts- und Wohngebäude landwirtschaftlicher Betriebe sind aus diesen Gesteinen errichtet worden, deren überwiegend kleine, inzwischen meist verfüllte Abbaustellen bevorzugt in der Nähe von Einzelhöfen oder Ortsrandlagen zu finden sind. Mit zunehmendem Bedarf an hochwertigem Straßenbaumaterial in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts begann der industrielle Abbau der Schichtfolge und die Verarbeitung der karbonatreichen Partien zu Gesteinskörnungen, die auch heute noch von drei Steinbruchbetrieben hergestellt werden.

Eine sehr differenzierte, im wesentlichen lithostratigraphische Gliederung des Oberen Muschelkalks für das Osnabrücker Bergland wurde von DUCHROW & GROETZNER (1984) publiziert. Sie ist an die entsprechende Gliederung im Weserbergland angelehnt und beruht auf der feinstratigraphischen Aufnahme zahlreicher Tagesaufschlüsse sowie auf einer umfassenden Auswertung der regionalgeologischen Literatur. Besonders der zur Zeit noch betriebene Steinbruch Sundermeyer SW von Bissendorf (Taf. III, Prof. 10) erlaubt einen nahezu vollständigen Überblick über die Ausbildung der Schichtfolge des Oberen Muschelkalks von den Gelben Basis-schichten bis zu den Dolomitischen Grenz-Schichten und kann als Standardprofil für diesen Raum angesehen werden.

Der Vergleich der Profile von DUCHROW & GROETZNER (1984: Anl. om 2) mit vom Verfasser bereits vor Erscheinen dieser Publikation aufgenommenen Profilen zeigte weitgehende Übereinstimmungen. Aufgrund der so nachgewiesenen, sicheren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse oben genannter Autoren wurden deren Gliederungseinheiten (vgl. Abb. 3) ebenso wie die Aufschlußnumerierung über-

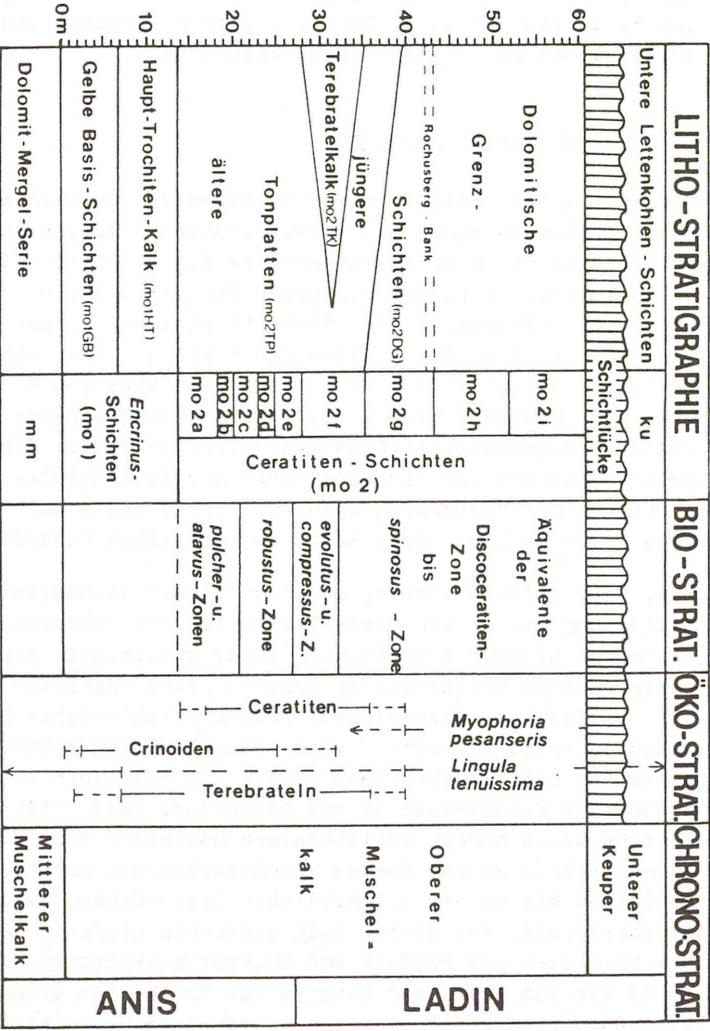


Abb. 3: Stratigraphische Tabelle des Oberen Muschelkalks im Osnabrücker Bergland (aus DUCHROW & GROETZNER 1984: Abb. 1). Die lithostratigraphischen Einheiten sind annähernd maßstabsgerecht mit einer Meterskala am linken Tabellenrand dargestellt. (Zur Schichttücke an der Basis des Unteren Keupers s. DUCHROW 1984: 268).

nommen und ihre durch Hoch- und Rechtswerte ergänzte Profiltafel (DUCHROW & GROETZNER 1984: Anl. om 2) der vorliegenden Arbeit als Tafel III beigelegt. Die detaillierten und umfangreichen Ausführungen dieser Autoren sollen hier durch die Ergebnisse einiger im Rahmen des Untersuchungsprogramms niedergebrachter Aufschlußbohrungen und Geländebegehungen ergänzt werden. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf regionalen Faziesänderungen der möglichen Abbauhorizonte, so daß ihre Darstellung und Diskussion gesondert unter 2.3.3 erfolgt.

Mikrofazielle Untersuchungen des Oberen Muschelkalks sind von SCHWENKE (geplante Dissertation an der Univ. Münster) und von DUCHROW (vgl. DUCHROW & GROETZNER 1984) durchgeführt worden. Beide Veröffentlichungen sind in Aussicht gestellt, liegen aber bisher noch nicht vor^{*)}.

Für einen Gesteinsabbau mit dem Ziel, qualitativ hochwertiges Straßenbaumaterial herzustellen, kommen der Haupt-Trochitenkalk (mo1 HT) und Terebratelkalk (mo2 TK) sowie mit Einschränkungen die Gelben Basisschichten (mo1 GB) und der tiefste Teil der Tonplatten (mo2 a) in Betracht. Die beiden letztgenannten Schichtfolgen sind nur dann wirtschaftlich nutzbar, wenn ihr Abbau zusammen mit dem angrenzenden Haupt-Trochitenkalk erfolgt.

2.3.1 Aufschlußbohrungen

Zur Klärung der regionalen Gesteinsausbildung wurden in Gebieten mit unzureichenden Aufschlußverhältnissen im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen insgesamt 7 Aufschlußbohrungen niedergebracht (B 4 bis B 10). Die Lage der Bohrpunkte ist Tab. 6 u. Abb. 16 zu entnehmen. Teile des Kernmaterials und die Bohrlochmessungen einer bereits 1979 abgeteufte Kernbohrung (B 1, Rulle 1) standen ebenfalls zur Verfügung. Aus Kostengründen wurden die

*) Kurz vor der Drucklegung erhielt d. Verf. Kenntnis von der Arbeit RÖHL, U. (1988): Multistratigraphische Zyklengliederung im Oberen Muschelkalk Nord- und Mitteldeutschlands.- Diss. Univ. Bonn.- 170 S., 73. Abb., 62 Anl; Bonn.- <unveröff.>. Die Arbeitsergebnisse dieser Dissertation konnten hier nicht mehr berücksichtigt und diskutiert werden.

Bohrungen B 4 (Holte 2), B 6 (Rochusberg) und B 7 (Alt Schleddehausen) im Spülmeißelverfahren abgeteuft, bei den Bohrungen B 8 (KB 1 OS 86), B 9 (Icker 1) und B 10 (OS KB 2) blieben die Kernstrecken auf die möglichen Abbauhorizonte beschränkt.

Die Bohrung B 5 (Holte 1) wurde unmittelbar neben der B 4 (Holte 2) niedergebracht und durchgehend gekernt, um die Aussagesicherheit geophysikalischer Bohrlochmessungen anhand der Kerne zu überprüfen. Das Erreichen der stark geklüfteten Encrinus-Schichten ging fast immer mit totalem Spülungsverlust einher, so daß auf Widerstandsmessungen verzichtet werden mußte und ausschließlich Gamma-Ray-Messungen für die lithostratigraphische Gliederung verwendet werden konnten. Durch einen größeren Maßstab (1:100) der Registrierung als allgemein üblich (1:200) wurde eine hervorragende Auflösung, besonders in der Mergelstein-/Kalkstein-Wechselfolge der Tonplatten, erreicht, die zum Teil sogar Kalksteinbänke unter 0,3 m erkennen läßt (vgl. Taf. IV). Vergleicht man die Logs der beiden nur 40 m voneinander entfernten Bohrungen B 4 und B 5 werden aber auch die Grenzen dieses Meßverfahrens deutlich, vor allem im tonarmen und damit nur schwach radioaktiven Haupt-Trochitenkalk und Terebratelkalk. Die Tongehalte dürften sich auf diese Entfernung kaum ändern, aber sowohl das Log-Bild als auch die absoluten API-Werte (API = standardisierte Einheit nach dem American Petroleum Institute) weisen erhebliche Unterschiede im gleichen Niveau auf. Leider war darüber hinaus auch der Kerngewinn in den zerklüfteten Encrinus-Schichten häufig unbefriedigend, doch erbrachte letztlich die zusammenfassende Interpretation von Bohrprofilen, Bohrlochmessungen und Geländebefunden hinreichend gesicherte Ergebnisse bezüglich der Fragestellungen des Untersuchungsprogramms.

2.3.2 Encrinus-Schichten (m1)

Die karbonatreichen Encrinus-Schichten sind 10 bis knapp 14 m mächtig und lassen sich nach lithologischen Kriterien in die dolomitischen Gelben Basisschichten (m1 GB) und den Haupt-Trochitenkalk (m1 HT) untergliedern.

2.3.2.1 Gelbe Basisschichten (mo1 GB)

Nach Abfolge und Fazies sind die Gelben Basisschichten das Übergangsglied zwischen den unter hypersalinaren Bedingungen entstandenen Dolomitmergelsteinserien des Mittleren Muschelkalks und dem im normalmarinen Milieu gebildeten Kalkstein des Haupt-Trochitenkalks.

Über dem dolomitisch-tonigen Mittleren Muschelkalk setzt mit deutlicher Grenze eine 4,5 bis 7 m mächtige Folge aus dickbankigen bis massigen, dolomitischen Gesteinen mit wechselndem, aber deutlich höherem Karbonatgehalt ein, die vorwiegend braungelb gefärbt ist. Die Gelbfärbung der im unverwitterten Zustand hellgrauen und grauen, feinkristallinen Gesteine ist auf verwitterungsbedingte Dedolomitisierungsvorgänge (vgl. 3.2.6) zurückzuführen und war auch in sämtlichen Aufschlußbohrungen kennzeichnend für die Gelben Basisschichten.

Schichtung ist in den überwiegend zwischen 0,3 bis 1,0 m mächtigen, teils sehr harten und splittrig brechenden Einzelbänken nur stellenweise erkennbar. Die Bankfugen bestehen aus weichem, ebenfalls gelben Mergelstein bis maximal 0,1 m Mächtigkeit. Mit zunehmender Annäherung an den hangenden Haupt-Trochitenkalk schalten sich ab ca. 1,5 m über der Basis der Gelben Basisschichten Linsen, schlierige Lagen und bis zu 0,5 m mächtige Bänke mit dünnchaligem Bruchschill, Schillkörnern, Ooiden, vereinzelt Intraklasten und meist kleinwüchsigen Trochiten (< 0,5 cm Ø) ein. Besonders im Verwitterungsprofil von Mündrup (9), aber auch in den anderen Profilen liegen sogar nur wenige-cm-dicke Einschaltungen aus Karbonatdetritus häufig als blaugrauer Kalkstein vor und sind von einer Dolomitisierung weitgehend verschont geblieben. Als Ursachen dafür kommen der geringe Tongehalt dieser Lagen und eine sehr frühe Zementation der Komponenten in Betracht, wodurch die Einwirkungsmöglichkeiten Mg-haltiger Lösungen im Verlauf der Diagenese stark beschränkt blieben (vgl. a. RICHTER 1974). Bemerkenswert ist, daß selbst wenn alle anderen Partikel dolomitiert sind, die Trochiten nach wie vor als Calcit-Einkristalle vorliegen (vgl. a. GROETZNER 1962).

An die Oberkante der höchsten harten Karbonatbank mit vorherr-

schenden, aber meist nur noch diffus und fleckig gelb-braunen Gesteinsfarben wurde immer die Grenze zum Haupt-Trochitenkalk gelegt.

2.3.2.2 Haupt-Trochitenkalk (mol HT)

Der ca. 4,5 bis 7 m mächtige Haupt-Trochitenkalk besteht im wesentlichen aus dickbankigem bis massigen, sehr hartem, tonarmen, blaugrauen Schill- und Partikelkalkstein. Seine Liegendgrenze ist durch gelb-braune Gesteinsfarben der Gelben Basisschichten gegeben. Die Abgrenzung zu den überlagernden Ceratiten-Schichten erfolgte an der Oberkante der massigen Kalksteinfazies. Als gesteinsbildende Komponenten dominieren randlich mikritisierte Schillkörner aus stark aufgearbeiteten Hartteilen von Muscheln, Brachiopoden und Gastropoden. Trochiten sind durchgehend eingestreut und nur in einigen Bänken, besonders am Top des Haupt-Trochitenkalks, angereichert (max. 1,0 cm Ø). Ooide mit makroskopisch erkennbarem Schalenbau treten im Übergangsbereich zu den Gelben Basisschichten gehäuft auf. Vorwiegend wirr gelagerter Grobschill aus Terebrateln (*Coenothyris vulgaris*) ist in den Profilen 5 (Sandfort), 6 (Mündrup-N) und 7 (Natbergen-SW) circa 1,5 bis 2 m über der Basis des Haupt-Trochitenkalks nahezu gesteinsbildend und bleibt ansonsten auf Einzellagen beschränkt. Hervorzuheben sind im darunter liegenden Mergelstein von Profil 7 (Natbergen-SW) und 5 (Sandfort) zahlreiche, auch doppelklappig erhaltene Terebrateln, die zum Teil in Lebensstellung aufeinander aufgewachsen sind. Auffällig ist, daß eine Mergelstein-Einschaltung in den Profilen 5 (Sandfort), 10 (Bissendorf-SW) und auch anderenorts nach Bohrlochmessungen (vgl. Taf. IV: B 1, B 9, B 7, B 10) in etwa gleichem Niveau anzutreffen ist. Eigene Aufnahmen im W-Teil der Natberger Egge legen im Profil 5 (Sandfort) ebenfalls eine Grenzziehung mol GB/mol HT unterhalb dieser markanten Mergelsteinlage nahe. Die daraus resultierende, auffällig große Mächtigkeit des Haupt-Trochitenkalks beruht vermutlich nur darauf, daß der für die Darstellung (Taf. III, 5 Sandfort) aus der Literatur (HAACK 1926) entnommene untere Profilmereich wahr-

scheinlich einen Teil des von DUCHROW & GROETZNER (1984) neu aufgenommenen Profilabschnitts bereits einschließt.

Generell schwankt die Mächtigkeit und Anzahl der Mergelsteinlagen zwischen den Kalksteinbänken regional ganz erheblich (vgl.

2.3.3), so daß sie zur lithostratigraphischen Gliederung in diesem Raum nur eingeschränkt brauchbar scheinen. Im Gegensatz dazu konnten HOFMEISTER et al. (1972) den Haupt-Trochitenkalk zwischen Weser und Harzvorland mit Hilfe einer charakteristischen Mergelsteinfolge ("Flaserkalke") in drei Einheiten gliedern.

2.3.3 Ceratiten-Schichten (mo2)

Die Ceratiten-Schichten erreichen nach DUCHROW & GROETZNER (1984) eine Gesamtmächtigkeit von ca. 45 m und lassen sich in "Tonplatten" und "Dolomitische Grenz-Schichten" untergliedern. Südlich und südöstlich von Osnabrück schaltet sich mehr als 10 m über den Encrinus-Schichten eine dickbankige bis massige, harte Kalksteinfolge ein, die aufgrund ihres hohen Gehaltes an Coenothyris-Grobschill als "Terebratelkalk" (= Oberer Trochitenkalk nach KLEINSORGE 1935) bezeichnet wird und hier die Tonplatten in "ältere" und "jüngere" Tonplatten teilt.

2.3.3.1 Tonplatten (mo2 TP)

In den ca. 20 m mächtigen Tonplatten dominieren weiche Mergelgesteine, die mit harten, plattigen, z.T. linsigen und knolligen Kalksteinlagen (meist < 10 cm Dicke) wechsellagern. Der Anteil der teilweise dolomitischen, tonig-mergeligen Gesteine nimmt, abgesehen von der regional begrenzten Einschaltung des Terebratelkalks im höheren Bereich der Tonplatten (vgl. 2.3.3.2), nach oben hin kontinuierlich zu.

Einige dickere Kalksteinbänke, die lokal bis 0,45 m mächtig werden können, sind durch das gesamte Arbeitsgebiet hindurch zu verfolgen und bilden die Grundlage für die feinstratigraphische Detailgliederung von DUCHROW & GROETZNER (1984, vgl. Abb. 3). Diese Gliederung hat sich unter anderem bei der Interpretation

der Aufschlußbohrungen als sehr brauchbar herausgestellt, weil sie auch nach Bohrlochmessungen (Gamma-Ray-Log) sicher durchzuführen ist (vgl. Taf. IV). Sowohl dünnere Kalksteinlagen als auch die markanten Bänke bestehen vorwiegend aus unterschiedlich stark aufgearbeitetem Schill verschiedener Organismengruppen (Muscheln, Brachiopoden, Gastropoden), wobei die Partikelgröße häufig mit der Bankdicke zunimmt und innerhalb einer Bank zum Hangenden abnimmt. Trochiten und gröbere Intraklasten bleiben in der Regel auf dickere Bänke beschränkt.

Sedimentäre und diagenetische Gefüge, die z. B. AIGNER (1979, 1982, 1984, 1985), AIGNER & FUTTERER (1978), AIGNER et al. (1978), aus dem Oberen Muschelkalk Süddeutschlands bzw. RÖHL (1986) vom Hildesheimer Wald detailliert beschreiben, sind ausnahmslos auch im Osnabrücker Bergland typisch für diese Schichtfolge (vgl. a. DUCHROW & GROETZNER 1984). In Analogie zu den Ausführungen o.g. Autoren können die Kalksteineinschaltungen in den Ceratiten-Schichten auch im Arbeitsgebiet als Sturmsedimente (Tempestite) interpretiert werden, die als kurzfristige Ereignisse die mergelige Hintergrundsedimentation unterbrochen haben, wodurch ihnen nicht nur eine lithostratigraphische Bedeutung, sondern auch ein regional begrenzter Wert als Zeitmarken zukommt.

In den Gebieten nördlich von Osnabrück, wo der Terebratelkalk fehlt, folgen "jüngere" unmittelbar über "älteren" Tonplatten und sind nicht mehr zu trennen. Letztere erreichen eine maximale Mächtigkeit von nur 5 m südöstlich von Osnabrück und leiten mit unscharfer, diachroner Faziesgrenze in die Dolomitischen Grenzschichten über (vgl. Taf. III).

2.3.3.2 Terebratelkalk (mo2 TK)

Der Terebratelkalk ist zwischen 0 und knapp 7,5 m mächtig. Er vertritt südlich und südöstlich von Osnabrück die Tonplatten im Bereich mo2 f (vgl. Abb. 3, Taf. III) teilweise oder vollständig in Kalksteinfazies und erzeugt hier ähnlich wie der 11 bis 14 m darunter liegende Haupt-Trochitenkalk eine deutliche Rippe an der

Geländeoberfläche. Bei den beiden Gesteinsfolgen stimmen auch die wesentlichen petrographischen Kennzeichen überein, indem sehr harter, blaugrauer, massiger bis dickbankiger Schill- und Partikelkalkstein mit regional mehr oder weniger mächtigen Mergelstein-Einschaltungen vorherrscht. Unterschiede in Komponentenführung, Gefüge und Verwitterungsverhalten lassen aber auch bei tektonisch gestörten Vorkommen fast immer eine sichere Unterscheidung zwischen Haupt-Trochitenkalk und Terebratelkalk zu. So ist im Terebratelkalk dicht gepackter Grobschill von *Coenothyris vulgaris* häufig gesteinsbildend und bevorzugt schichtparallel eingeregelt. Dies führt bei Verwitterungsprofilen, selbst in massigen Abschnitten, zu plattigem Ablöseverhalten an den durch das Parallelgefüge vorgegebenen Trennflächen. Die zweitwichtigsten Komponenten sind Ooide, die fast immer gegenläufig zum Anteil groben Terebratelschills zum Hangenden der bis zu 3 m mächtigen Einzelbänke zunehmen. Neben den Ooiden ist manchmal auch die mikritische Matrix in Flecken (cm^2 -Bereich) feinkörnig, oder diffus grobkörnig (= zuckerkörnig) dolomitisiert und weist dann braungelbe Verwitterungsfarben auf. In den Profilen des Haupt-Trochitenkalks treten Trochiten und Gastropodenschill als Durchläufer auf. Demgegenüber waren im Terebratelkalk trotz intensiver Suche nur in Kernbohrung B 5 (E Holte) in zwei dünnen Lagen (0,1 m) sehr vereinzelt Trochiten ($< 0,5 \text{ cm } \varnothing$) nachweisbar. Gastropodenschill wurde in Dünn- und Anschliffen nicht gefunden. Trochiten sind aber sowohl östlich des Arbeitsgebietes ab Borgholzhausen als auch westlich desselben bei Laggenbeck (südlich von Ibbenbüren) in dieser Schichtfolge keineswegs selten, die dort, wie in anderen Teilen NW-Deutschlands, als "Oberer Trochitenkalk" bezeichnet wird (KLEINSORGE 1935). Südwestlich von Bissendorf (Prof. 10) aufgeschlossene, großdimensionale Schrägschichtung (vgl. DUCHROW & GROETZNER 1984: 186) ist auch östlich des Ortes (R: 34 46 700, H: 57 86 375) zu beobachten und weist ebenfalls auf eine Schüttung des Karbonatdetritus aus südlichen Richtungen hin.

Die Unter- und Obergrenze des Terebratelkalks ist durch weichen Mergelstein der "älteren" und "jüngeren" Tonplatten festgelegt.

2.3.3.3 Dolomitische Grenz-Schichten (mo2 DG)

Nur das untere Drittel der von DUCHROW & GROETZNER (1984) als Dolomitische Grenz-Schichten zusammengefaßten 20 - 25 m mächtigen Gesteinsserie wurde früher den Tonplatten zugerechnet, die überlagernde, dolomitische Mergelstein-Folge (mo2 h, i) aber bereits in den Unteren Keuper gestellt (z.B. HAACK 1926, KLEINSORGE 1935). Die nahezu ausschließlich stark dolomitisch-tonigen Gesteine der Dolomitischen Grenz-Schichten wurden einschließlich der Problematik ihrer Abgrenzung zu den Tonplatten und zum Keuper von DUCHROW & GROETZNER (1984) detailliert beschrieben. Da sie für den Hartsteinabbau ungeeignet sind, erübrigen sich weitere Ausführungen an dieser Stelle.

Ein hervorzuhebendes Ergebnis der eigenen Untersuchungen ist aber die durch die Bohrungen nachgewiesene weite Verbreitung der sogenannten Rochusbergbank im unteren Bereich der Dolomitischen Grenz-Schichten (Oberkante mo2 g), die sich als markanter Horizont durch das gesamte Arbeitsgebiet (ca. 30 km SE-NW) von Borgholzhausen bis Hollage anhand von Bohrlochmessungen und in Tagesaufschlüssen verfolgen läßt (vgl. Taf. IV: B 8 u. B 1; Taf. III). Diese charakteristische Dolomitsteinbank ist ca. 1 m mächtig, spaltet meist in mehrere Teilbänke auf, enthält Bruchschill und vereinzelt Wirbeltierreste sowie zahlreiche mineralisierte Drusen, die als Gips-Residuen interpretiert wurden (vgl. DUCHROW & GROETZNER 1984: 188).

2.3.4 Regionale Verbreitung und Ausbildung der Abbauhazonte im Oberen Muschelkalk

Das Maximum der dickbankigen, karbonatreichen Ausbildung der Encrinus-Schichten liegt im Raum Mündrup (Prof. 6) südöstlich von Osnabrück. Rechnet man die vergleichsweise dünnen (dm-Bereich) Mergelsteinlagen ab, läßt sich hier die "Netto-Mächtigkeit" des für den Hartsteinabbau besonders wertvollen, blaugrauen Kalksteins mit ca. 6,5 m, weiter östlich davon im Profil 10 (Bissendorf-SW) mit 5,5 m und in der Bohrung B 5 (E Holte) mit

5,0 m angeben. Noch weiter im SE, unweit der Oberkreide-Vorkommen des Teutoburger Waldes, ca. 2 km NW von Borgholzhausen, sind gut 6 m hochwertigen Gesteins in einem stillgelegten Abbau aufgeschlossen (R: 34 51 350, H: 57 77 760). In den nördlichen Vorkommen, besonders nordöstlich von Osnabrück, nimmt die Kalksteinmächtigkeit zugunsten der Mergelstein-Einschaltungen deutlich ab und beträgt dort netto nur 3,5 m (B 10, Oberholsten), 2,5 m (B 7, Alt Schleddehausen), 4 m (B 9, Icker), 4,5 m (B 1, Rulle) und ca. 4,5 m bei Hollage (Prof. 1). Diese Tendenz wird bereits auf kurze Distanzen erkennbar: Beispielsweise erreicht eine in Mündrup 0,2 m dicke, kleinregional charakteristische Mergelsteinlage mit doppelklappig erhaltenen Terebrateln nur 2 km weiter nördlich an der Natberger Egge auf Kosten des Kalksteins eine Mächtigkeit bis zu 1,1 m.

Im Gebiet mit der größten, oberflächennahen Verbreitung des Oberen Muschelkalks im Osnabrücker Bergland, NW von Melle (Oldendorfer und Westerhauser Berg), sind kaum mehr als insgesamt 4 m hochwertigen Kalksteins zu erwarten. Sein Abbau würde zusätzlich durch Mergelstein-Zwischenlagen erschwert. Darauf weist das Ergebnis der unmittelbar nördlich des Vorkommens gelegenen B 10 (Oberholsten), aber auch das zum Liegenden allerdings nicht aufgeschlossene Profil 12 (Westerhausen ENE) hin. Aufnahmen von JUBITZ (1954) bestätigen diese Befunde. Ein in den Nachkriegsjahren mit erheblichem Investitionsaufwand neu angelegter Steinbruchbetrieb scheiterte nach JUBITZ (1954: 86) an Mergelstein-Einschaltungen im Haupt-Trochitenkalk.

Im Raum Schleddehausen fällt bei Geländebegehungen am Ortsrand und am Alt-Schleddehauser Berg der hohe Anteil ockergelb gefärbten Karbonatgesteins in den Encrinus-Schichten auf, wie es für die Gelben Basisschichten typisch ist. Der Haupt-Trochitenkalk erreicht hier in der B 7 (Alt Schleddehausen) einschließlich 2 m Mergelstein (nach Log) eine Gesamtmächtigkeit von nur 4,5 m, die Gelben Basisschichten hingegen fast 6 m. Vergleichbare Geländebeefunde lassen ähnliche Verhältnisse auch ca. 3 km nordöstlich von Belm erwarten.

Nach den Bohrergebnissen und Profilaufnahmen sind die Gelben Basisschichten und der Haupt-Trochitenkalk südöstlich von Osnabrück

brück nur zwischen Mündrup, Natbergen und Holte besonders dickbankig und karbonatreich entwickelt. Übereinstimmend nimmt auch der Anteil an weichen Mergelgesteinen in beiden Teilschichtfolgen der Encrinus-Schichten nach N und E zu. In der SE-Ecke des Arbeitsgebietes sind die Gelben Basisschichten aber trotz massiger Kalkstein-Ausbildung des Haupt-Trochitenkalks auffällig mergelsteinreich.

Ein Abbau der Tonplatten muß in der Regel auf die unteren 5 m beschränkt bleiben, da nur im unmittelbar Hangenden des Haupt-Trochitenkalks noch Kalksteinlagen und -bänke gehäuft auftreten. Die Mächtigkeiten und die Trochitenführung der dickeren Kalksteinbänke in den Tonplatten werden von SE nach NW geringer (DUCHROW & GROETZNER 1984: 183).

Sehr kleinräumig ändert sich die Gesteinsausbildung im höheren Bereich der Ceratiten-Schichten, die südöstlich von Osnabrück im Ausstrich des Holter Sattels (von Holsten bis Dratum) und im Raum Borgholzhausen zum Teil in der Fazies des bis ca. 7,5 m mächtigen Terebratelkalks (mo2 f) vorliegen. Außerhalb dieser Gebiete verliert der Terebratelkalk auf kurze Entfernungen (1 - 2 km) erheblich an Mächtigkeit und geht vor allem in nördlichen Richtungen in dolomitischen Mergelstein mit terebratelführenden Kalksteinplatten über. Dies ist in Abb. 4 stark vereinfacht dargestellt.

Im Gegensatz zur Darstellung in Abb. 4 dürfte die 0-m-Isopache westlich von Ellerbeck aber schärfer nach N abknicken, denn der Terebratelkalk ist am Halter Berg (5 km NW Wissingen) noch als Geländekante kartierbar und weitere 6 km NW davon in der B 1 (Rulle) durch mehrere Schillbänke von zusammen mehr als 1 m ange deutet (BRÜNING 1979). Mit der Aufschlußbohrung B 6 (Rochusberg), die in Sichtweite (1,2 km WNW) zum Profil 10 (Bissendorf SW) abgeteuft wurde, bestätigte sich die Vermutung, daß der Terebratelkalk nicht nur nach N, sondern auch in Richtung auf das Westende des Holter Sattels deutlich geringmächtiger wird. So trennt in Profil 10 eine 0,9 m dicke Mergelsteinlage zwei massige, jeweils 3 m mächtige Einzelbänke, während in der B 6 lediglich eine massige Bank von 4,5 m, ähnlich wie weiter im N am Sandforter Berg (Prof. 5), ausgebildet ist.

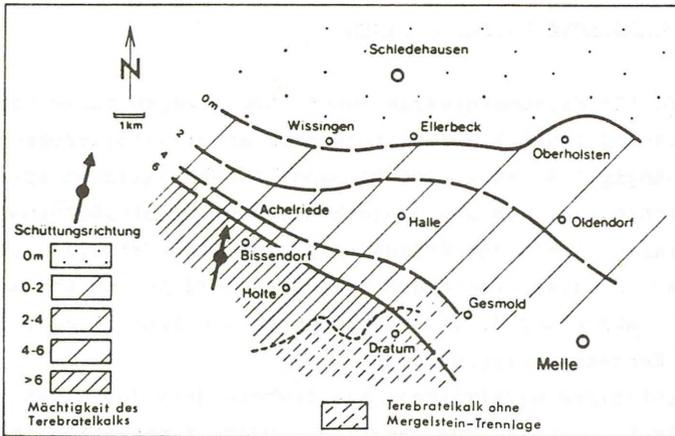


Abb. 4: Mächtigkeitsabnahme und Auskeilen des Terebratelkalks (mo2 TK) zwischen Osnabrück und Melle (aus: DUCHROW & GROETZNER 1984: Abb. 3 (verändert), 2 m -Isopachen nach JUBITZ 1954: Abb. 9).

Der Dolomitgehalt des Terebratelkalks scheint am Rochusberg (B 6) höher als weiter im E zu sein, was sich aus der verstärkten Gelbfärbung der Spülproben schließen läßt (vgl. 3.2.6). Zumindest am Harderberg (7,5 km W der B 6) ist dies bei dem hier ca. 4 m mächtigen AbbauhORIZONT nachweislich der Fall (vgl. auch HAACK 1926: 185). Der stratigraphische Wert der Mergelstein-Trennlage im Profil 10, die nach DUCHROW & GROETZNER (1984: 187) dem "evolutus-spinosus-Grenz-Tonmergel" GROETZNERs (1962) entspricht, ist zu bezweifeln, da sie im Gegensatz zu der Annahme o.g. Autoren auf den Raum Bissendorf beschränkt bleibt. Bereits in der B 6 (Rochusberg), in Profil 5 (Sandfort) und in den Bohrungen östlich von Holte (B 4 u. 5) fehlt diese Lage, oder es sind mehrere uncharakteristische, dm-dicke Mergelstein-Einschaltungen ausgebildet, deren Zuordnung nicht eindeutig ist. Im Raum Borgholzhausen fehlt eine knapp 1 m mächtige Mergelsteinlage zwar nicht (DUCHROW & GROETZNER 1984: 185), doch ist sie im Oberen Drittel des Terebratelkalks anzutreffen, der wie am Holter Sattel auch hier insgesamt 7,5 m Mächtigkeit erreicht (vgl. Taf. IV: B 8).

3 TECHNOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Baustoffe für Straßenkonstruktionen müssen wegen ihrer komplexen Beanspruchung einer Vielzahl technologischer Anforderungen genügen. Abhängig vom jeweiligen Verwendungszweck sind entsprechende Eignungsnachweise von den Lieferbetrieben für Straßenbaumaterial zu erbringen. Neben der Erfassung geologisch-wirtschaftlicher Parameter und konkurrierender Nutzungsansprüche ist demzufolge zur Bewertung eines Hartsteinvorkommens die Ermittlung technologischer Kennwerte erforderlich.

In einschlägigen Regelwerken, wie insbesondere den DIN-Normen 52100 bis 52114 unter dem Obertitel "Prüfung von Naturstein" und den Technischen Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TP Min-StB) sind die wichtigsten Prüfverfahren festgelegt. Die Technischen Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (TL Min-StB) enthalten detaillierte Anforderungen, die an natürliche und künstliche Mineralstoffe für die Herstellung und Instandsetzung von Straßenoberbauschichten gestellt werden.

Die bei den vorliegenden Untersuchungen im Labor nach den oben genannten Normen ermittelten Prüfwerte lassen keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die Eignung industriell hergestellter Körnungen aus dem gleichen Gesteinsmaterial zu, da das Abbauverfahren und insbesondere die Aufbereitungstechnik einen gravierenden Einfluß auf die qualitativen Eigenschaften von Straßenbaumaterial haben (vgl. BRAND 1984, ZENKER 1975).

Gebrochener Kalkstein aus dem Oberen Muschelkalk des Osnabrücker Berglandes kommt, wie z.B. auch der Korallenoolith aus dem Wesergebirge, fast ausschließlich als kornabgestuftes Mineralgemisch ("Mineralbeton") 0/32 mm und 0/45 mm für Frostschutz- und Trag-schichten zum Einsatz. Die Produktion von Splitten aus Karbonat-gesteinen ist im Raum Osnabrück von vergleichsweise geringer Bedeutung.

3.1 Probenentnahme und Probenvorbereitung

Das gesamte technologische Untersuchungsprogramm einschließlich der nachfolgend detailliert erläuterten Probenentnahme und Probenvorbereitung ist in Abb. 5 als Flußdiagramm zusammengefaßt.

Die Probenentnahme für die Qualitätsprüfung und Güteüberwachung von Straßenbaumaterial ist in den TP Min-StB geregelt. Abweichend von diesen Vorschriften konnten für die vorgesehenen Untersuchungen keine industriell hergestellten Körnungen beprobt werden, da vor allem wirtschaftlich nicht genutzte Hartsteinvorkommen untersucht werden sollten.

Brech- und Siebversuche am Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover zeigten, daß zur Herstellung ausreichender Mengen der Prüfkörnungen Gesteinsmaterial mit einem Gesamtgewicht von mindestens 60 kg pro Aufschluß benötigt wird. Die von SAUER (1978) ermittelten guten Korrelationen zwischen Schlagversuchen an Splitt und anderen Härteprüfungen, für die im Vergleich zu den Schlagversuchen nur sehr wenig Probenmaterial erforderlich ist, scheinen nach HENNINGSEN (1979: Tab. 15, 16) nicht immer oder teilweise überhaupt nicht gegeben zu sein. Um verlässliche Kennwerte zu erhalten war es daher unumgänglich, das technologische Untersuchungsprogramm möglichst eng an den einschlägigen Prüfvorschriften zu orientieren und die sehr aufwendige Laboraufbereitung der entsprechend großen Probenmengen in Kauf zu nehmen.

Insgesamt wurden in 13 Vorkommen gleichmäßig über den gesamten Aufschlußbereich, der für einen eventuellen Abbau in Frage kommen könnte bzw. abgebaut wird oder wurde, Handstücke in ausreichender Menge entnommen. Sehr stark mergelige Zwischenlagen wurden bei der Beprobung ausgehalten, weil sie bei großtechnischer Aufbereitung in der Vorabsiebung ausgeschieden werden. Die geographische Lage der Probenpunkte ist der geologischen Karte (Abb. 16), die Hoch- und Rechtswerte, stratigraphische Einstufung des Probenmaterials und weitere Anmerkungen sind Tab. 7 zu entnehmen.

Für vergleichende Betrachtungen schien es sinnvoll, Karbonatgesteine aus zwei bisher für den Straßenbau nicht genutzten

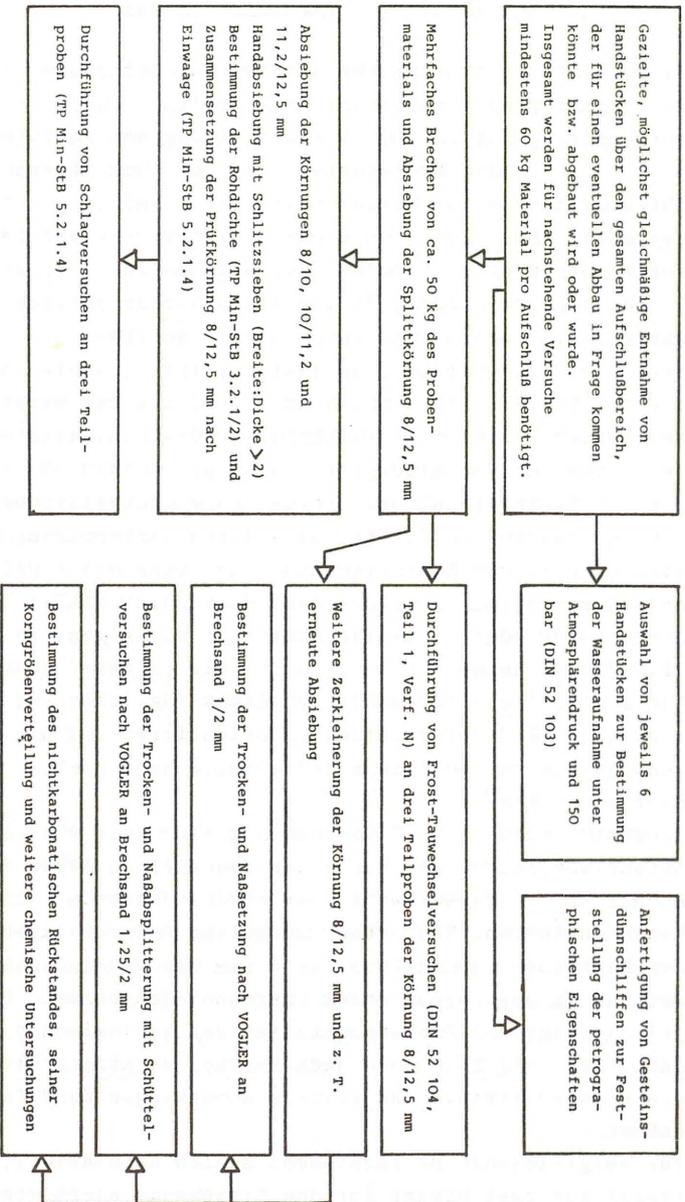


Abb. 5: Übersicht über die Probenentnahme, Probenvorbereitung und die durchgeführten technologischen Untersuchungen.

Schichtfolgen (Unterer Muschelkalk, Gelbe Basisschichten) zu beproben und dem im Osnabrücker Raum anerkannt hochwertigen Trochitenkalk und Mittel-Kimmeridge-Kalkstein qualitativ gegenüber zu stellen.

<u>Schichtfolge:</u>	<u>Proben-Nr.</u>
Mittel-Kimmeridge (joKI)	11
Terebratelkalk (mo 2 TK)	1, 4, 12
Haupt-Trochitenkalk (mo 1 HT)	2, 5, 7, 8, 13
Gelbe Basisschichten (mol GB)	3, 6
Unterer Muschelkalk (muK, muO)	9, 10

Tab. 2: Zusammenstellung der nach stratigraphischen Gesichtspunkten geordneten Proben für die technologischen Untersuchungen. Die Lage der Entnahmestellen ist der Abb. 16 und Tab. 7 zu entnehmen.

Ungefähr 50 kg jeder Probe wurden in einem Laborbackenbrecher (Typ BB2/A; Fa. Retsch) in mehreren Stufen gebrochen und jeweils die Splittkörnung 8/12,5 mm abgesiebt. Das Überkorn größer als 12,5 mm wurde dann erneut in den Brecher gegeben. Dabei zeigte sich, daß vor allem nach dem ersten Brecherdurchgang mit noch grobem Aufgabegut stark plattige Splittkörner einen erheblichen Anteil am aufbereiteten Material ausmachten. Eine derart ungünstige Kornform, die bei mit Prallmühlen industriell hergestellten Körnungen in der Regel nicht auftritt (ZENKER 1975), beeinflußt das mechanische Verhalten entscheidend. Deshalb wurde die Erstabseibung 8/12,5 mm verworfen, der verbleibende Rest für die Zusammensetzung der Prüfkörnung gemäß TP Min-StB in die Körnungen 8/10, 10/11,2 und 11,2/12,5 mm unterteilt und mit Stabsieben den Kornformklassen 0-V nach PÖS (1968, vgl. a. TP Min-StB 82, 6.1.1.1) zugeordnet. Die auf diese Weise erfolgte Kornformerteilung beruht auf dem Verhältnis der Kornbreite zur Korndicke, wobei die Kornformgüte aufgrund immer enger werdender lichter Stababstände der Siebe von 0 bis V abnimmt und die Körner plattiger werden. Ein zunehmender Anteil von Splittkörnern mit einem Verhältnis Breite zur Dicke größer 2 (Kornformklassen III - V)

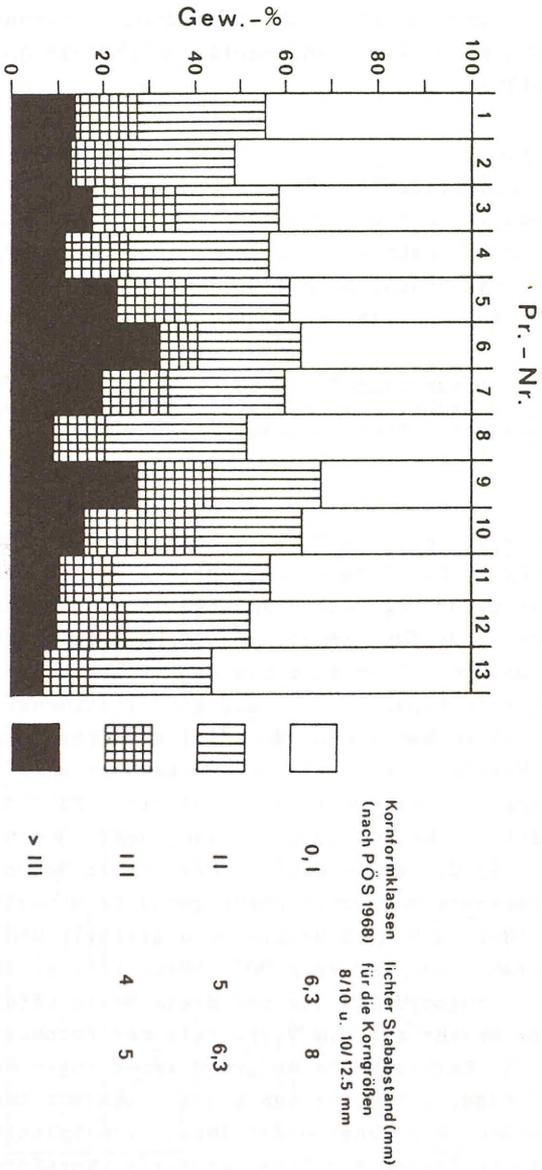


Abb. 6: Kornformverteilung der mit einem Laborbackenbrecher erzeugten Körnung 8/12,5 mm nach dem Verwerfen der Erstabsiebung.

führt nach Untersuchungen von NAGEL (1969) und LEINS et al. (1974) zu einem starken Anstieg der Absplitterungen bei Schlagversuchen. Die Kornformbestimmung ergab, daß bis zu 40 Gew.-% der im Labor erzeugten Splittkörner über diesem kritischen Grenzwert lagen (vgl. Abb 6).

Um eine Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse untereinander zu garantieren, wurden für die Splittschlagversuche ausschließlich die Kornformklassen 0 bis II verwendet. Ergänzend sei hinzugefügt, daß nach den TL Min-StB 83 das mit der Kornformschieblehre (DIN 52114, TP Min-StB) an Einzelkörnern bestimmte Verhältnis Länge zur Dicke nach wie vor als Qualitätskriterium Gültigkeit hat, obwohl dem Verhältnis Breite zur Dicke erheblich größere Bedeutung zukommt (LEINS et al. 1974, NAGEL 1969, PÖS 1968).

Für die Versuche an Brechsanden nach VOGLER (vgl. 3.3.5), die Bestimmung des säureunlöslichen Rückstandes und der naßchemischen Ca/Mg-Bestimmung wurde ausschließlich Material der für Schlag- und Frostversuche verwendeten Körnung 8/12,5 mm weiter zerkleinert, um die zu erwartenden Einflüsse der selektiv wirkenden mechanischen Laboraufbereitung zu begrenzen.

3.2 Petrographische Untersuchungen des Probenmaterials

Die nach stratigraphischen Gesichtspunkten geordneten Proben (Tab. 2) weisen in jeder Gruppe übereinstimmende, charakteristische Merkmale auf, so daß die petrographische Beschreibung auf fünf Gesteinstypen reduziert werden kann.

Unter Verwendung der im Gelände üblichen Hilfsmittel (Hammer, Lupe, 10 %-ige HCl) erfolgte die makroskopische Ansprache der entnommenen Handstücke. Darüber hinaus wurden von jeder der 13 Gesteinsproben drei mit Alizarin S angefärbte Dünnschliffe hergestellt und unter dem Polarisationsmikroskop auf Anteil, Größe und Form der Karbonatkomponenten sowie die Korngröße des karbonatischen Bindemittels untersucht. Die Abschätzung der Prozentan-

teile (Vol.-%) erfolgte unter Verwendung von Vergleichsbildern (FLÜGEL 1978) an jedem Schliff. Auch wenn mit der geringen Anzahl der Dünnschliffe nicht sämtliche Gesteinsvarietäten erfaßt werden konnten und das Schätzverfahren anhand von Vergleichsbildern nicht frei von subjektiven Fehlern ist, erlaubt diese Vorgehensweise einen guten Überblick über die wesentlichen Gesteinsmerkmale (vgl. Abb. 7).

Der CaO-/MgO-Gehalt wurde naßchemisch (Titration) bestimmt und als Calcit bzw. stöchiometrischer Dolomit berechnet. Röntgendiffraktometer-Aufnahmen des in erhitzter Salzsäure (10 %) unlöslichen Rückstandes $< 20 \mu\text{m}$ und die Bestimmung der Minerale in Körnerpräparaten des Rückstandes $> 20 \mu\text{m}$ ergänzten die petrographischen Untersuchungen. Auf die Abtrennung des unlöslichen Feinkornanteils wurde Wert gelegt, weil ein zunehmender Ton-/Siltgehalt die Verwitterungsbeständigkeit von Karbonatgesteinen entscheidend herabsetzt und zur Verringerung der Korngröße der Karbonatmatrix führt (MARSCHNER 1968).

In Abb. 7 sind die wichtigsten Ergebnisse der petrographischen Untersuchungen graphisch zusammengefaßt (vgl. a. Tab. 8).

3.2.1 Karbonatgesteine des Unterer Muschelkalks (muK, muO)

Sieht man von seltenen, sehr dünnen (cm-Bereich) Bruchschillagen ab, besteht das Probenmaterial ausschließlich aus feinkristallinem, hellgrauem, tonigem Kalkstein und Kalkmergelstein, der bevorzugt im cm- bis mehrere cm-Bereich geschichtet ist. Blaßgelbe und bräunliche Verwitterungsfarben treten häufiger auf.

Nach den Dünnschliffuntersuchungen weist das Gestein eine dominierende Korngröße $< 10 \mu\text{m}$ auf und ist als mikritisch zu bezeichnen. Dünne grobkörnigere, detritische Lagen aus Quarz und Feldspat sind ebenso wie Drucklösungssäume (Mikrostylolithen) vereinzelt erkennbar.

In den Körnerpräparaten des Säurerückstandes dominiert neben Aggregatkörnern (im wesentlichen aus Ton-Substanz und Quarz)

authigener und idiomorpher oder weiter gewachsener detritischer Quarz (< 0,1 mm lang). Authigene Kalifeldspäte und Albite treten häufig auf*). Der säureunlösliche Rückstand < 20 μ m besteht aus Quarz und Feldspat sowie Illit/Muskovit.

3.2.2 Karbonatgesteine der Gelben Basisschichten (mol GB)

Der feinkristalline kalkig-tonige Dolomitstein ist im Handstückbereich ungeschichtet. Die Gesteinsfarben variieren von hellgrau bis grau bei unverwittertem und wolkig blaßgelb bis ockergelb bei angewittertem Material. Aufgrund der Dolomitisierung meist nur schemenhaft erhaltene, überwiegend rundliche Komponenten sind auf wenige Lagen beschränkt.

Unter dem Mikroskop sind größere Dolomitrhomboeder (bis 0,2 mm \emptyset) jeweils umsäumt von einer mikritischen Matrix aus Dolomit, Calcit und Tonmineralen kennzeichnend (= offenes Gefüge). Der Calcitanteil an der Grundmasse wird mit zunehmender Anwitterung größer, Dolomitrhomboeder sind dann häufiger durch Calcit verdrängt worden.

Eindeutig authigene Silikatminerale fehlen im Rückstand > 20 μ m weitgehend, der im wesentlichen aus Aggregatkörnern mit überwiegendem Quarzanteil besteht. Der silikatische Feinkornanteil setzt sich vor allem aus Quarz und untergeordnet Feldspat sowie Illit/Muskovit zusammen.

3.2.3 Karbonatgesteine des Haupt-Trochitenkalks (mol HT)

Der im unverwitterten Zustand blaugraue, fein- bis grobkristalline Partikelkalkstein ist im Handstückbereich in der Regel ungeschichtet. Besonders häufig sind längliche bis runde Schillkörner

*) Eine detaillierte Beschreibung der authigenen Silikatminerale im Muschelkalk des Osnabrücker Berglandes ist den Arbeiten von LANGER (1983) und BRAUCKMANN (1984) zu entnehmen.

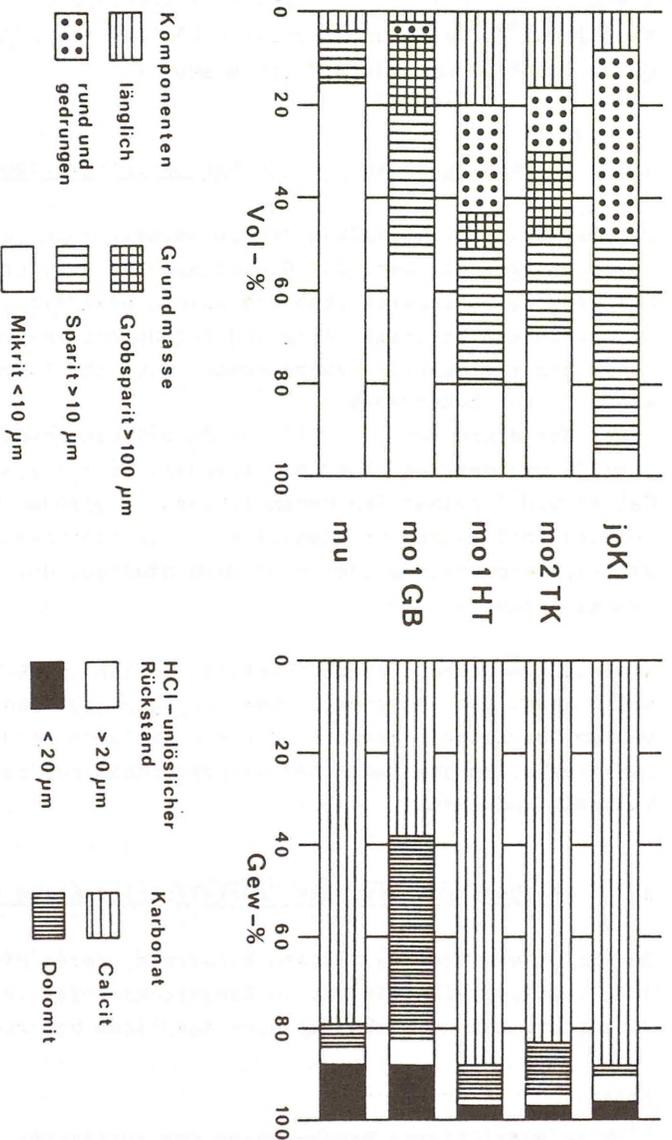


Abb. 7: Zusammengefaßte Ergebnisse der Dünnschliffuntersuchungen (links) und der Bestimmung des HCl-unlöslichen Rückstandes sowie des Dolomit- und Calcitgehaltes (rechts). Die Untersuchungsmethoden sind im Text erläutert.

im mm- bis mehrere mm-Bereich, die sich z.T. beim Kontakt mit Verwitterungslösungen rostbraun verfärbt haben. Grobschill tritt meist nur untergeordnet auf und ist selten schichtparallel eingeregelt. Die namengebenden Trochiten (bis max. 8 mm \emptyset) sind nahezu immer vorhanden, aber nie gesteinsbildend.

Der hohe Gehalt an karbonatischen Komponenten wird bei diesem Gestein erst in den Dünnschliffen deutlich, weil viele Partikel randlich mikritisiert und makroskopisch nur schwer zu erkennen sind. Mit abnehmender Häufigkeit treten folgende Komponenten auf: abgerundete bis runde Schillkörner mit fließendem Übergang zu Ooiden mit Einfach- oder Mehrfachschaalenbau um kleine Schillpartikel, Bruchschill verschiedener Organismengruppen (Muscheln, Terebrateln, Gastropoden), Trochiten, Pelloide und Intraklasten. Ein Teil der Komponenten ist grobspätig dolomitisiert.

Die Matrix ist vorwiegend sparitisch (Korngröße $> 10 \mu\text{m}$) und füllt als Zement (zwei Generationen) die ehemaligen Hohlräume zwischen den Komponenten aus. Lediglich bei den Dünnschliffen der Probe 8 überwiegt eine mikritische Grundmasse in Verbindung mit geringerem Partikelgehalt.

Den weitaus größten Anteil am säureunlöslichen Rückstand $> 20 \mu\text{m}$ machen die ausschließlich authigenen Quarze (bis 0,5 mm lang) aus. Erheblich seltenere Kalifeldspäte und Albite sind deutlich kleiner ($< 0,1 \text{ mm } \emptyset$). Quarz und Feldspat sind auch die Hauptkomponenten des Rückstandes $< 20 \mu\text{m}$, als Nebenkomponten treten Illit/Muskovit und etwas Pyrit auf. Bei der stark verwitterten Probe 8 (Lesesteine) ist eine geringe Menge Smektit nachweisbar.

3.2.4 Karbonatgesteine des Terebratelkalks (mo2 TK)

Der dem Haupt-Trochitenkalk sehr ähnliche, ebenfalls blaugraue, fein- bis grobkristalline Partikel- und Schillkalkstein weist häufig eine deutliche Paralleltexur durch schichtparallel eingeregelteten Grobschill von Brachiopoden (Coenothyris) auf. Daneben sind Schillkörner und Ooide gesteinsbildend. Angewittertes Material ist sehr oft braunfleckig, die Farbveränderungen sind nicht auf die Partikel beschränkt, sondern erfassen partiell auch die

Matrix. Trochiten sind sehr selten und kleinwüchsig. Die Durchsicht der Dünnschliffe ergab, daß im Vergleich zum Haupt-Trochitenkalk der Dolomitierungsgrad der Komponenten deutlich höher ist und Gastropodenschill fehlt. Darüber hinaus ist die nicht selten mikritische Matrix stellenweise mit Dolomitrhomboedern (bis 0,3 mm \emptyset) durchsetzt. Im Mittel ist der Gehalt an Komponenten geringer als beim Haupt-Trochitenkalk, auch wenn der makroskopisch besonders auffällige Grobschill das Gegenteil vortäuscht.

Quarz (häufig authigen, bis 0,3 mm lang) und daneben etwas authigener Feldspat (Albit, Kalifeldspat) bilden den säureunlöslichen Rückstand $> 20\%$ m. Beim Feinkornanteil kommen Illit/Muskovit und Pyrit hinzu.

3.2.5 Karbonatgesteine des Mittel-Kimmeridge (joKI)

Dieser schwarzgraue, fein- bis grobkristalline, oolithische Kalkstein ist im Handstückbereich in der Regel ungeschichtet. Eingestreut sind größere Bruchstücke (bis mehrere cm \emptyset) von Austern, Brachiopoden und Echinodermen. Mit der Lupe (10 x) sind meist isolierte, gerundete, klare Quarzkörner erkennbar. Die sehr dunkle Gesteinsfarbe geht vermutlich auf etwas bituminöse Substanz zurück, auf deren Vorhandensein ein leichter Bitumengeruch nach dem Anschlagen des Gesteins hinweist.

Eine insgesamt sehr gute Sortierung der dicht gepackten, sich häufig gegenseitig stützenden Komponenten (0,5 - 1 mm \emptyset) wird in den Dünnschliffen deutlich. Randlich mikritisierte Einfach- und Mehrfachooide mit verschiedenen, stark aufgearbeiteten Schillpartikeln und vereinzelt detritischen Quarzen als Kern überwiegen. Gerundete, eindeutig detritische Quarze (0,3 - 0,8 mm \emptyset) sind auch in der sparitischen Grundmasse gleichmäßig verteilt und erreichen einen Anteil bis ca. 10 Vol.-% am Schlibbild.

Der unlösliche Rückstand $> 20\%$ m setzt sich aus undurchsichtigen Aggregaten und detritischen Quarzkörnern zusammen. Pyrit, Illit/Muskovit und Chlorit waren außerdem im Rückstand $< 20\%$ m röntgenographisch nachweisbar.

3.2.6 Spezielle Aspekte der Dolomitverwitterung

Gelbe bis braungelbe, verwitterungsbedingte Farbveränderungen stehen bei allen untersuchten Gesteinstypen, mit Ausnahme der Probe 11, in offensichtlichem Zusammenhang mit dem Dolomitgehalt: Bei den Partikelkalken (Haupt-Trochitenkalk, Terebratelkalk) bleiben die Verfärbungen auf die häufig dolomitisierten Komponenten und auf kleine Flecken in der Matrix beschränkt. Im Gegensatz dazu erfaßt die Gelbfärbung bei den kalkig-tonigen Dolomitgesteinen der Gelben Basisschichten und einigen Partien des Unteren Muschelkalks das gesamte Gestein und dringt unregelmäßig, frontartig von Kluft- oder Schichtflächen ausgehend vor.

Bereits an der Aufschlußwand ist aufgrund intensiverer Durchfeuchtung und längeren Trocknungszeiten nach Regeneinwirkung eine höhere, die Frostbeständigkeit möglicherweise herabsetzende Wasseraufnahme der gelb angewitterten Gesteinspartien erkennbar. Ursache dafür ist die in angefärbten Dünnschliffen sichtbare Lösung und vor allem Verdrängung von Dolomit durch Calcit, die in der Literatur (z.B. FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977: 384) als Dedolomitisierung (= Recalcitisierung) bezeichnet wird. In das Dolomitgitter eingebautes Eisen wird dabei frei und führt zu den gelben bis braunen Farbtönen durch die Bildung von Brauneisen (vgl. auch DUCHROW & GROETZNER 1984: 181).

Die Erklärung der Dedolomitisierungsvorgänge ist problematisch, da Dolomit auch in CO_2 -haltigem Wasser eine im Vergleich zum Calcit geringere Löslichkeit aufweist (LIPPMANN 1973: 166). Nach de GROOT (1967 in CLARK 1980: 184) müssen Porenlösungen für die Dedolomitisierung eines Dolomitgesteins folgende Bedingungen erfüllen: niedriger CO_2 -Partialdruck, Temperatur unter 50°C , hohes Ca/Mg-Verhältnis. Andere Autoren (EVAMY 1963, FRIEDMAN & SANDERS 1967 in von ENGELHARDT 1973: 342) halten die Anwesenheit sulfathaltiger Lösungen für erforderlich, die durch die Verwitterung von Pyrit oder durch Auflösung von Sulfatmineralen entstehen.

Zweifelsfrei ist, daß diese, die wirtschaftliche Nutzung einschränkenden Verwitterungserscheinungen nicht alle Dolomitge-

steine in gleichem Maße betreffen. Zeitweise als Straßenbaumaterial abgebauter Zechsteindolomit (Ca 3) vom Silberberg (TK 3713, H: 34 28 000, R: 57 86 900) zeigt nicht nur makroskopisch, sondern auch in angefärbten Dünnschliffen keinerlei Anzeichen von Dedolomitisierungen, obwohl das Gestein im Tagesaufschluß den gleichen Verwitterungsbedingungen wie das Probenmaterial aus den Gelben Basisschichten ausgesetzt ist. Bereits vorangegangene Untersuchungen im Mittleren Muschelkalk (LANGER 1983) waren Anlaß, einen engen Zusammenhang zwischen Zusammensetzung, Ordnungsgrad (s.u.) und Verwitterungsverhalten des gesteinsbildenden Minerals Dolomit zu vermuten.

Zur Überprüfung dieser Annahme wurde für eine größere Anzahl Dolomitproben mit einem Röntgendiffraktometer (Fa. Philips, Typ PW 1730/1710) die genaue, gegen Quarz korrigierte Lage des Dolomit-Hauptreflexes (104) ermittelt. Liegt der d-Wert dieses Peaks über 2,886 Å, sind Fremdionen (Fe, Mn) oder ein Ca-Überschuß in das Dolomitgitter eingebaut. Der über das Intensitätsverhältnis des (221)- und (101)-Reflexes bestimmte Ordnungsgrad gibt einen Hinweis auf die Regelmäßigkeit der Wechsellagerung von Ca- und Mg-Ionen in Richtung der kristallographischen c-Achse (FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT 1965).

Die unterschiedlichen Kristallgitter-Eigenschaften der den verschiedenen stratigraphischen Einheiten entnommenen Dolomite werden in Abb. 8 sehr deutlich. Einer Ca:Mg = 50:50 Zusammensetzung mit einem überwiegend hohen Ordnungsgrad kommen die Dolomite aus dem Zechstein und teilweise dem Mittleren Muschelkalk am nächsten. Dolomite aus dem Röt und Unteren Muschelkalk weisen nur mäßige Verschiebungen des Hauptreflexes zu höheren d-Werten und niedrige Ordnungsgrade auf. Die Ursache dafür ist ein verstärkter Fe²⁺-, Mn²⁺- Einbau anstelle der nur geringfügig kleineren Mg²⁺-Ionen in das Kristallgitter. Ist Mg²⁺ teilweise durch die erheblich größeren Ca²⁺ - Ionen ersetzt, wird die Lage des Hauptreflexes hingegen sehr viel stärker beeinflusst, wie beim Dolomit aus den Gelben Basisschichten. Unter Verwendung eines Diagramms von FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT (1965) läßt sich der Ca-Überschuß mit bis zu 8 % bestimmen.

Resultat dieser Untersuchungen ist, daß gerade die von der idealen Zusammensetzung abweichenden Dolomite mit niedrigem Ordnungsgrad - verglichen mit denen aus dem Mittleren Muschelkalk (LANGER 1983) und Zechstein - sehr viel empfindlicher auf Verwitterungseinflüsse reagieren und zu verstärkter Auflösung und Dedolomitisierung neigen. Offenbar ist demzufolge die spezielle Zusammensetzung der Verwitterungslösungen lediglich ein verstärkender Faktor bei der Dolomitverwitterung. Ähnliche Beobachtungen machte auch KATZ (1968), der feststellte, daß Ca-Dolomite bevorzugt dedolomitiert werden. Ein analoges Beispiel für die destabilisierende Wirkung von in Kristallgittern eingebauten Fremationen ist der Mg-Calcit (vgl. LIPPMANN 1973). Physiko-chemische Bedingungen, die zur Entstehung gut geordneter, idealer Dolomite führen, sind sehr komplex und nicht an evapo-

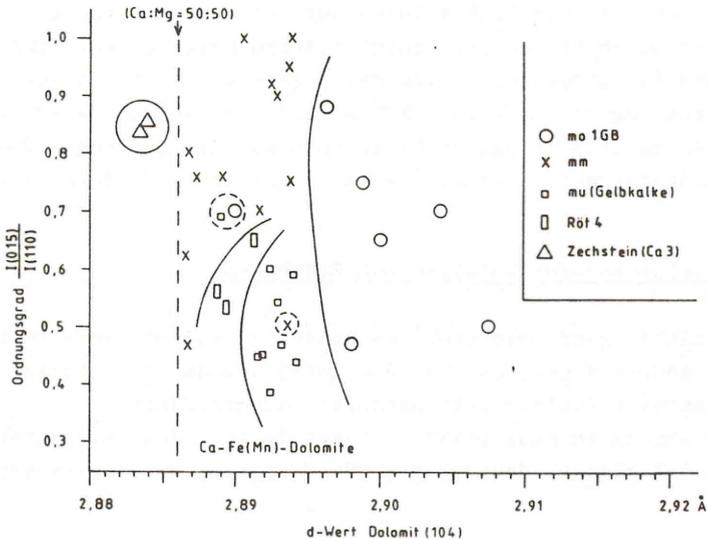


Abb. 8: Ordnungsgrade und d-Werte des Hauptreflexes (104) von Dolomit unterschiedlicher Gesteinsserien aus dem Osnabrücker Bergland

ritisch beeinflusste Gesteinsfolgen gebunden (vgl. z.B. FOLK 1975), auch wenn die Ergebnisse von FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT (1965) und die eigenen Untersuchungen in diese Richtung weisen. Auf eine Diskussion der umfangreichen Literatur zu diesem Themenkomplex muß aber hier verzichtet werden.

In der praktischen Anwendung, d.h. für die Bewertung des langfristigen zu erwartenden Verwitterungsverhaltens von Dolomitstein, kann die röntgenographische Bestimmung der Dolomitzusammensetzung wichtige Hinweise liefern. Daneben sind selbstverständlich Informationen über weitere, am Gesteinsaufbau beteiligte Minerale (z.B. Silt-/Ton Gehalt) und andere Parameter erforderlich. Eine Angabe von allgemein gültigen Richtzahlen ist schon aus diesen Gründen nicht möglich. Hinzu kommt, daß die Geschwindigkeit, mit der Dolomitlösung und Dedolomitisierung bis zur Gesteinszerstörung voranschreiten, nicht festgelegt werden kann. In aufgelassenen Steinbrüchen zu beobachtende Verwitterungserscheinungen der Gelben Basisschichten haben nur geringen Aussagewert, da das Gestein durch Klüfte und Schichtflächen bereits sehr lange Zeit vor dem Auffahren der Abbaue mit CO_2 -haltigen Oberflächenwässern in Berührung gekommen ist. Wahrscheinlich bleiben aber qualitative Veränderungen dieser Gesteine - auf die Lebensdauer einer Straßenkonstruktion bezogen - in vertretbaren Größenordnungen.

3.3 Versuchsdurchführungen und Ergebnisse

Alle nachfolgend beschriebenen Prüfungen wurden, wenn im Text nicht anders angegeben, bei der Amtlichen Materialprüfanstalt für das Bauwesen (Universität Hannover) durchgeführt.

In Anlehnung an neue DIN-Norm-Entwürfe ist "Gewichtsprozent (Gew.-%)" gleichbedeutend mit "Massenanteil in %" verwendet.

3.3.1 Bestimmungen der Rohdichte (TP Min-StB, Teil 3.2.1/2)

Der Quotient aus Trockengewicht m_{tr} und Volumen V_r einschließlich des von außen nicht zugänglichen Porenraumes eines Mineralstoffes

wird als Rohdichte ρ_R bezeichnet.

$$\rho_R = \frac{m_{tr}}{V_R} \quad (\text{g/cm}^3)$$

Die Rohdichtebestimmung erfolgte an jeweils 2 Probesteilen der Prüfkörnung 8/12,5 mm. Für "dichte (feste) Kalke und Dolomite" gibt die DIN 52100 als Richtzahlen $\rho_R = 2,65$ bis $2,85 \text{ g/cm}^3$ an. Alle beprobten Gesteinstypen liegen mit $\rho_R = 2,704$ bis $2,732 \text{ g/cm}^3$ innerhalb dieser Grenzwerte. Die Einzelergebnisse sind in Tab. 12 aufgelistet. Grundsätzlich ist festzustellen, daß angewittertes Probenmaterial niedrigere Rohdichten aufweist (vgl. a. SCHULZE 1975).

Auf die Bestimmung der Reindichte gemäß DIN 52102 wurde unter anderem wegen zu erwartender, methodischer Ungenauigkeiten verzichtet (SAUER 1978, CHITSAZIAN 1985).

3.3.2 Bestimmungen der Wasseraufnahme (DIN 52103) und des Sättigungswertes (DIN 52113).

Die Differenz zwischen dem Gewicht einer wassergelagerten Probe m_w und der getrockneten Probe m_{tr} wird als Wasseraufnahme bezeichnet.

$$w = m_w - m_{tr}$$

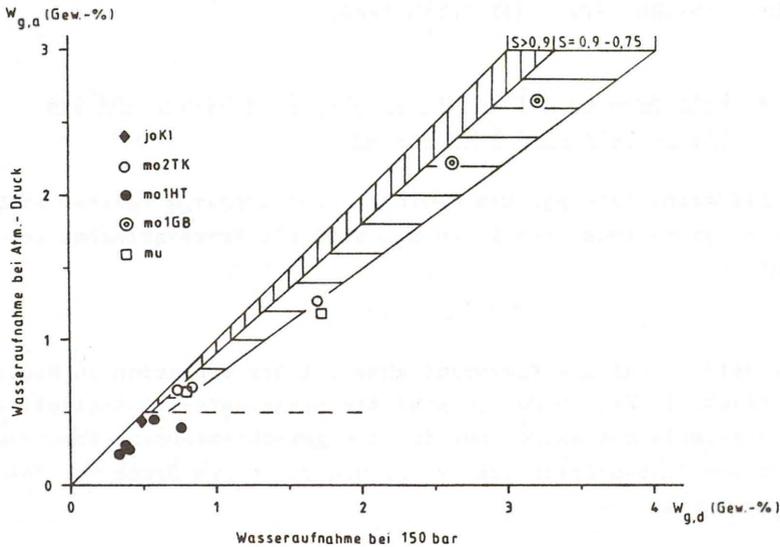
Entscheidend für die Wasseraufnahme ist der von außen zugängliche Porenraum. In Tab. 9 und 10 sind die Einzelwerte einschließlich der statistischen Auswertung für die gewichtsbezogene Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck ($W_{g,a}$) und bei einem Druck von 150 bar ($W_{g,d}$) angegeben.

$$W_g = \frac{w}{m_{tr}} \cdot 100 \quad (\text{Gew.-%})$$

Von jeder Gesteinsprobe wurden insgesamt sechs Handstücke ausgewählt und geprüft, die möglichst das gesamte petrographische Spektrum des Probenmaterials umfassen sollten. Da der Prüfumfang begrenzt war, konnte diese Anforderung nicht immer erfüllt wer-

den.

Bei diesen Versuchen wurden die gesteinspezifischen Unterschiede deutlich. Sogar stark angewitterte Lesesteine aus dem Haupt-Trochitenkalk weisen ebenso wie die Handstücke aus dem Mittel-Kimmeridge nur eine sehr geringe Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck ($< 0,5$ Gew.-%) auf. Demgegenüber ist das Wasseraufnahmevermögen bei Probenmaterial aus den Gelben Basisschichten generell, aber insbesondere bei angewitterten Handstücken um ein Vielfaches höher. Neben der diagenesebedingt erhöhten Porosität von Dolomitstein (WEYL 1960) wirkt sich hier besonders die Dedolomitisierung und Dolomitlösung bei zunehmendem Verwitterungseinfluß aus.



Nach den TL Min-StB 83 und der DIN 52106 gilt ein Gestein als ausreichend frostbeständig, wenn die Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck nicht über 0,5 Gew.-% liegt. Wird dieser Wert überschritten, ist nach DIN 52106 ein weiteres Kriterium für die Beurteilung der Frostbeständigkeit von Naturstein, das als Sättigungswert S (DIN 52113) bezeichnete Verhältnis der Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck zur Wasseraufnahme bei 150 bar, heranzuziehen.

Bei einem Sättigungswert $>0,90$ ist ein Gestein als nicht frostbeständig abzulehnen, bei Werten zwischen 0,75 und 0,90 sind Frost-Tauwechselfersuche erforderlich und bei $S < 0,75$ kann von einem ausreichenden Widerstand gegenüber Frostbeanspruchung ausgegangen werden. Grundlage für diese Bewertungen ist, daß die Volumenzunahme um circa 9 Vol.-% bei Gefrieren von Wasser immer dann ohne Gesteinszerstörung erfolgen kann, wenn die Porenfüllung unter Atmosphärendruck nicht mehr als 90 Vol.-% ($S < 90$) des bei 150 bar bestimmten, offenen Porenvolumens erreicht. Die mittleren Sättigungswerte für die untersuchten Proben sind kleiner als 0,90 und Tab. 11 bzw. Abb. 9 zu entnehmen.

Die Aussagekraft der Wasseraufnahme und des Sättigungswertes ist bereits seit längerer Zeit heftig umstritten. Wesentliche Einflußfaktoren auf die Frostbeständigkeit eines Gesteins bleiben bei Ermittlung dieser Parameter unberücksichtigt, und vor allem praktische Erfahrungen stellen den Sinn der DIN 52113 wie auch die in die DIN 52106 aufgenommenen Grenzwerte in Frage (z.B. FEIX 1982, KEIL 1970, REINHARDT 1970, SCHULZE 1969, 1975). Vermutlich aus diesen Gründen wird in den neuen TL Min-StB 83 kein Bezug mehr auf den Sättigungswert genommen.

3.3.3 Frost-Tauwechselfersuche (DIN 52104, Teil 1, Verf. N)

Ausreichende Frostbeständigkeit gehört zu den wichtigsten Eigenschaften, die Mineralstoffe im Straßenbau aufweisen müssen. Die nach DIN 52103 bestimmte Wasseraufnahme kann Hinweise auf das zu

erwartende Frostverhalten geben, erlaubt aber in der Regel keine sichere Bewertung eines Gesteins. Für die Frostbeständigkeit sind vor allem die Porenradien und die Porengeometrie von entscheidender Bedeutung (z.B. FEIX 1982, FITZNER 1970).

Sehr viel aussagekräftiger sind beanspruchungsnahe Frost-Tauwechselversuche, die nach DIN 52104 ("Blechdosenvorverfahren") an den 13 Gesteinsproben durchgeführt wurden. Abweichend von dieser Norm, die die Verwendung einer Lieferkörnung (z.B. 8/11 mm oder 8/16 mm) fordert, wurde die in ausreichender Menge verfügbare Körnung 8/12,5 mm befrosten. Die Bestimmung der Frostabsplitterungen erfolgte vorschriftsgemäß als Durchgang durch das 4 mm-Quadratlochsieb, so daß die Abweichungen von streng nach der DIN ermittelten Versuchsergebnissen vernachlässigbar gering sein dürften.

Aus nicht erkennbaren Gründen verlangen die TP Min-StB zwar gleiche Versuchsbedingungen wie die DIN 52104, im Gegensatz dazu muß aber die Absiebung auf einem 5 mm-Sieb erfolgen. Versuche mit mehreren Proben haben gezeigt, daß der Siebdurchgang (= Absplitterung) beim 5 mm-Sieb ungefähr um 10 % höher als beim 4 mm-Sieb ist. In der Tab. 13 und der Abb. 10 sind immer die Frostabsplitterungen nach DIN 52104 angegeben.

Sämtliche Gesteinsproben erfüllen die Anforderungen nach den maßgebenden TL Min-StB 83 mit mittleren Absplitterungen unter 3 Gew.-%. Das Material aus dem Haupt-Trochitenkalk weist eine herausragende Frostbeständigkeit auf und ist noch günstiger zu bewerten als die Proben aus dem Unteren Muschelkalk und dem Terebratelkalk. Im Verhältnis zur sehr geringen Wasseraufnahme (<0,5 Gew.-%) sind die Frostabsplitterungen bei dem Probenmaterial aus dem Mittel-Kimmeridge relativ hoch. Eine Wiederholung der Versuche ergab ähnliche hohe Werte, was möglicherweise im Zusammenhang mit sehr kleinen Porenradien steht (vgl. auch 3.3.5.5). Die höchsten Absplitterungen sind bei den Gesteinsproben aus den Gelben Basisschichten zu verzeichnen. Dieses Ergebnis verwundert nach den vorangegangenen petrographischen Untersuchungen und aufgrund der vergleichsweise hohen Wasseraufnahme nicht.

Um einen ersten Überblick über das Frostverhalten der verschiedenen Karbonatgesteine zu erhalten, wurden zu Beginn des Unter-

suchungsprogramms Versuche mit geringen Probenmengen aus Bohrun- gen durchgeführt. Dabei wurden 2 Teilproben (jeweils 40 Splittkörner 8/10 mm) mit demineralisiertem Wasser bzw. mit einer 1 %-igen NaCl-Lösung als Befrostungsflüssigkeit 20 Frost- Tauwechseln in einem Kryostaten (Typ MC 5; Fa. Colora) ausgesetzt und anschließend der Siebdurchgang durch das 5-mm-Sieb bestimmt. Die Frostabsplitterungen bei den mit NaCl-Lösung befesteten Proben waren um den Faktor 10 bis 20 höher als bei den mit reinem Wasser befesteten.

Die Korrelation der beiden Versuchsreihen ist mit $r = 0,5$ (bei 35 Wertepaaren) aufgrund der sehr geringen Probenmengen und den damit verbundenen hohen Streuungen nicht überzeugend. Ähnliche Versuchsreihen mit verschiedenartigen Gesteinen und etwas mehr Probenmaterial (ca. 300 g) ergaben nach HENNINGSSEN (et al. 1978, 1979) Korrelations-Koeffizienten zwischen 0,8 (bei 35 Wertepaaren) und 0,9 (bei 16 Wertepaaren).

3.3.4 Schlagversuche an Splitt (TP Min-StB 82, Teil 5.2.1.4)

Um die Beständigkeit gebrochener Natursteine gegenüber den viel- fältigen mechanischen Beanspruchungen in einem Straßenkörper, wie z.B. Druck-, Schlag- und Vibrationskräften, zu überprüfen, sind Schlagversuche an Splitt oder Schotter vorgeschrieben. Bei diesem Verfahren wird das Prüfgut in den Mörser eines Standardschlag- gerätes geschüttet und mit einer festgelegten Anzahl von Schlägen aus definierter Höhe durch einen Fallbären zertrümmert. Nach dieser Schlagbeanspruchung wird mittels einer Siebanalyse der sogenannte Schlagzertrümmerungswert bestimmt, der für Karbonatge- steine und die Prüfkörnung 8/12,5 mm 28 Gew.-% nicht überschrei- ten darf (TL Min-StB 83: Tab. 3).

Die Schlagprüfung an Splitt wurde bei vorliegenden Untersuchungen ausschließlich mit kornformsortiertem Material durchgeführt (vgl. 3.1).

Betrachtet man Abb. 11 und Tab. 14, so fällt auf, daß die middle- ren Schlagzertrümmerungswerte aus den jeweils drei Einzelergeb- nissen der insgesamt 13 Gesteinsproben zwischen 19,3 Gew.-% für

SZ 8/12 (Gew.-%)

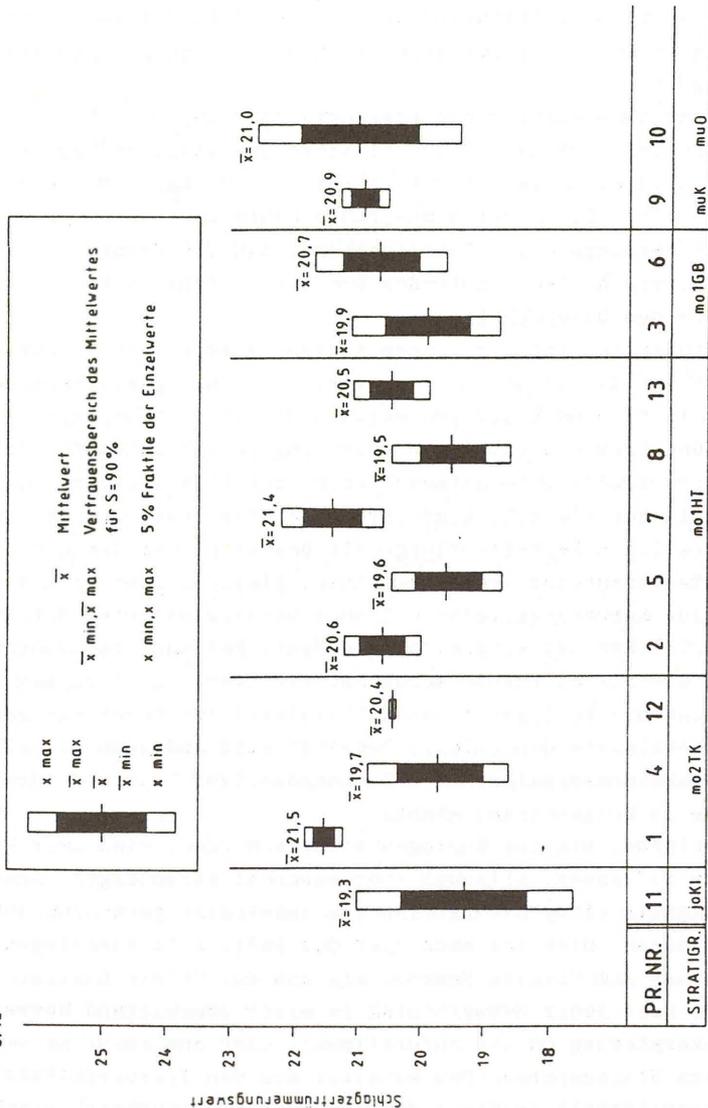


Abb. 11: Ergebnisse der Schlagversuche an der Körnung 8/12,5 mm gemäß TP Min-StB, Teil 5.2.1.4.

den Kalkstein aus dem Mittel-Kimmeridge und 21,5 Gew.-% für die Probe 1 aus dem Terebratelkalk liegen. Diese Werte sind für Karbonatgesteine hervorragend und weisen trotz der sehr unterschiedlichen Gesteinstypen eine nur überraschend geringe Spannweite auf.

Die Vertrauensbereiche der Mittelwerte überlappen sich weitgehend und lassen folglich keine signifikanten Qualitätsunterschiede deutlich werden. Lediglich die stärker angewitterte Probe 1 (mo 2 TK) mit z.T. mehreren mm-großen Hohlräumen aufgrund teilweise herausgelöster Schillpartikel und die Probe 7 (mol HT) aus dem Überkorn einer laufenden Produktion (vgl. Tab. 7) liegen etwas über dem Durchschnitt.

Die genannten Resultate erlauben einige interessante Schlußfolgerungen. Weder die Größe oder die Verzahnung der gesteinsbildenden Karbonatminerale noch der prozentuale Anteil der Komponenten, ihre Größe, Form und räumliche Anordnung beeinflussen den Schlagzertrümmerungswert entscheidend. Unter der Voraussetzung, daß Extremvarianten wie z.B. Kluftkarbonate oder Gesteine mit einem säureunlöslichen Feinsilt-/Tongehalt deutlich über dem der untersuchten Gesteinstypen unberücksichtigt bleiben, läßt sich diese Aussage für Karbonatgesteine offenbar verallgemeinern. Bereits SAUER (1978) kam bei vergleichenden Festigkeitsuntersuchungen an vier mittel- bis oberdevonischen Kalksteinvarietäten zu dem Ergebnis, daß die Festigkeit von Kalkstein-Splitt durch die geringe Mineralhärte des Calcits begrenzt wird und kaum mit allgemeinen Gesteinsmerkmalen wie z.B. Komponentenführung, Gefüge und Korngröße in Zusammenhang steht.

Geländebefunde, die von Geologen erhoben werden, sind zwar kaum in Zahlen zu fassen, erlauben aber manchmal eindeutigeren Aussagen zur Festigkeit eines Natursteins als aufwendige technologische Untersuchungen. Dies ist auch hier der Fall. Beim Anschlagen der Gesteine aus dem Unteren Muschelkalk und den Gelben Basisschichten führt fast jeder Hammerschlag zu einer überwiegend begrenzten Gesteinszerstörung um den Aufprallpunkt oder zumindest zu deutlich sichtbaren Schlagspuren. Das Material aus dem Terebratelkalk und Haupt-Trochitenkalk reagiert dagegen sehr viel spröder, erscheint erheblich "härter" und neigt meist erst nach mehreren, völlig

erfolglosen Schlägen auf die gleiche Stelle zu stärkerem Zersplittern. Ursache dafür ist der deutlich höhere Feinsilt-/Tongehalt der erstgenannten Schichtfolgen, der auch nach der selektiv wirkenden Aufbereitung immerhin noch bis zu 9 Gew.-% über dem der rückstandsarmen Gesteinsfolgen liegt. Trotzdem sind die Schlagzertrümmerungswerte nahezu gleich, was wie folgt begründet werden kann:

1. Das Prüfgut wird vor dem Versuch getrocknet. Gerade mergelige Karbonatgesteine können im trockenen Zustand außerordentlich hart sein, verlieren aber extrem stark an Festigkeit bei Wasserzutritt (z.B. KEIL 1970).
2. Da die überwiegend feinkörnigen Karbonatminerale bei tonreichen Gesteinen häufig von Tonhäutchen umgeben sind, werden beim Schlagversuch die nur kurzzeitig an den sich berührenden Ecken und Kanten der Splittkörner auftretenden Spannungsspitzen stärker gedämpft und auch durch Abrieb an diesen Stellen abgebaut. Dies ist möglich, weil sich Tonminerale durch vergleichsweise geringe Härte, gute Spaltbarkeit, Verformbarkeit und/oder z.T. auch Elastizität auszeichnen (vgl. z.B. BRAUNS et al. 1964). Nach HÖBEDA (1968: 187) weisen sogar kohlehaltige Tonschiefer eine gute Schlagfestigkeit auf.

Insbesondere bei mechanischen Dauerbelastungen muß aber vorausgesetzt werden, daß das Langzeitverhalten der Karbonatgesteine mit zunehmendem Tonanteil auch zunehmend ungünstiger wird.

Grundsätzlich fragwürdig erscheinen die vorgeschriebenen Schlagversuche an Splitt und Schotter, wenn das gebrochene Gesteinsmaterial als kornabgestuftes Mineralgemisch Verwendung finden soll, wie es bei den Karbonatgesteinen fast immer der Fall ist. Da die Hohlräume des Korngerüstes dann abgestützt sind, dürfte die Beanspruchung des Einzelkorns in der Straße wesentlich geringer als beim Schlagversuch mit der hohlraumreichen Prüfkörnung sein, so daß unter dieser Voraussetzung auch witterungsbeständiges Material mit geringeren Festigkeitseigenschaften sinnvoll im Straßenbau Verwendung finden könnte (LEERS &

JOHANNKNECHT 1966).

3.3.5 Untersuchungen an Brechsanden (nach VOGLER 1986)

Schlagversuche als Festigkeitsprüfungen an Mineralstoffen für den Straßenbau werden an bei 110 ° C getrockneten Prüfkörnungen durchgeführt, die aber stets noch geringe Mengen adsorptiv gebundenes Wasser enthalten (VOGLER 1980, 1984, 1988). Wassergelagerte Gesteine weisen gegenüber getrockneten fast immer einen z.T. erheblichen Festigkeitsabfall auf, der abhängig vom Gesteinstyp bei der Würfeldruckfestigkeit 10 - 50 % beträgt (HIRSCHWALD 1912) und vor allem in der UdSSR auch prüftechnische Bedeutung hat (PESCHEL 1977 in VOGLER 1984). Dieses sehr unterschiedliche Festigkeitsverhalten bei Durchfeuchtung eines Gesteins findet in den gültigen Regelwerken der Bundesrepublik Deutschland keine hinreichende Würdigung und wurde erst mit Veröffentlichungen von VOGLER (1984, 1988) über die Wasserempfindlichkeit von Splitten zur Diskussion gestellt.

Im vorliegenden Untersuchungsprogramm ermittelte technologische Kennwerte von Karbonatgesteinen boten sich für vergleichende Untersuchungen mit nicht genormten Trocken-/Naßversuchen nach VOGLER an. Herrn Dr. VOGLER vom Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen (GLA) wurden daher Brechsandproben für Setzungs- und Schüttelversuche zur Verfügung gestellt. Freundlicherweise überließ Herr Dr. VOGLER seine Versuchsergebnisse dem Verfasser zur Auswertung und Diskussion, wofür ihm an dieser Stelle noch einmal gedankt werden soll.

Die Beschreibungen der Versuchsanordnungen wurden einem internen Zwischenbericht für das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen (VOGLER 1986) weitgehend wörtlich entnommen.

3.3.5.1 Durchführung der Setzungsversuche an Brechsand

Ausgangspunkt der Setzungsversuche war folgende Beobachtung: Bei einachsialer statischer Belastung einer trockenen Splitt- oder Brechsandprobe, die in einem Stahlzylinder eingeschlossen

ist, stellt sich eine rasch abklingende Setzung ein. Wird die noch unter Belastung stehende Probe geflutet, beobachtet man eine weitere Setzung. Jede für sich betrachtet, liefert weder die Trocken- noch die Naßsetzung in Bezug auf die Gesteinsfestigkeit aussagekräftige Ergebnisse. Einflüsse der Verdichtung und der Kornform gehen hier in die Ergebnisse ein. Da jeder Versuch zwei Werte erbringt, besteht die Möglichkeit, die Naß- und Trockensetzung eines Versuchs aufeinander zu beziehen, wobei die genannten Einflußfaktoren stark gemindert werden. Der als "Wasserempfindlichkeit" w eines Splittes oder Brechsandes bezeichnete Wert ist das Verhältnis der Naßsetzung (S_n) zur Trockensetzung (S_t) in Prozent nach folgender Formel:

$$w = \frac{S_n}{S_t} \cdot 100 \quad (\%)$$

Um einen guten Setzungseffekt der Proben zu erreichen, wurden hohlraumreiche Brechsande der Körnung 1-2 mm verwendet. Sie wurden bis zur Gewichtskonstanz bei 110° C getrocknet und im Exsikkator über Silikagel abgekühlt. Für die Setzungsversuche wurden Stahlzylinder mit 42 mm Innendurchmesser und lichter Höhe von 84 mm unter Verwendung eines Stahlstempels mit 24 mm Höhe benutzt. Die Verdichtung der Brechsandprobe erfolgte durch Schlagen mit der in der DIN 18 126 (Bestimmung der Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung) beschriebenen Schlaggabel auf die Zylinderwand unter aufgelegtem Stempel so lange (ca. 30-50 Doppelschläge), bis praktisch keine Setzung beim Einrütteln mehr zu erkennen war. Bei eingerüttelter Probe soll die Stempeloberkante mit der Zylinderoberkante ungefähr bündig abschließen, was einer Füllhöhe von 60 mm und einem Volumen von 83 cm^3 entspricht.

Die Belastung der Probe erfolgte in einem bodenmechanischen Belastungsgerät. Zunächst wurde eine Vorlast von $0,1 \text{ N/mm}^2$ (1 kp/cm^2) aufgegeben (= Nullstellung). Darauf erfolgte die eigentliche Lastaufgabe mit $2,0 \text{ N/mm}^2$ (20 kp/cm^2). Die dabei auftretende Setzung wurde mit einer Meßuhr in den Zeitintervallen von 30, 60 und 120 sec. ermittelt. Zum letztgenannten Zeitpunkt wurde die noch unter Belastung stehende Probe durch einen am Fuß des Zylinders angebrachten Schlauchstutzen geflutet. Die sich nun

augenblicklich einstellende Setzung wurde in Abständen von 60 sec., insgesamt über 5 Minuten, registriert.

3.3.5.2 Ergebnisse der Setzungsversuche

An jeder Probe wurden 3 Versuche durchgeführt. Die Meßwerte können der Tab. 15 entnommen werden, die Mittelwerte und statistischen Vertrauensbereiche der Versuchsergebnisse sind nach stratigraphischen Gesichtspunkten geordnet in Abb. 12 dargestellt.

Vergleicht man die Resultate, so zeigt sich, daß sowohl die Gesteine aus dem Haupt-Trochitenkalk (mo1 HT) mit einem mittleren Naß-/Trockensetzungsverhältnis von $w = 54 \%$ als auch die des Terebratelkalks (mo2 TK) mit $w = 55 \%$ nur eine geringe zusätzliche Setzung bei Wasserzutritt aufweisen und deshalb als relativ wenig wasserempfindlich zu bewerten sind. Erheblich größer ist demgegenüber die Setzungszunahme bei den Proben aus dem Unteren Muschelkalk (mu) mit $w = 81,6 \%$, den Gelben Basisschichten (mo1 GB) mit $w = 88,0 \%$ und insbesondere aus dem Mittel-Kimmeridge (joKI) mit $w = 115 \%$. Auch wenn nach VOGLER (1984, 1986) die Trocken- und Naßsetzung immer nur im Verhältnis zueinander brauchbare Ergebnisse liefern können, sei auf die vergleichsweise größte "Gesamtsetzung" (Trocken- + Naßsetzung) des Probenmaterials aus den Gelben Basisschichten hingewiesen.

Die Aussagekraft dieser Meßwerte für die Haltbarkeit einer Straßenkonstruktion ist bisher noch ungeklärt. Eine Übertragung der Versuchsergebnisse auf die im Straßenbau verwendeten Körnungen erscheint schwierig (vgl. 3.3.5.5).

3.3.5.3 Durchführung der Schüttelversuche

Mit einer anderen Beanspruchungsart sollte die im Setzungsversuch nachgewiesene unterschiedliche Wasserempfindlichkeit der Gesteinskörnungen überprüft werden. Hierzu wurde ein Laborschüttelgerät verwendet, in das zylinderförmige Probenbehälter eingesetzt

wurden. Das Gerät der Firma Bachofen (Turbola T 20) erzeugt einen dreidimensionalen Bewegungsvorgang, der die Probe andauernd in zwei sich wechselweise vertauschende, pulsierende Wirbel versetzt. Die Drehzahl beträgt 42 Umdrehungen pro Minute, die Prüfdauer wurde mit 15 Minuten angesetzt. Die aus Edelstahl gefertigten, wasserdicht verschließbaren Prüfzylinder besitzen einen Innendurchmesser von 50 mm und nach Abzug der eingreifenden Deckel eine lichte Länge von 140 mm. Das Gerät kann mit 4 Zylindern bestückt werden. Als Prüfkorngröße wurde 1,25/2 mm gewählt. Untersucht wurden jeweils 100 g Brechsand, einmal nach Trocknung bei 110° C und Abkühlung im Exsikkator über Silikagel und zum anderen nach Wassertränkung im Vakuum. Zur Verstärkung des Abriebs wurden jeder Probe zwei Stahlkugeln von 20 mm \varnothing und eine von 25 mm \varnothing beigegeben. Als Prüfergebnis gilt die Absplitterung < 1 mm.

3.3.5.4 Ergebnisse der Schüttelversuche

Aus zeitlichen Gründen konnte jedes Gestein nur einmal trocken und naß geprüft werden, wodurch die statistische Abschätzung einer Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse mit gleichem Probenmaterial nicht möglich ist. Eine Übersicht über die zusammengefaßten Versuchsergebnisse gibt Tab. 3.

Besonders hervorzuheben ist die vergleichsweise geringe Trocken- und auch Naßabsplitterung bei den Proben aus dem Unteren Muschelkalk, die unter diesem Aspekt besser zu bewerten sind als das Material aus Terebratelkalk und Haupt-Trochitenkalk. Deutlich höher sind die erheblichen Naßabsplitterungen bei den Brechsanden aus den Gelben Basisschichten und vor allem aus dem Mittel-Kimmeridge.

Um die Wasserempfindlichkeit, d.h. die Festigkeitsabnahme des Probenmaterials bei Anwesenheit von Wasser und unter den oben beschriebenen Versuchsbedingungen beurteilen zu können, kann man nach VOGLER (1986) die Differenz zwischen Naß- und Trockenabsplitterung ins Verhältnis zur Trockenabsplitterung setzen und in Prozent angeben (vgl. Tab. 3). Hier zeigt sich, daß diese

Verhältniszahl beim Unteren Muschelkalk mit 97 % für das Gestein mit der geringsten Gesamtabsplitterung am größten ist, gefolgt vom Mittel-Kimmeridge-Kalk mit 80,3 %. Haupt-Trochitenkalk und Terebratelkalk ergeben die niedrigsten Werte. Nach der Interpretation von VOGLER (1986) sind die Ergebnisse so zu bewerten, daß die zuletzt genannten Gesteine bei Gegenwart von Wasser die günstigsten Festigkeitseigenschaften aufweisen.

Grundsätzlich sind aber auch diese Versuchsergebnisse in ihrer Bedeutung für die Haltbarkeit einer Straßenkonstruktion bisher nicht einzuschätzen (vgl. 3.3.5.5).

	Abspl. trocken (Gew.-%)	Abspl. naß (Gew.-%)	Diff. zwisch. Abspl. naß u. trocken (Gew.-%)	Diff. Abspl. naß im Verh. zur Abspl. trocken (%)
joKI (1 Probe)	19,91	35,89	15,98	80,3
mo1 TK (3 Proben)	11,28	17,99	6,71	59,5
mo1 HT (5 Proben)	13,72	18,96	5,28	38,5
mo1 GB (2 Proben)	16,96	27,63	10,67	62,9
mu (2 Proben)	8,68	17,15	8,47	97,6

Tab. 3: Nach stratigraphischen Gesichtspunkten zusammengefaßte Ergebnisse der Schüttelversuche (aus VOGLER 1986: Tab. 3)

3.3.5.5 Diskussion der Versuchsergebnisse

Unter Anwendung der Auswertemethoden von VOGLER (1986) weisen sowohl Brechsandproben des Haupt-Trochitenkalks als auch des Terebratelkalks bei beiden Versuchen übereinstimmend die geringsten Festigkeitsverluste durch Wassereinwirkung auf. Dieses Ergebnis war unter anderem aufgrund des nur sehr geringen Ton-/

Siltgehalts und der niedrigen Wasseraufnahme dieser Karbonatgesteine zu erwarten gewesen.

Um so mehr überrascht das scheinbar sehr ungünstige Abschneiden des Gesteinsmaterials aus dem Mittel-Kimmeridge, das im Osnabrücker Raum anerkannt hochwertig und im Straßenbau bewährt ist.

Im Vergleich zu den anderen Proben waren die Absplitterungen beim Schüttelversuch mit getrocknetem Brechsand aus Mittel-Kimmeridge-Kalkstein am höchsten. Dieses Ergebnis ist vor allem deshalb bemerkenswert, weil der Schlagversuch an Splitt 8/12,5 mm den besten Prüfwert, d.h. die geringsten Absplitterungen ergab. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die mechanischen Beanspruchungen des Prüfguts aufgrund der unterschiedlichen Versuchsanordnungen nicht gleichzusetzen sind. Beim Schüttelversuch werden die Brechsandpartikel weniger durch Schlagbeanspruchung zerkleinert als durch Reibung der einzelnen Körner aneinander. Der Abrieb wird darüber hinaus durch die den Proben beigegebenen Stahlkugeln (vgl. 3.3.5.3) und möglicherweise speziell bei diesem Gestein durch den detritischen Quarzanteil (nach Dünnschliffuntersuchungen ca. 10 Vol.-%; Korngröße 0,3 - 0,8 mm \varnothing) verstärkt. Da der Schüttelversuch aber nur einmal an der Gesteinsprobe durchgeführt werden konnte (vgl. 3.3.5.4), ist eine Diskussion der potentiellen Einflußfaktoren (z.B. auch Form und Oberfläche der Brechsandkörner etc.) auf das nicht durch Wiederholungen des Versuchs abgesicherte Ergebnis wenig sinnvoll.

Bei den Naßversuchen sind die Zusammenhänge, die zu den Prüfergebnissen führen, noch komplexer. VÖGLER (1984) konnte durch die Verwendung verschiedener Flüssigkeiten nachweisen, daß im wesentlichen die polaren Eigenschaften des Wassers für die Entfestigung eines Korngemisches bei Wasserzutritt verantwortlich sind. Der mechanische Schmiereffekt durch Flüssigkeit an den sich berührenden Ecken und Kanten der Brechsandkörner, der die Naßsetzungen verursachen könnte, ist demgegenüber von untergeordneter Bedeutung.

Wahrscheinlich sind für das relativ ungünstige Verhalten des Mittel-Kimmeridge-Kalksteins sehr enge Kapillaren verantwortlich, die sich aufgrund von Grenzflächenreaktionen schnell und weitge-

hend mit Wasser füllen, was zur Verringerung der Kohäsionskräfte zwischen den Mineralteilchen und zur Entfestigung der Brechsandpartikel führt. Mit den kleinen Porenradien wäre auch die im Verhältnis zur sehr niedrigen Wasseraufnahme vergleichsweise hohen Frostabsplitterung erklärbar (z.B. FITZNER 1970). Die Untersuchung der Gesteinsdünnschliffe konnte keinen Anhaltspunkt zur Lösung dieser Fragen liefern.

Besonders bemerkenswert ist die extrem geringe Naß- und Trockenabsplitterung bei den Schüttelversuchen mit den Proben aus dem Unteren Muschelkalk. Setzt man aber, wie von VOGLER (1986) vorgeschlagen, die Differenz zwischen Naß- und Trockensetzung ins Verhältnis zur Trockenabsplitterung (vgl. 3.3.5.4), wäre dieses Gestein, im Vergleich zu den anderen, qualitativ am schlechtesten zu bewerten. Dabei stellt sich grundsätzlich die Frage, inwieweit qualitative Aussagen brauchbar sind, die auf einer derartigen, von den Absolutwerten gelösten Verhältniszahl beruhen.

Die Brechsand-Proben aus Gesteinsmaterial der Gelben Basisschichten zeichnen sich durch vergleichsweise hohe zusätzliche Setzung bei Wasserzutritt aus und weisen erhebliche Absplitterungen bei den Schüttelversuchen auf. Dies ist sicher nicht zuletzt auf die beträchtliche Wasseraufnahme dieser Gesteine (vgl. 3.3.2) in Verbindung mit ihrem relativ hohen Ton-Siltgehalt (vgl. Tab. 8) zurückzuführen.

Beide Versuchsanordnungen sollen dazu dienen, das mechanische Verhalten von ungebundenem Straßenbaumaterial unter anderem bei Wassereinwirkung zu erfassen. Die Kritik VOGLERs, daß Straßenbaustoffe ausschließlich im realitätsfernen "trockenen" Zustand und nicht auch bei Anwesenheit von Wasser auf ihre technologischen Eigenschaften untersucht werden, ist zweifellos berechtigt. Ähnlich wie auch bei einigen zur Zeit üblichen Prüfverfahren lassen aber die oben diskutierten Versuchsergebnisse nicht ohne weiteres sichere Rückschlüsse auf die Eignung der Natursteine für den zu. So ergibt ein in der Praxis sehr bewährtes Gestein (Kimmeridge-Kalkstein, Pr. Nr. 11) ungünstigere Prüfwerte als die nach Geländebeobachtungen eindeutig weniger verwitterungsbeständigen und damit geringer dauerhaften Karbonatgesteine

aus dem Unteren Muschelkalk und den Gelben Basisschichten. Jüngste Untersuchungsergebnisse, von VOGLER (1988) mit vergleichbaren Versuchsanordnungen an petrographisch verschiedenartigen Gesteinssplitten (8/11 mm) ermittelt, sind ebenfalls nur unter größten Vorbehalten als Qualitätsmerkmale für Straßenbaustoffe interpretierbar.

Um mit diesen oder ähnlichen Versuchen eine praxisgerechtere Bewertung von Mineralstoffen vornehmen zu können, scheint neben weiteren Untersuchungen vor allem eine Modifizierung der Prüf- und Auswertebedingungen erforderlich zu sein.

3.4 Statistische Verfahren

Bei Auswertung von Meßwerten werden statistische Methoden erforderlich, deren Aussagen und mathematische Grundlagen einschlägigen Statistik-Lehrbüchern (z.B. SACHS 1974) zu entnehmen sind. Die im Text sowie in den Tabellen und Abbildungen verwendeten Abkürzungen für die verschiedenen statistischen Parameter sind in Tab. 17 erläutert.

3.5 Korrelationsanalyse

Beziehungen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen technologischen Versuche an gleichem Probenmaterial sind in Tab. 4 durch den Korrelationskoeffizienten r ausgedrückt, sollten aber trotz der angegebenen Sicherheiten aufgrund der nur geringen Probenzahl ($n = 13$) nicht überinterpretiert werden.

Erwartungsgemäß ist die positive Korrelation zwischen Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck und bei einem Druck von 150 bar mit $r = 0,99$ sehr hoch. Zwischen Wasseraufnahme und Frostabsplitterung bestehen ebenfalls eindeutige Beziehungen (vgl. Abb. 13), die unter Nichtberücksichtigung der extremen Probe Nr. 11 sogar mit $r = 0,94$ belegt sind. Der in Abb. 14 dargestellte Zusammenhang zwischen Frostabsplitterung und dem Verhältnis Na β - zur Trockensetzung (nach VOGLER 1986) ist hingegen weniger überzeugend. Ein übereinstimmendes Ergebnis auf ähnlichem statistischen Niveau er-

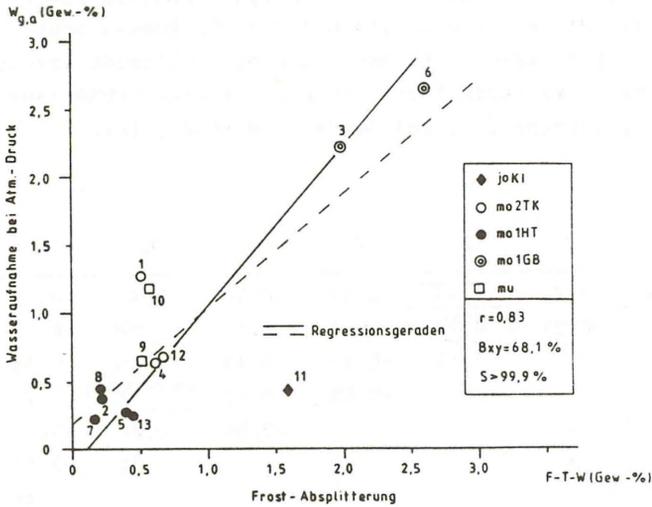


Abb. 13: Beziehungen zwischen der Wasseraufnahme bei Atmosphären-
druck und Frostabsplitterung.

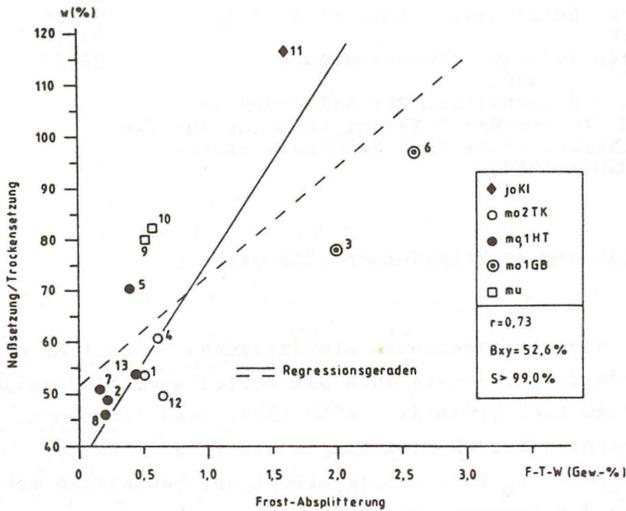


Abb. 14: Beziehungen zwischen dem Verhältnis Naβ-/Trockensetzung
(nach VOGLER 1986) und Frostabsplitterung.

mittelte VOGLER (1984: Abb. 10) für Mergelkalkstein sowie für Sand- und Siltstein mit $r = 0,74$ bei $n = 18$. Ebenso deutlich wie bei VOGLER (1984) zeigt sich auch, daß die Schlagfestigkeit von Splitt keine charakteristische Größe für andere mechanische Beanspruchungen, insbesondere bei Wassereinwirkung, ist.

	B	C	D	E	F	G	H
A	0,99	0,40	0,83	0,14	0,30	0,41	0,21
B		0,31	0,78	0,22	0,19	0,39	0,19
C			0,55	-0,48	0,48	0,55	0,54
D				-0,22	0,61	0,73	0,27
E					-0,56	-0,29	-0,11
F		n = 13				0,35	-0,14
G							0,60

A = Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck		
B = Wasseraufnahme bei 150 bar		
C = Sättigungswert		
D = Frostabsplitterung	S >	$ r >$
E = Schlagzertrümmerungswert (Splitt 8/12 mm)	99,9%	0,80
F = Rohdichte	99,0%	0,68
G = Verhältnis Naß- zur Trockensetzung (nach VOGLER 1986)	95,0%	0,55
H = Prozentuales Verhältnis der Differenz von Naß- und Trockenabsplitterung in Bezug auf die Trockenabsplitterung nach Schüttelversuchen (nach VOGLER 1986)		

Tab. 4: Matrix der Korrelationskoeffizienten r

Aufgrund der nicht untersuchten statistischen Verteilung der Meßwerte wurde zur Kontrolle auch die verteilungsunabhängige Rangkorrelation nach SPEARMAN (SACHS 1974: 308) berechnet. Für die oben erwähnten Beziehungen liegen die so ermittelten Korrelationskoeffizienten r_s geringfügig niedriger, bestätigen aber grundsätzlich die angegebenen Ergebnisse der Korrelationsrechnung nach PEARSON.

Die anderen, Tab. 4 zu entnehmenden Korrelationen sind für belastende Aussagen mit einem Bestimmtheitsgrad $B_{xy} < 50 \%$ zu gering. Nach LEINS et al. (1974) sollte B_{xy} für eine ausreichende Schärfe bei der Beschreibung von Zusammenhängen sogar 70 - 80 % (d.h. $|r| > 0,84$) erreichen.

3.6 Entnahme und Untersuchung einer Großprobe aus dem Unteren Muschelkalk

Die sehr guten Ergebnisse bei den technologischen Untersuchungen an Geländeproben waren Anlaß für die Entnahme, industrielle Aufbereitung und Untersuchung einer Großprobe (ca. 40 t) aus dem im Osnabrücker Bergland bisher nicht genutzten Unteren Muschelkalk.

Beprobte wurde ein Profilabschnitt östlich von Bissendorf (TK 3715, R: 34 44 920, H: 57 90 470; vgl. Prof. 7, Taf. I) ca. 7 bis 2 m unterhalb der markanten "Terebratelbank" (muW2d/muW2e) im oberen Drittel der Gesamtschichtfolge. Die Aufbereitung des mit einem großen Radlader gelösten Gesteins zu Mineralgemisch 0/45 mm erfolgte mit einer mobilen Anlage (Typ: VAR 12/20; Fa. Wageneder). Ungefähr 40 % des Aufgabegutes überstanden die Vorabsiebung nicht, der nach dem Durchgang durch die Prallmühle (80 mm Spaltweite) abgesiebte Überkornanteil war kleiner 5 %. Eine aus dem Mineralgemisch gemäß TP Min entnommene Durchschnittsprobe wurde von der Amtlichen Materialprüfanstalt für das Bauwesen (Universität Hannover) nach den derzeit gültigen Prüfnormen für Straßenbau untersucht.

Alle Prüfwerte erfüllen nach diesen Untersuchungen die Anforderungen nach TL Min - StB 83 (vgl. LANGER 1988: Anl. 3.10) und fielen nur beim Frost-Tauwechselfersuch und beim Schlagversuch an Splitt 8/12,5 mm etwas ungünstiger aus als die Werte für die im Labor aufbereiteten Proben 9 (muK) und 10 (muO) aus dem Unteren Muschelkalk. Allerdings entspricht die Kornzusammensetzung nicht den gängigen Vorschriften für Schottertragschichten 0/45 mm, da die groben Fraktionen über 16 mm unterrepräsentiert sind und die Sieblinie außerhalb der zulässigen Bereiche liegt. Aufgrund der durch die Schichtung bereits sedimentär im 5-20 mm-Bereich ange-

legten Trennflächen ist zu erwarten, daß die Kornzusammensetzung durch Veränderung der Aufbereitungstechnik nur geringfügig verbessert werden kann.

Es sollte jedoch geprüft werden, inwieweit sich aus den Gesteinen des Unteren Muschelkalks nichtqualifizierte Wegebbaumaterialien, Grabenfüllmassen u.ä. herstellen lassen. Dadurch könnte sich die Verwendung hochwertiger Materialien für solche Bauvorhaben erübrigen und so eine indirekte Schonung der Reserven an hochwertigen Gesteinen erreicht werden.

4 GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

In zahlreichen Wirtschaftsbereichen hängen die Nutzungsmöglichkeiten der Karbonatgesteine nicht von ihren physikalischen Eigenschaften, sondern von ihrer chemischen Zusammensetzung ab. Aus diesem Grund wurden geochemische Untersuchungen durchgeführt, die im wesentlichen auf das für den Straßenbau nur bedingt oder überhaupt nicht verwendbare Gesteinsmaterial aus dem Unteren und Mittleren Muschelkalk beschränkt blieben.

4.1 Methodik

Die Beprobung der Schichtfolgen sollte einen möglichst vollständigen und repräsentativen Überblick über die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Karbonatgesteine ermöglichen. Eine hierfür erforderliche, sehr aufwendige Entnahme von Schlitzproben aus Tagesaufschlüssen konnte weitgehend umgangen werden, da das Kernmaterial der beiden Kernbohrungen B 2 und B 3 (Schledehausen, Hollage) durch den Unteren Muschelkalk sowie der Kernbohrung B 1 (Rulle 1), die den gesamten Mittleren Muschelkalk durchteuft hatte, zur Verfügung stand. Ergänzend wurden 21 Schlitzproben aus 2 Aufschlüssen im Mittleren Muschelkalk entnommen (R: 34 40 800, H: 57 91 340; 5,2 m Profil, 10 Proben und R: 34 35 980, H: 57 89 580; 8,2 m Profil, 11 Proben), deren Analyseergebnisse gemeinsam mit denen der B 1 statistisch ausgewertet wurden. Zunächst wurden die Kernstücke mit einem Meißel halbiert und lithologisch mög-

lichst homogene Abschnitte bis zu 2 m Länge zu einer Einzelprobe zusammengefaßt. Die Zerkleinerung dieses Materials auf ca. 0 - 2 mm erfolgte mit einem Laborbackenbrecher und die Reduzierung der Probenmenge mit Probenteilern verschiedener Größe. Für das analysefeine Mahlen der Proben fand eine Achat-Scheibenschwingmühle Verwendung. Die Bestimmung der geochemischen Hauptbestandteile und Spurenelemente erfolgte mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA, Gerätetypen: Philips PW 1450, 1400) im Labor der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Folgende Oxide und Elemente wurden routinemäßig analysiert:

Geochemische Hauptbestandteile: CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ,
 K_2O , TiO_2 , Na_2O , P_2O_5 , MnO

Spurenelemente: Ba, Bi, Ce, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Pb,
Rb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr

Darüber hinaus wurde von jeder Probe der Glühverlust (LOI) bei 1000°C bestimmt. Da das Probenmaterial aber nicht in mehreren Stufen erhitzt (105°C , 500°C) und anschließend erneut gewogen wurde, sind diese Werte für die Berechnung des Gesamtkarbonatgehalts nicht brauchbar und ausnahmslos zu hoch.

Die im Text diskutierte und in den Anlagen auszugsweise wiedergegebene statistische Auswertung der Analyseergebnisse ist vollständig unter Nr. 103951 im Archiv des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung dokumentiert. Den Archiv-Unterlagen sind auch die Analysenwerte für die einzelnen Proben zu entnehmen.

4.2 Die geochemischen Hauptbestandteile der Gesteine des Unteren und Mittleren Muschelkalks

Die geochemischen Komponenten CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , Na_2O , P_2O_5 und MnO ergeben addiert mit dem Glühverlust immer mehr als 99 Gew.-% des untersuchten Probenmaterials. Hervorzuheben ist dabei, daß die Analysenwerte für TiO_2 und Na_2O im Mittel unter 1 Gew.-%, für P_2O_5 und MnO unter 0,1 Gew.-% liegen. In der Tab. 18 sind die statistischen Parameter für die geoche-

mischen Hauptbestandteile der untersuchten Gesteine tabellarisch zusammengefaßt. Die arithmetischen Mittelwerte (\bar{x}) lassen aber aufgrund der sehr unterschiedlichen Länge der Probenahmeintervalle (0,05 - 2,0 m) noch keine sichere Aussage über die mittlere Gesteinszusammensetzung zu. Deshalb wird für die stratigraphischen Einheiten des Unteren Muschelkalks auch der gewichtete Mittelwert (\bar{x}_G) in Tab. 19 angegeben, dessen Berechnungsgrundlagen ebenfalls dieser Tabelle zu entnehmen sind. Der zum Teil angegebene Median ist derjenige Wert in der nach ihrer Größe geordneten Rangreihe der Meßwerte, der die Reihe halbiert. Er erlaubt beim Vorhandensein einzelner, extrem hoher Meßwerte eine erheblich bessere Vorstellung von der Häufigkeitsverteilung in einer Meßwertreihe als der arithmetische Mittelwert \bar{x} .

Rechnet man die Gehalte der Proben an CaO und MgO in Karbonat um, so betragen die Gesamtkarbonatgehalte im Mittleren Muschelkalk 50 - 87,1 Gew.-%, im Unteren Muschelkalk der B 2 (Schledehausen) 71,3 - 93,6 Gew.-% und in der B 3 (Hollage) 70,7 - 89,0 Gew.-%. Bei diesen Angaben ist zu berücksichtigen, daß ein geringer Anteil des Gesamt-CaO und -MgO silikatisch gebunden ist und die errechneten Karbonatwerte, abhängig von der Menge und Zusammensetzung der nichtkarbonatischen Gesteinskomponenten, generell etwas zu hoch sind. Dies wird besonders dann deutlich, wenn Schichtfolgen einen beträchtlichen detritischen Mineralbestand aufweisen. So ist bei zwei Proben aus dem Mittleren Muschelkalk und fast sämtlichen Proben aus dem Oberen Buntsandstein der MgO-Gehalt zu hoch, um mit dem CaO zu stöchiometrischem Dolomit verrechnet zu werden. Mineralogische Untersuchungen haben für den Mittleren Muschelkalk der B 1 (Rulle 1) gezeigt, daß die Tonmineralkomponente vorwiegend aus MgO-reichem Chlorit (Klinochlor /Grochaut) besteht (LANGER 1983). Magnesit, der nach DEHNE & STEIN (1987) in der ebenfalls aus karbonatischen und sulfatischen Gesteinen aufgebauten Serie des Zechstein 3 am westlichen Harzrand sogar gesteinsbildend auftritt, konnte im Mittleren Muschelkalk der B 1 (Rulle 1) nicht nachgewiesen werden. Auch im Oberen Buntsandstein dürfte der MgO-Überschuß vor allem an Tonminerale der Chlorit-Gruppe, wie z.B. Corrensit, gebunden sein (BÜHMANN & RAMBOW 1979). Für den vergleichsweise karbonatreichen

Unteren Muschelkalk liegt der aus den RFA-Werten errechnete Gesamtkarbonatgehalt wahrscheinlich kaum mehr als 2 Gew.-% über dem "wahren" Gehalt, zumal Illit/Muskovit und Quarz die überragenden Hauptkomponenten des säureunlöslichen Rückstandes sind (vgl. 3.2.1). Angesichts weiterer Fehlerquellen in dieser Größenordnung, wie z.B. der keineswegs stöchiometrischen Karbonatzusammensetzung (vgl. 3.2.6, s.u.) und einem methodischen Fehler von ± 1 % des Analysenwertes (Angabe des Labors), ist es vertretbar, die CaO- und MgO-Werte für den Unteren Muschelkalk in Karbonat umzurechnen und anzugeben (vgl. Taf. I u. II).

Beim Vergleich der arithmetischen mit den gewichteten Mittelwerten (vgl. Tab. 18 u. 19) fällt auf, daß sie für jeweils den gesamten Unteren Muschelkalk der B 2 (Schledehausen) und B 3 (Hollage) nur in den Dezimalstellen hinter dem Komma voneinander abweichen. Bei kürzeren Profilabschnitten mit wenigen Proben und sehr unterschiedlicher Länge der Beprobungsintervalle wird der Unterschied zwischen dem arithmetischen und gewichteten Mittelwert aber gravierender.

In Tab. 19 sind die gewichteten Mittelwerte für die stratigraphischen Untereinheiten des Unteren Muschelkalks (vgl. 2.1) angegeben, die sich nur im Bereich des Horizonts der Oolithbänke (μuO) deutlich von den Mittelwerten des gesamten Unteren Muschelkalks durch höhere MgO- und ca. 4 Gew.-% höhere Gesamtkarbonatgehalte unterscheiden. Stellt man die nach Stratigraphie geordneten, gewichteten Mittelwerte der beiden Profile durch den Unteren Muschelkalk einander gegenüber (Tab. 19), so zeigt sich, daß in sämtlichen stratigraphischen Einheiten der B 2 (Schledehausen) die Gesamtkarbonatgehalte um bis zu 3,9 Gew.-% höher (Profilbereich μuK) und die Gehalte an SiO_2 , Fe_2O_3 und Al_2O_3 etwas niedriger sind als in der B3 (Hollage). Eine fazielle Interpretation dieser Befunde erscheint nicht sinnvoll, weil der Kerngewinn bei der B 2 (Schledehausen) vergleichsweise unvollständig war und eine selektive Anreicherung karbonatreicherer Partien durch den Bohrvorgang nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Fe_2O_3 -Gehalte betragen für den Unteren Muschelkalk im Mittel (\bar{x}) 1,7 bzw. 1,9 Gew.-% und für den Mittleren Muschelkalk 2,8

Gew.-%. Ein Teil des Eisens stammt aus im Gestein feinverteiltem Pyrit (z. T. Markasit ?), der bei unverwitterten Kernproben stellenweise mit der Lupe (10 fach) erkennbar ist.

Spezielle Röntgendiffraktometer-Untersuchungen (vgl. 3.2.6) lieferten aber auch Hinweise auf den Einbau von Fe^{2+} - anstelle von Mg^{2+} -Ionen in die Dolomite des Unteren Muschelkalks. Die positive Korrelation zwischen MgO und Fe_2O_3 (vgl. Taf. V, Abb. a; Tab. 20, 21) mit Korrelationskoeffizienten von $r = 0,52$ (B 3 Hollage) bzw. $r = 0,74$ (B 2 Schledehausen) bestätigt dieses Ergebnis.

Ein sehr enger Zusammenhang zwischen den Eisen- und Mangan-Gehalten im Unteren Muschelkalk wird durch $r = 0,95$ (B 3 Hollage) und $r = 0,81$ (B 2 Schledehausen) belegt (vgl. Taf. V, Abb. c; Tab. 20 u. 21). Beide Elemente verhalten sich bezüglich Herkunft, Mobilisation, Transport und Ausfällung geochemisch sehr ähnlich (vgl. z.B. SCHULZE 1975). Sehr wahrscheinlich stammt ein großer Teil des analysierten MnO ebenfalls aus dem Dolomit des Unteren Muschelkalks. Sowohl die positiven Korrelationen zwischen MgO und MnO als auch die negativen Korrelationen zwischen CaO und MnO stützen diese Vermutung (vgl. Taf. V, Abb. d).

Für den Mittleren Muschelkalk konnte gezeigt werden (vgl. 3.2.6), daß Dolomit dieser stratigraphischen Einheit nahezu ideal zusammengesetzt ist und Fremdionen wie Eisen und Mangan nur in geringem Umfang in das Kristallgitter eingebaut sein können. Auch dieser Befund wird durch die geochemischen Untersuchungen bestätigt, da die Fe_2O_3 -Gehalte mit abnehmendem MgO -Gehalt sogar zunehmen (vgl. Taf. V, Abb. a). Eisen und teilweise auch Magnesium sind hier offenbar an die Chlorit-Mineralen gebunden, die zumindest in der B 1 (Rulle) den weitaus größten Anteil am nicht-karbonatischen Mineralbestand des Mittleren Muschelkalks ausmachen (LANGER 1983, s.o.). Damit wird auch die klare, linear-positive Beziehung zwischen Al_2O_3 und Fe_2O_3 (Taf. V, Abb. b) im Mittleren Muschelkalk erklärbar.

Die mittleren SiO_2 -Gehalte liegen im Unteren Muschelkalk um 11 Gew.-%, im Mittleren Muschelkalk bei 18 Gew.-%. Sie gehen vor allem auf die detritischen Gesteinskomponenten Quarz, Tonminerale und Feldspäte zurück. Beide letztgenannten Mineralgruppen bestehen neben SiO_2 im wesentlichen aus Al_2O_3 , K_2O und speziell die

Tonminerale auch untergeordnet aus TiO_2 (CORRENS 1971/1972). Diese geochemischen Komponenten weisen daher entsprechend gute, positive Korrelationen untereinander auf (Tab. 20-22). Eine bevorzugte Bindung der P_2O_5 -Gehalte an den nichtkarbonatischen Mineralbestand ist ebenfalls deutlich (vgl. Taf. V, Abb. f). Sie wurde von SCHULZE (1975: 64) auch bei den Karbonatgesteinen des Korallenooliths im Wesergebirge festgestellt.

Bemerkenswert ist, daß sowohl Quarz, K-Feldspat und Na-Feldspat häufig authigen sind (vgl. 3.2.1, LANGER 1983). Diese im Raum Osnabrück zu beobachtende verstärkte Neu- und Umbildung von Silikatmineralen im Muschelkalk geht auf den Einfluß des Bramscher Plutons zurück (LANGER 1983, BRAUCKMANN 1984), der nach seiner Intrusion eine Hochdiagenese in den überlagernden Sedimenten bewirkte. BRAUCKMANN (1984) konnte für den Oberen Muschelkalk zeigen, daß die Häufigkeit der neugebildeten Silikate und deren Größe ebenso wie die Kristallinität der Tonminerale mit Annäherung an diese Wärmeanomalie signifikant zunehmen. In diesem Zusammenhang sind die im Vergleich zur B 2 (Schledehausen) doppelt so hohen Na_2O -Gehalte in der B 3 (Hollage; $\bar{x} = 0,9$ Gew.-%) hervorzuheben. Sie könnten ein Hinweis auf stärkere Neubildung von Albit in der B 3 (Hollage) sein, die fast 20 km näher als die B 2 an der Region mit der maximalen Aufheizung durch den Intrusivkörper liegt. Hier sind noch weitere Untersuchungen notwendig, die den möglichen Chemismus der Porenlösungen und die Mineralogie des primären Sediments (= Fazies) berücksichtigen.

4.3 Spurenelemente

Sämtliche Einzeldaten einschließlich der statistischen Kennwerte sind unter Nr. 103951 im Archiv des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung in Hannover dokumentiert, da die sehr umfangreichen Datenmengen hier nicht mitgeteilt werden können. Detaillierte Diskussionen, Interpretationen und Darstellungen der Elementverteilungen in den jeweiligen Profilen, die über den Rahmen vorliegender Arbeit hinausgehen, sind für eine spätere Publikation vorgesehen.

4.3.1 Strontium und Barium

Die mittleren Strontiumgehalte betragen in den beiden untersuchten Profilen durch den Unteren Muschelkalk 538 (B 3, Hollage) und 646 ppm (B 2, Schledehausen). Von FLÜGEL & WEDEPOHL (1967: Tab. 5) zusammengestellte Durchschnittswerte aus zahlreichen Kalksteinanalysen liegen annähernd in der gleichen Größenordnung (370 - 610 ppm). Extremgehalte bis zu 5416 ppm wurden im Raum Osnabrück in der B 2 (Schledehausen) im Grenzbereich Unterer Muschelkalk/ Oberer Buntsandstein (Röt) festgestellt. Sie gehen vermutlich auf Coelestin zurück, der mittels Röntgendiffraktometer-Aufnahmen im höchsten Röt dieser Bohrung nachgewiesen werden konnte.

Generell dürfte aber der größte Teil des Strontiums im Muschelkalk in das Kristallgitter des Calcits eingebaut sein. Rezente, marine Karbonatsedimente bestehen aus Calcit, Aragonit und Mg-Calcit. Sie enthalten nach Literaturangaben fast immer zwischen 1000 und 10000 ppm Strontium (z.B. WEDEPOHL 1969, 1970). Hervorzuheben ist dabei, daß die Kristallstruktur des Aragonits beim Strontiumeinbau gegenüber Calcit bevorzugt wird, was auch durch experimentelle Untersuchungen bestätigt wurde (z.B. USDOWSKI 1973). Bei der Diagenese werden Aragonit und Mg-Calcit in stabileren Calcit überführt, der dann weiteren Lösungs- und Wiederausfällungsprozessen unterliegt. Durch diese Stoffumsätze verarmt das Sediment, abhängig von der Offenheit des Porenwassersystems und dem Chemismus der Porenlösungen, zunehmend an Strontium (z.B. WEDEPOHL 1970) mit dem Ergebnis, daß z.B. prätertiäre Karbonatgesteine fast immer erheblich niedrigere Sr-Konzentrationen (im Mittel 460 ppm) als jedes rezente marine CaCO_3 aufweisen (WEDEPOHL 1979). BAUSCH (1965) beobachtete in süddeutschen Malmkalken zunehmende Strontiumgehalte mit steigendem Tonanteil und hält auch die Bindung von Strontium an die Tonmineralkomponente des Muschelkalks in der Forschungsbohrung Dinkelsbühl für möglich (MEDUNA & BAUSCH 1985). Die von BAUSCH (1965) vermutete Adsorption des Strontiums an Tonminerale ist umstritten (WEDEPOHL 1969: 20). Gegen einen solchen Zusammenhang im Osnabrücker Muschelkalk sprechen die positiven Korrelationen zwischen Sr/CaO

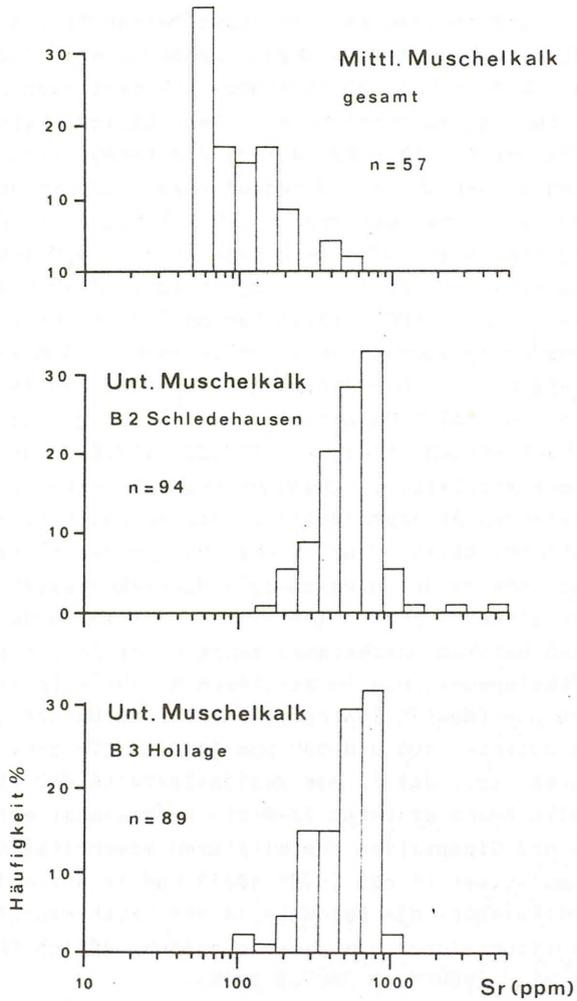


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung des Elements Sr in den Karbonatgesteinen des Mittleren und Unteren Muschelkalks.

und nicht vorhandene oder sogar niedrige, negative Korrelationen zwischen Sr und anderen geochemischen Bestandteilen wie K_2O bzw. Rb, die überwiegend an Tonminerale gebunden sind (vgl. Tab. 21, Tafel V g). Die in Tab. 21 angeführten Korrelationskoeffizienten für Strontium lassen aufgrund einzelner Extremgehalte dieses Elements in der B 2 (Schledehausen) die tatsächlich vorhandenen Beziehungen zu den übrigen geochemischen Komponenten allerdings nicht erkennen. Berechnet man aber die Koeffizienten mit einer verteilungsfreien Methode (Rangkorrelation n. SPEARMAN) ergibt sich beispielsweise für Sr/CaO $r_s = 0,42$ ($S > 99,9 \%$) und für Sr/Rb $r_s = -0,21$. RIECH (1978) kam nach sehr detaillierten Untersuchungen im süddeutschen Muschelkalk zu dem Ergebnis, daß die Total-Sr-Gehalte mit steigendem Tonanteil stark abfallen und sieht daher ebenfalls Calcit als Haupt-Sr-Träger an.

Nach BAUSCH (1968; in SCHULZE 1974:61) besitzt Dolomit aufgrund der kompletten, metasomatischen Verdrängung von Calcit und der geringen Aufnahmefähigkeit des Dolomitgitters für Strontium durchschnittliche Gehalte von 100 ppm und weniger. Damit können die voneinander abweichenden Häufigkeitsverteilungen des Strontiums im vorwiegend dolomitischen Mittleren Muschelkalk und im kalkigen Unteren Muschelkalk zwanglos erklärt werden (Abb. 15). Das Häufungsmaximum im Mittleren Muschelkalk liegt zwischen 50 und 200 ppm (Median 105 ppm), im Unteren Muschelkalk in beiden Bohrungen zwischen 400 und 900 ppm (Median 575 bzw. 549 ppm). Hervorzuheben ist, daß in den Residualmergeln des Mittleren Muschelkalks keine erhöhten Sr-Werte nachweisbar waren, obwohl Anhydrit- und Gipspartien des Mittleren Muschelkalks Gehalte bis 1 Gew.-% aufweisen können (KÜHN 1964) und in der süddeutschen Bohrung Dinkelsbühl die Dolomite in der Nachbarschaft der Sulfatzonen strontiumreicher als jene in ausschließlich karbonatischen Komplexen sind (MEDUNA & BAUSCH 1985).

Hingegen sind die Barium-Gehalte im Mittleren Muschelkalk ($\bar{x} = 177$ ppm, Median 130 ppm) gegenüber denen im Unteren Muschelkalk der B 3 (Hollage; $\bar{x} = 81$ ppm, Median 65 ppm) deutlich erhöht. Dies trifft prinzipiell auch für den Unteren Muschelkalk in der B 2 (Schledehausen; Median 86 ppm) zu, obwohl der Mittelwert 224 ppm beträgt. Letzter ergibt sich für dieses Profil nur aufgrund

einzelner Extremgehalte bis zu 3300 ppm, die fast ausschließlich an Gelbkalkhorizonte gebunden sind, deren Ausbildung ebenso wie die der Schichtfolge des Mittleren Muschelkalks, auf hypersalinare Bildungsbedingungen schließen (z.B. SCHWARZ 1970) läßt. Bei geochemischen Untersuchungen von KÜHN (1964) in Thüringen lieferten vor allem die sulfatischen Partien des Mittleren Muschelkalks und die "Tonlöser" extrem hohe Barium-Werte.

4.3.2 Übrige Spurenelemente

Die Gehalte der Proben an 15 Spurenelementen lagen zum Teil unter den Nachweisgrenzen (Ce, Co, Cr, La, Sc < 1 ppm; Mo, Nb, Y < 3 ppm; Pb, Ta, Th, W, Zn < 5 ppm; Bi < 6 ppm; Sn < 20 ppm). Wenn in einem Profil mehr als 10 % der Proben Konzentrationen unter der Nachweisgrenze für ein Spurenelement aufwiesen, wurde dieses Element bei der Berechnung der Korrelations-Koeffizienten (nach PEARSON; vgl. Tab. 20-22) nicht berücksichtigt, da sonst nicht auszuschließen wäre, daß scheinbar gute Korrelationen lediglich auf die zu geringe, methodisch bedingte Nachweisgenauigkeit zurückgehen. Die Ergebnisse der ebenfalls berechneten verteilungsfreien Rangkorrelationen (nach SPEARMAN) weichen meist nur geringfügig von den in Tab. 20-22 angegebenen Koeffizienten ab.

Der Hauptanteil der analysierten Spurenelemente ist in der Regel an die detritisch-oxidische Fraktion der Karbonatgesteine gebunden (WEDEPOHL 1970). Dies ist für die meisten Elemente bereits aufgrund der mineralogischen Zusammensetzung des Nichtkarbonatanteils naheliegend und wird durch teils gute Korrelationen der Elemente Cr, Nb, Ni, Rb, Sc, V, Y und Zr mit SiO_2 und K_2O (vgl. Tab. 20, 21) bestätigt. Besonders klare, positive Beziehungen bestehen zwischen Cr, Ni, Rb, Zr und K_2O (vgl. a. Taf. V, f). Ermittelt man überschlägig die theoretischen Spurenelementgehalte der untersuchten Karbonatgesteine in Anlehnung an die Angaben von WEDEPOHL (1970), so zeigt sich, daß die gemessenen mit den berechneten Werten in der Größenordnung häufig übereinstimmen, abgesehen von Co, Y, Mo und La, deren Gehalte um den Faktor 4 - 10 zu hoch liegen. Welche Ursachen dafür in Frage

kommen ist nicht geklärt, doch liegen die Konzentrationen der Spurenelemente z.T. nur geringfügig über ihrer Nachweisgrenze, so daß auch meßtechnisch bedingte Ungenauigkeiten nicht auszuschließen sind.

4.4 Industrielle Verwendbarkeit der Gesteine des Muschelkalks aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung

Die Analyse der unter 4.1 aufgezählten Spurenelemente war im Hinblick auf die Bewertung der industriellen Nutzungsmöglichkeiten der Karbonatgesteine nicht erforderlich. Derartige ergänzende Untersuchungen boten sich aber vor dem Hintergrund des vorhandenen Probenmaterials und der verfügbaren, im Vergleich zur Probenvorbereitung wenig aufwendigen, weil weitgehend automatisierten Analysetechnik an. Darüber hinaus ist vorstellbar, daß Spurenelementgehalte für zukünftige, zur Zeit noch nicht erkennbare Fragestellungen von erheblichem Wert sein könnten.

Einen guten Überblick über die Anforderungen verschiedener Industriezweige an die chemische Zusammensetzung des Gesteinsmaterials geben die Arbeiten von BOTTKE (1974), EISENLOHR & STEIN (1981), GOTTHARDT & HENNICKE (1981), MEYER (1981) und die Düngemittelverordnung (Bundesgesetzblatt Dez. 1977, Teil I, Nr. 90). Für die meisten Anwendungsgebiete muß sowohl Dolomit- als auch Kalkstein möglichst rein sein und darf nur sehr geringe Mengen an Fremdoxiden wie SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 und anderen enthalten, die fast ausschließlich an den HCl-unlöslichen Rückstand gebunden sind. Dieses gilt unter anderem für die Eisen- und Stahlindustrie, chemische Industrie, Baustoffindustrie, Glasindustrie, Abwasserreinigung, Rauchgasentschwefelung und für Rohmaterial zur Herstellung von feuerfesten Erzeugnissen aus Dolomitstein. Die Karbonatgesteine des Muschelkalks im Osnabrücker Raum erfüllen, abgesehen von den nur wenige Meter mächtigen Einschaltungen im Oberen Muschelkalk, diese hohen Qualitätsanforderungen nicht.

Deutlich niedriger kann der CaCO_3 -Gehalt des in der Zementindustrie verwendeten Kalksteins liegen. Ofenfertiges Rohmehl

sollte 77 - 80 Gew.-% CaCO_3 , maximal 3 Gew.-% MgCO_3 und ein Verhältnis $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ zwischen 3 : 1 und 6 : 1 aufweisen (EISENLOHR & STEIN 1981). In SE-Niedersachsen wird der Untere Muschelkalk in der Nähe der Ortschaft Hardeggen aufgrund seiner, diesen Anforderungen entsprechenden, durchschnittlichen Gesteinszusammensetzung als Zementrohstoff abgebaut. Die geochemischen Untersuchungen haben gezeigt, daß für den Unteren Muschelkalk im Arbeitsgebiet aber bereits die mittleren MgCO_3 -Gehalte von 5 Gew.-% (= 2,4 Gew.-% MgO , vgl. Tab. 18) eine derartige Nutzung ausschließen, ganz abgesehen vom Fehlen potentieller Lagerstätten mit Vorräten von mehr als 40 Mio. t Rohmaterial, die nach EISENLOHR & STEIN (1981: 237) vor der Errichtung moderner Großanlagen nachgewiesen werden müssen.

Im Zusammenhang mit sauren Niederschlägen, die erhebliche Schäden in der Land- und Forstwirtschaft verursachen, ist in den vergangenen Jahren ein ständig zunehmender Bedarf an gemahlenem Kalk- und Dolomitstein entstanden. Mehrere Hartsteinbetriebe im Raum Osnabrück haben sich auf die wachsende Nachfrage nach diesen Produkten eingestellt. Beispielsweise wird der Zechsteindolomit vom Silberberg (vgl. 3.2.6) inzwischen fast ausschließlich für diesen Verwendungszweck und nicht mehr für die Herstellung von Straßenbaumaterial abgebaut. Anderenorts wird das Überkorn, das bei der Aufbereitung des Haupt-Trochitenkalks (mol HT) zu Mineralgemisch anfällt, auf die Korngröße 0 - 2 mm zerkleinert und in den Handel gebracht. Die Anforderungen an die verschiedenen Gesteinsmehle sind ebenso wie die jeweiligen Typenbezeichnungen für den Vertrieb in der Düngemittelverordnung von 1977 (s.o) festgelegt. Bezüglich dieser Verordnung sind die geochemischen Untersuchungsergebnisse wie folgt zu bewerten:

- Der Untere Muschelkalk im Osnabrücker Bergland ist mit seinen durchschnittlichen Karbonatgehalten von mehr als 75 Gew.-% für die Herstellung von Kalkdünger mit der Typenbezeichnung "Kohlensaurer Kalk" ohne Einschränkungen geeignet.

- Der Mittlere Muschelkalk weist im Mittel weniger als 75 Gew.-% Gesamtkarbonat auf. Gesteinsmehle deren Gehalte unter diesem Wert liegen, sind nach der Düngemittelverordnung als Düngekalk nicht zugelassen.

- Die Mittelwerte von insgesamt 13 Proben aus den Gelben Basisschichten (mol GB) der B 1 (Rulle) betragen für $MgCO_3$ 21 Gew.-% und für $CaCO_3$ 54 Gew.-%, wenn man die RFA-Analysewerte in Karbonat umrechnet (vgl. 4.2). Vier weitere Einzelproben von der Natberger Egge (Entnahmestelle 6, vgl. Tab. 7) ergaben für \bar{x} = 28,5 Gew.-% $MgCO_3$ und 51,4 Gew.-% $CaCO_3$. Durchmischt man das Gesteinsmaterial dieser Schichtfolge mit dem sehr $CaCO_3$ - reichen Überkorn aus der Hartsteinproduktion (s.o.) vor oder eventuell auch nach dem Mahlen, läßt sich ein hochwertiger Dünger mit der Typenbezeichnung "Kohlensaurer Magnesiumkalk" herstellen, der die geforderten Mindestgehalte von 15 Gew.-% $MgCO_3$ und 60 Gew.-% $CaCO_3$ aufweist. Eine derartige Vorgehensweise bietet sich an, da die Gelben Basisschichten bisher wirtschaftlich nicht genutzt werden und unmittelbar unter dem für die Hartsteinproduktion abgebauten Haupt-Trochitenkalk liegen.

5 ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE IM HINBLICK AUF DIE WIRTSCHAFTLICHEN NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN DES MUSCHELKALKS IM OSNABRÜCKER RAUM

Die Untersuchung auf technologische Eignung des Gesteinsinventars eines nicht genutzten Vorkommens für die Herstellung von Straßenbaustoffen kann mit ausreichender Genauigkeit an ca. 60 kg Probenmaterial erfolgen. Dies zeigen die Prüfwerte von Proben, die aus im Abbau stehenden Lagerstätten entnommen wurden und innerhalb der Schwankungsbreite der Kennwerte liegen, die bei der regelmäßigen Güteüberwachung der Betriebe an den industriell hergestellten Körnungen ermittelt werden. Voraussetzung dafür ist allerdings eine gezielte Probenentnahme und sorgfältige Laboraufbereitung des Materials.

Demnach erlauben die Ergebnisse der technologischen Versuche in

Verbindung mit den stratigraphisch-faziellen und geochemischen Untersuchungen für die wirtschaftliche Nutzbarkeit der Muschelkalk-Gesteine im Osnabrücker Raum folgende Schlüsse:

Im Arbeitsgebiet fehlen in der insgesamt 80 m mächtigen Schichtfolge des Unteren Muschelkalks - abgesehen von nicht abbauwürdigen Einzelbänken - dickbankige, sehr karbonatreiche (> 90 Gew.-%) Einschaltungen, die mit denen des Oberen Muschelkalks (Haupt-Trochitenkalk, Terebratelkalk s.u.) vergleichbar wären. Die technologisch untersuchten Proben aus dem Unteren Muschelkalk erfüllen aber wie diese alle Anforderungen nach TL Min-StB, was auch durch die Untersuchung einer industriell aufbereiteten Großprobe bestätigt werden konnte. Damit ist belegt, daß zumindest die bisher untersuchten Profilbereiche prinzipiell für die Herstellung von hochwertigem Straßenbaumaterial geeignet sind. Diese Eignungsaussage unterliegt zwei Einschränkungen:

1. Ein beträchtlicher Teil des in die Aufbereitung gegebenen Materials (bei der Großprobe ca. 40 %) wird bereits bei der Vorabsiebung abgetrennt.

2. Die Anteile der groben Splitt- und Schotterkörnungen sind im kornabgestuften Mineralgemisch 0/45 mm stark unterrepräsentiert und liegen nicht mehr im zulässigen Sieblinienbereich für Trag-schichten. Diese ungünstige Kornzusammensetzung ist aufgrund der durch die Schichtung vorgegebenen Trennflächen im wesentlichen gesteinsbedingt, daher mit veränderten Aufbereitungstechniken kaum zu verbessern.

Ob ein Abbau des im Osnabrücker Bergland verbreitet vorkommenden Unteren Muschelkalks mit dem Ziel der Herstellung gütegeschützter Straßenbaustoffe wirtschaftlich sinnvoll ist oder nicht, hängt von weiteren erfolgreichen Großversuchen und wirtschaftlichen Faktoren ab. Mit Sicherheit ist aber aus den Gesteinen dieser Schichtfolge Wegebaumaterial guter Qualität herstellbar. Dessen Verwendung würde die Vorräte an hochwertigem Kalkstein für den qualifizierten Straßenbau schonen und die Lebensdauer der Steinbruch-Industrie im Oberen Muschelkalk verlängern.

Die geochemischen Untersuchungen haben darüber hinaus gezeigt, daß der Untere Muschelkalk mit seinen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalten von mehr als 75 Gew.-% für die Herstellung von Kalkdünger mit der Typenbezeichnung "Kohlensäurer Kalk" sehr gut geeignet ist.

Im Mittleren Muschelkalk des Osnabrücker Berglandes gibt es, im Gegensatz zu anderen Regionen in Niedersachsen und E-Westfalen, nach den vorliegenden Untersuchungen keine Hinweise auf wirtschaftlich verwertbare Gipseinschaltungen. Der hohe Tongehalt in diesem Schichtglied des Muschelkalks schließt eine Verwendung der Gesteine für den Straßenbau oder als Kalkdünger aus.

Für den Hartsteinabbau im Oberen Muschelkalk sind nach dem Gesteinsinventar die besten lithofaziellen Voraussetzungen südöstlich von Osnabrück bei Borgholzhausen und vor allem im Bereich des Holter Sattels und des Sandforter Berges (Natberger Egge) gegeben. Sämtliche derzeitigen Abbauaktivitäten konzentrieren sich bereits in dieser Region. Hier sind sowohl die Encrinus-Schichten, die sich in die dolomitischen Gelben Basisschichten (mo1 GB, max. 7 m) und den Haupt-Trochitenkalk (mo1 HT, max. 7 m) gliedern lassen, als auch der Terebratelkalk (mo2 TK, max. 7,5 m) besonders karbonatreich und dickbankig ausgebildet. Allerdings keilt vor allem nördlich des Holter Sattels der Terebratelkalk auf kürzeste Entfernung aus und in den Haupttrochitenkalk schalten sich zunehmend Mergelstein-Lagen ein, die einen Abbau erschweren oder sogar ausschließen können. Die Aufschlußbohrungen haben gezeigt, daß der Abstand zwischen Oberkante des Haupt-Trochitenkalks und Basis des Terebratelkalks überall in der gleichen Größenordnung wie SW von Bissendorf, zwischen 14 und 11 m, liegt. Ein wirtschaftlicher, gemeinsamer Abbau dieser beiden Hartsteinfolgen ist nur dann vorstellbar, wenn die dazwischenliegenden Tonplatten anderweitig, z.B. als Füll- oder Dammschüttmaterial Verwendung finden können. Die Gesteine des Haupt-Trochitenkalks (mo1 HT) und des Terebratelkalks (mo2 TK) erfüllen nach den Ergebnissen der technologischen Untersuchungen die Anforderungen nach TL Min-StB ohne

Einschränkungen. Die den zur Zeit südöstlich von Osnabrück abgebauten Haupt-Trochitenkalk unterlagernde, gut 6 m mächtige dickbankige Dolomitsteinfole der Gelben Basisschichten (mol GB) kann wahrscheinlich ebenfalls zur Herstellung qualifizierten Straßenbaumaterials verwendet werden. Nach den Versuchsergebnissen ist die Schlagfestigkeit des gelblich anwitternden, kalkig-tonigen Dolomitsteins gut, dessen Frostbeständigkeit hingegen nur mäßig, aber noch innerhalb der zulässigen Grenzen. Bei sorgfältigem und systematischen Abbau, der eine gleichmäßige Durchmischung dieses relativ frostempfindlichen Gesteins mit dem darüber liegenden, extrem frostbeständigen Kalkstein des Haupt-Trochitenkalks garantiert, dürften die einschlägigen Qualitätsanforderungen problemlos zu erfüllen sein. Wenn sich dieses Ergebnis nach entsprechenden Großversuchen der Betriebe bestätigte, verbesserte sich die Vorratslage der Lagerstätten im Oberen Muschelkalk bei gleichbleibender Flächenbeanspruchung beträchtlich.

In diesem Zusammenhang muß mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, daß die gelbe Anwitterungsfarbe bei Karbonatgesteinen kein Kriterium für unzureichende Verwitterungsbeständigkeit und Nichterfüllung technologischer Anforderungen ist (vgl. a. SCHULZE 1969: 60). Beispielsweise sind zahlreiche historische Bauwerke, die das Stadtbild von Osnabrück durch ihre intensiv gelben Verwitterungsfarben prägen, aus z.T. dolomitischem Kalkstein des Unteren Muschelkalks erbaut. Seit mehreren hundert Jahren haben sie alle Witterungseinflüsse und andere Beanspruchungen weitgehend unbeschadet überstanden.

Nach den Ergebnissen der geochemischen Untersuchungen sind die Gesteine der Gelben Basisschichten bei Mitverwendung des CaCO_3 -reichen Überkorns aus der Hartsteinproduktion auch für die Herstellung von Düngekalk mit der Typenbezeichnung "Kohlensaurer Magnesiumkalk" geeignet.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Verknappung an hochwertigem Kalkstein für den Straßenbau und dem wachsenden Bedarf an Düngekalk ist es für die Hartsteinbetriebe, die den Oberen Muschelkalk abbauen, nach den vorliegenden technologischen und geochemischen Untersuchungsergebnissen unbedingt empfehlenswert, entgegen der bisherigen Praxis auch die Gelben Basisschichten intensiv zu

nutzen.

Die Erfassung der einem Gesteinsabbau entgegenstehenden Nutzungsansprüche ergab (LANGER 1988), daß ungeachtet geologischer Voraussetzungen der größte Teil der im Untersuchungsgebiet knapp 1500 ha umfassenden Ausstrichsflächen des Oberen Muschelkalks für einen möglichen Gesteinsabbau nicht mehr oder nur mit Einschränkungen zur Verfügung steht. Beispielsweise liegen mehr als 50 % dieser Flächen in Vorranggebieten für die Wassergewinnung (Regionales Raumordnungsprogramm 1982) bzw. in festgesetzten Wasserschutzgebieten vor allem der Zone II, in der ein Gesteinsabbau nicht genehmigungsfähig ist. Weiterhin werden mehr als 90 % der Gesamtfläche des Oberen Muschelkalks als "für den Naturschutz wertvolles Gebiet" (Regionales Raumordnungsprogramm 1982) und 75 % als Naturpark beansprucht. Im deutlichen Gegensatz dazu sind nur ca. 10 % als Rohstoffsicherungsgebiete vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung ausgewiesen. Bemerkenswert ist, daß diese vergleichsweise kleinen Flächen von der Regionalplanung zwar in vollem Umfang übernommen, aber nicht in allen Fällen von weiteren, einen möglichen Abbau einschränkenden Nutzungsansprüchen freigehalten wurden.

Abschließend ist festzustellen, daß die Vorräte an hochwertigem Kalkstein für den Straßenbau im Osnabrücker Raum extrem knapp sind und in wenigen Jahren erschöpft sein werden. Große Lagerstätten mit mehreren Mio. t Rohmaterial sind im Arbeitsgebiet nicht mehr nachweisbar. Unter günstigen, wirtschaftlichen Voraussetzungen könnten aber auch kleine Vorkommen durch den Einsatz mobiler Aufbereitungsanlagen in Zukunft abbauwürdig werden. Eine Streckung der Vorräte ist durch Verwendung von Kalkstein des Unteren Muschelkalks im Wegebau und Nutzung der Gelben Basisschichten erreichbar.

6 ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN

- AIGNER, T. (1979): Schill-Tempestite im Oberen Muschelkalk (Trias, SW-Deutschland).- N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 157: 326-343, 7 Abb.; Stuttgart.
- (1982): Calcareous tempestites: Storm-dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones (Middle Trias, SW-Germany).- In EINSELE, G. & SEILACHER, A. (Hrsg.): Cyclic and Event Stratification: 180-198, 10 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- (1984): Dynamic stratigraphy of epicontinental carbonates, Upper Muschelkalk (M. Triassic), South-German Basin.- N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 169: 127-159, 14 Abb.; Stuttgart.
- (1985): Storm depositional systems.- Lect. Notes in Earth Sciences, 3: 174 S., 83 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (Springer).
- AIGNER, T. & FUTTERER, E. (1978): Kolk-Töpfe und -Rinnen (pot and gutter casts) im Muschelkalk - Anzeiger für Wattenmeer?.- N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 156: 285-304, 10 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- AIGNER, T., HAGDORN, H. & MUNDLOS, R. (1978): Biohermal, biostromal and storm-generated coquinas in the Upper Muschelkalk.- N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 157: 42-52, 7 Abb.; Stuttgart.
- BAUSCH, W. M. (1965): Strontiumgehalte in Süddeutschen Malmkalken.- Geol. Rdsch., 55: 86-96, 9 Abb.; Stuttgart.
- BEERBAUM, B. (1973): Der Untere Muschelkalk nordöstlich von Osnabrück (3615 Ostercappeln).- Dipl.-Arb. Techn. Univ. Braunschweig: 133 S., 6 Anl.; Braunschweig. - <unveröff.>
- BLOCH, H. (1964): Feinstratigraphisch-fazielle Untersuchungen im Unteren Muschelkalk zwischen Egge-Gebirge und Harz.- Z. dt. geol. Ges., 114: 570-574, 4 Tab., Hannover.
- BOTTKE, H. (1974): Geologie und Geochemie von Kalksteinen und deren Einsatz in der Steine- und Erden-Industrie.- Chemiker Zeitung, 98 (6): 306-314, 8 Tab.; Heidelberg.

- BRAND, W. (1984): Qualitätssteuerung von Mineralstoffen für den Straßenbau.- Bauwirtschaft, 46: 1605-1608, 6 Abb.; Köln.
- BRAUCKMANN, F. J. (1984): Hochdiagenese im Muschelkalk der Massive von Vlotho und Bramsche.- Bochumer geol. geotechn. Arb., 14: 195 S., 54 Abb., 45 Tab.; Bochum.
- BRAUNS, R. & CHUDOBA K. F. (1964): Spezielle Mineralogie.- Sammlung Göschen, Bd. 31/31a: 193 S., 127 Abb., 6 Tab.; Berlin (De Gruyter).
- BRÜNING, U. (1979): Schichtenfolge in der Bohrung RULLE 1 (NE Osnabrück). -, 1 Profilskizze; Hannover. <unveröff.>
- BÜHMANN, D. & RAMBOW, D. (1979): Der Obere Buntsandstein (Röt) bei Borken/Hessen, Stratigraphie und Tonmineralogie.- Geol. Jb. Hessen, 107: 125-138, 1 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- CHITSAZIAN, H.A. (1985): Beziehungen zwischen Mineralbestand, Gefüge und technologischen Eigenschaften der Niedersächsischen "Wealden"-Sandsteine (Unterkreide).- Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover, 25: 103 S., 12 Abb., 3 Taf., 16 Tab.; Hannover.
- CLARK, D.N. (1980): The sedimentology of the Zechstein 2 carbonate formation of Eastern Drenthe, The Netherlands.- Contr. Sedimentology, 9: 131-165, 19 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- CORRENS, C.W. (1971/1972): Zur Geochemie des Titans.- Vesnik (geologija), 29/30: 319-339, 7 Abb., 3 Tab.; Beograd.
- DAHMER, D.-D. & HILBRECHT, H. (1986): Die Faziesentwicklung des Unteren Muschelkalks bei Bad Hersfeld (Nordhessen) mit Anmerkungen zur Entstehung der Mikrite.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1986 (9): 513-528, 3 Abb.; Stuttgart.
- De BORDER, H., LUTGERT J.E. & NIJMAN, W. (1985): The Muschelkalk and its lead-zinc mineralization in the eastern Netherlands.- Geol.Mijnbouw, 64: 311-326, 7 Abb.; Dordrecht.
- DEHNE, G. & STEIN, V. (1987): Beobachtungen zum Mineralbestand und zur Genese der Karbonatgesteine des Zechstein 3 (Z3,k) am westlichen Harzrand.- Ber. naturhist. Ges. Hannover, 129: 85-92, 2 Abb., Hannover.

- DUCHROW, H. (1984): Keuper.- In KLASSEN, H. (Hrsg.): Geologie des Osnabrücker Berglandes: 221-334, 1 Tab., 8 Anl.; Osnabrück (Naturwiss. Museum).
- DUCHROW, H. & GROETZNER, J.-P. (1984): Oberer Muschelkalk.- In KLASSEN, H. (Hrsg.): Geologie des Osnabrücker Berglandes: 169-219, 5 Abb., 3 Anl.; Osnabrück (Naturwiss. Museum).
- EISENLOHR, H. & STEIN, V. (1981): Rohstoffe für die Zementherstellung.- Schriftenr. der GDMB, 38: 233-239; Weinheim.
- ENGELHARDT, W. v. (1973): Sedimentpetrologie III. Die Bildung von Sedimenten und Sedimentgesteinen.- 378 S., 133 Abb., 55 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- ERNST, G. & WACHENDORF, H. (1968): Feinstratigraphisch-fazielle Analyse der "Schaumkalk-Serie" des Unteren Muschelkalkes im Elm (Ost-Niedersachsen).- Beih. Ber. Naturh. Ges., 5 (KELLER-Festschr.): 165-206, 7 Abb., 6 Taf.; Hannover.
- EVAMY, B.D. (1963): The application of a chemical staining technique to a study of dedolomitisation.- Sedimentology, 2: 164-170, 1 Tab., 1 Taf.; Amsterdam.
- FEIX, R. (1982): Untersuchungen über die wesentlichen Einflußfaktoren bei Frost-Tauwechsel-Versuchen an Mineralstoffen und Entwicklung eines FTW-Verfahrens mit automatischer Prüfzyklensteuerung.- Prüfamts f. bitum. Baust. u. Kunstst. TU München, Forschungsauftrag Nr. 9.104: 336 S., 111 Abb., 129 Diagr., 23 Tab; München. - <unveröff.>
- FIEGE, K. (1938): Die Epirogenese des Unteren Muschelkalkes in Nordwestdeutschland, 1. Teil.- Zbl. Mineral. Geol. Paläont., Abt. B, 1938: 143-170; Stuttgart.
- FITZNER, B. (1970): Die Prüfung der Frostbeständigkeit von Natursteinen.- Diss. Rhein.-Westf. techn. Hochsch. Aachen, 228 S., 39 Abb., 9 Taf., 13 Tab.; Aachen.
- FLÜGEL, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken.- 454 S., 68 Abb., 57 Tab., 33 Taf.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

- FLÜGEL, H. W. & WEDEPOHL, K. H. (1967): Die Verteilung des Strontiums in oberjurassischen Karbonatgesteinen der Nördlichen Kalkalpen.- Contr. Miner. Petrol., 14: 229-249, 6 Abb., 7 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York.
- FOLK, R.L. (1975): Mg/Ca ratio and salinity: Two controls over crystallisation of dolomite.- Am. Assoc. Geol. Bull., 59: 60-68, 2 Abb.; Tulsa.
- FRANTZEN, W. (1889): Untersuchungen über die Gliederung des Unteren Muschelkalks im nordöstlichen Westfalen und im südwestlichen Hannover.- Jb. kgl. preuß. Landes-Anst. (für 1888): 453-497, 2 Taf.; Berlin.
- FRANTZEN, W. & KOENEN, A. v. (1889): Über die Gliederung des Wellenkalkes im mittleren und nordwestlichen Deutschland.- Jb. kgl. preuß. geol. Landes-Anst. (für 1888): 440-452; Berlin.
- FÜCHTBAUER, H. & GOLDSCHMIDT, H. (1965): Beziehungen zwischen Calciumgehalt und Bildungsbedingungen der Dolomite.- Geol. Rdsch., 55: 29-40; 8 Abb. 2 Tab.; Stuttgart.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): Sedimentpetrologie II. Sedimente und Sedimentgesteine.- 3. Aufl., 784 S., 341 Abb., 70 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- GOTTHARDT, R. & HENNICKE, U. (1981): Kalkstein und Branntkalk.- Schriftenr. der GDMB, 38: 113-121; Weinheim.
- GROETZNER, J.-P. (1962): Stratigraphisch-fazielle Untersuchungen des Oberen Muschelkalks im südöstlichen Niedersachsen zwischen Weser und Oker.- Diss., techn. Hochschule Braunschweig: 124 S., 5 Abb., 2 Tab., 9 Taf.; Braunschweig (Eigendruck).
- (1984): Unterer und Mittlerer Muschelkalk.- In KLASSEN, H. (Hrsg.): Geologie des Osnabrücker Berglandes: 153-168, 5 Abb., 1 Anl.; Osnabrück (Naturwiss. Museum).
- HAACK, W. (1926): Zur Kenntnis der Osnabrücker Trias.- Jb. preuß. geol. Landes-Anst., 47: 160-207; Berlin.
- (1930): Erl. geol. Kt. Preußen (1:25 000), Bl. Nr. 2011 (jetzt: 3714) Osnabrück: 95 S., 5 Abb., 1 Kt.; Berlin.

- HAACK, W. & DIENEMANN, W. (1930): Erl. geol. Kt. Preußen (1:25 000), Bl. Nr. 2012 Schleddehausen (jetzt: 3715 Bissendorf): 91 S., 1 Abb., 1 Kt.; Berlin.
- HAACK, W. & POTONIE, R. (1935): Erl. geol. Kt. Preußen (1:25 000), Bl. Nr. 2010 (jetzt: 3713) Hasbergen: 84 S., 3 Abb., 2 Kt.; Berlin.
- HENNINGSSEN, D. (1979): Zwischenbericht über das Forschungsvorhaben (DFG) He 394/6, Kennwort: Natursteine.- 4 S., 24 Anl.; Hannover. - <unveröff.>
- HENNINGSSEN, D., HOPPE, F. & VOGLER, H. (1978): Beziehungen zwischen Gesteinsausbildung und Frostverhalten bei Sandstein-Splitten aus Nordrhein-Westfalen.- Die Naturstein-Ind., 14 (6): 13-18, 5 Abb., 1 Tab.; Offenbach.
- HINZE, C. (1967): Der Obere Buntsandstein (Röt) im südniedersächsischen Bergland.- Geol. Jb., 84: 637-716, 4 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Hannover.
- .-- (1979): Erl. geol. Kt. Niedersachsens (1:25 000), Bl. Nr. 3614 Wallenhorst: 154 S., 20 Abb., 8 Tab., 6 Kt.; Hannover.
- .-- (1982): Erl. geol. Kt. Niedersachsens (1:25 000) Bl. Nr. 3615 Bohmte: 128 S., 20 Abb., 4 Tab., 7 Kt.; Hannover.
- HIRSCHWALD, J. (1912): Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung.- 923 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Berlin (Borntraeger).
- HÖBEDA, P. (1968): Natursteinvorkommen, Abbau, Prüfungen und Untersuchungen in Schweden.- In LEINS, W. (Hrsg.): Natürliche und künstliche Zuschlagstoffe im Straßenbau.- Mitt. Lehrstuhl Straßenwesen, Erd- u. Tunnelbau Rhein.-Westf. techn. Hochsch. Aachen, 6: 182-214, 40 Abb.; Aachen.
- HOFMEISTER, E., SIMON, P. & STEIN, V. (1972): Blei und Zink im Trochitenkalk (Trias, Oberer Muschelkalk 1) Nordwest-Deutschlands.- Geol. Jb., D 1: 103 S., 20 Abb., 10 Tab., 4 Taf.; Hannover.
- JUBITZ, K.-B. (1952): Feinstratigraphisch-petrographische Untersuchungen in der Trias zwischen Osnabrück und Melle in Hannover.- Dipl.-Arb. Humbolt-Univ. Berlin.- Auszug in Geologie, 1: 389; Berlin.

- JUBITZ, K.-B. (1954): Zur praktischen Anwendung der fein-stratigraphischen und kleintektonischen Methode.- Freiberg. Forsch.-H., C9: 80-112, 22 Abb.; Berlin.
- (1958): Zur feinstratigraphisch-geochemischen Horizontierungsmethodik in Kalksedimenten (Trias).- Geologie, 7: 863-923, 20 Abb., 5 Taf.; Berlin.
- KEIL, K. (1970): Zur Frage der Frostbeständigkeit von Felsgesteinen.- Die Naturstein-Ind., 6 (1+2): 11-16; (3): 54-61; Offenbach.
- KIESER, H. (1974): Eine bisher unbekannte Doline im Bereich des Sattels von Holte bei Osnabrück.- Osnabr. naturwiss. Mitt., 3: 79-84; Osnabrück.
- KLEINSORGE, H. (1935): Paläogeographische Untersuchungen über den Oberen Muschelkalk in Nord- und Mitteldeutschland.- Mitt. geol. Staatsinst. Hamburg, 15: 57-106, 12 Abb., 3 Tab., 1 Taf.; Hamburg.
- KÜHN, W. (1964): Geochemische Untersuchungen an Kernstrecken des Muschelkalks und Röts der Bohrung Zeilfeld.- Zeitschr. angew. Geologie, 10 (1): 11-17, 5 Abb., 2 Tab.; Berlin.
- LANGER, A. (1983): Zur Petrographie des Mittleren Muschelkalkes in der Bohrung Rulle 1 (nördl. Osnabrück/Niedersachsen).- Dipl.-Arb. Univ. Hannover: 59 S., 19 Abb., 1 Taf., 1 Anl.; Hannover. - <unveröff.>
- (1988): Untersuchung der bisher nicht genutzten Hartgesteine im Osnabrücker Bergland zur Sicherstellung der regionalen Versorgung mit Straßenbaustoffen.- Arch. Nieders. L.-Amt f. Bodenf., 102890: 72 S., 13 Abb., 3 Tab., 4 Taf., 80 Anl., 8 Kt.; Hannover. - <unveröff.>
- LEERS, K.-J. & JOHANNKNECHT, A. (1966): Kritischer Beitrag zum Prüfverfahren nach DIN 52109 für die Beurteilung von Natursteinen und Hochofenschlacken im Straßenbau.- Tonind.-Ztg., 90 (3): 97-105, 11 Abb., 3 Taf.; Goslar.
- LEINS, W., KOHLER, G., MEYER, G. & BERG, P. (1974): Beanspruchung und Prüfung von Gesteinssplitten. Internationale Splittprüfverfahren, deren Aussagekraft und Beeinflussung der Prüfwerte durch die Kornform.- Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 156: 122 S., 17 Abb., 11 Tab., 87 Anl.; Bonn.

- LIPPMANN, F. (1973): Sedimentary Carbonate Minerals.- 228 S., 54 Abb.; New York, Heidelberg, Berlin (Springer).
- MARSCHNER, H. (1968): Relationship between Carbonate Grain Size and Non-Carbonate Content in Carbonate Sedimentary Rocks.- In: MÜLLER, G. & FRIEDMANN, G.M. (Ed.): Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe: 55-57, 2 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- MEDUNA, U. & BAUSCH, W. M. (1985): Mineralogische und geochemische Untersuchungen am Muschelkalk der Bohrung Dinkelsbühl.- Geol. Bl. NO-Bayern, 34/35: 57-90, 7 Abb., 7 Tab., 2 Taf.; Erlangen.
- MEHL, J. (1982): Die Tempestit-Fazies im Oberen Muschelkalk Südbadens.- Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 24: 91-109, 6 Abb.; Freiburg.
- MESTWERDT, A. (1930): Erl. geol. Kt. Preußen (1 : 25 000), Bl. Nr. 2080 Borgholzhausen (jetzt: 3815 Dissen): 84 S., 5 Abb., 1Kt.; Berlin.
- MEYER, O. (1981): Dolomitstein.- Schriftenr. der GDMB, 38: 85-95; Weinheim.
- NAGEL, J. (1969): Beanspruchung und Prüfung von Gesteinsplittern.- Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Forschungsber., 93: 74 S., 32 Abb., 7 Tab., 83 Anl.; Bonn.
- NIENHAUS, F. (1953): Tektonik zwischen Osnabrück und Osning.- Geotekton. Forsch., 9/10: 51-90, 44 Abb.; Stuttgart.
- PAUL, J. & FRANKE, W. (1977): Sedimentologie einer Transgression: Die Röt/Muschelkalk-Grenze bei Göttingen.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1977 (3): 148-177, 5 Tab., 7 Abb.; Stuttgart.
- PÖS, A. (1968): Bestimmung und Einfluß der Kornform von Zuschlagstoffen.- Straße u. Autobahn, 7: 244-252, 16 Abb., 8 Tab.; Bad Godesberg.
- REINHARDT, V. (1970): Sättigungswert oder Frosttauwechselversuch.- Die Naturstein-Ind., 6 (7): 232-235, 1 Abb.; Offenbach.
- RICHTER, D. K. (1974): Entstehung und Diagenese der devonischen und permotriassischen Dolomite in der Eifel.- Contr. Sedimentology, 2: 101 S., 48 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.

- RIECH, V. (1978): Zur Coelestinbildung im germanischen Muschelkalk Süddeutschlands.- Geol. Jb., D 29: 3-77, 21 Abb., 4 Tab., 6 Taf.; Hannover.
- RÖHL, U. (1986): Feinstratigraphie und Mikrofazies des Oberen Muschelkalks im Hildesheimer Wald.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1986 (8): 489-511, 8 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- ROSENFELD, U. (1978): Beitrag zur Paläogeographie des Mesozoikums in Westfalen.- N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 156 (1): 132-155, 9 Abb.; Stuttgart.
- SACHS, L. (1974): Angewandte Statistik.- 4. Aufl., 545 S., 59 Abb., 190 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- SAUER, V. (1978): Beziehung zwischen Mineralbestand, Gefüge und technologischen Eigenschaften von gebrochenen Natursteinen.- Mitt. Inst. f. Baustoffk. u. Materialprüf. TU Hannover, 42: 144 S., 11 Abb., 11 Tab., 58 Anl.; Hannover.
- SCHÜLLER, M. (1967): Petrographie und Feinstratigraphie des Unteren Muschelkalkes in Südniedersachsen und Nordhessen.- Sedim. Geol., 1: 353-401, 23 Abb., 7 Tab.; Amsterdam.
- SCHULZ, M.-G. (1972): Feinstratigraphie und Zyklengliederung des Unteren Muschelkalks in N-Hessen.- Mitt. Geol. Inst. Univ. Hamburg, 41: 133-170, 2 Abb., 6 Tab., 4 Taf.; Hamburg.
- SCHULZE, K.-H. (1969): Bericht über die Untersuchung der Beziehungen zwischen der mineralogisch-petrographischen Zusammensetzung und der Wasseraufnahme, Frostbeständigkeit sowie Schotter-schlagfestigkeit von Gesteinen aus dem Korallenoolith des Weser-Gebirges.- Arch. Nieders. L.-Amt f. Bodenf., 16074: 70 S., 35 Abb., 21 Tab., 17 Diagr.; Hannover.
- <unveröff.>
- ... (1975): Mikrofazielle, geochemische und technologische Eigenschaften von Gesteinen der Oberen Heersumer Schichten und des Korallenoolith (Mittleres bis Oberes Oxfordium NW-Deutschlands) zwischen Weser und Leine.- Geol. Jb., D 11: 102 S., 6 Abb., 6 Tab., 20 Taf.; Hannover.

- SCHWARZ, H.-U. (1970): Zur Sedimentologie und Fazies des Unteren Muschelkalks in Südwestdeutschland und angrenzenden Gebieten.- Diss. Univ. Tübingen: 267 S., 63 Abb., 1 Tab., 40 Taf.; Tübingen.
- (1975): Sedimentary structures and facies analysis of shallow marine carbonates.- Contr. Sedimentology, 3: 100 S., 35 Abb., 1 Tab., 11 Taf.; Stuttgart.
- (1977): Sedimentationszyklen und stratigraphisch-fazielle Probleme der Randfazies des Unteren Muschelkalkes (Kernbohrung Mersch/Luxemburg).- Geol. Rdsch., 66 (1): 34-62, 10 Abb., 2 Taf.; Stuttgart.
- STEIN, V. (1966): Der Untere Muschelkalk zwischen dem Göttinger Wald und dem Elfas.- Wiss. Arb. 2. geol. Staatsprüfung, Nieders. L.-Amt f. Bodenf.: 74 S., 341 S. Schichtenverzeichn., 20 Abb., 1 Tab.; Hannover. - <unveröff.>
- (1968): Stratigraphische Untersuchungen im Unteren Muschelkalk Südniedersachsens.- Z. dt. geol. Ges. (für 1965), 117: 819-828, 1 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- USDOWSKI, E. (1973): Das geochemische Verhalten des Strontiums bei der Genese und Diagenese von Ca-Karbonat und Ca-Sulfat-Mineralen.- Contr. Mineral. Petrol., 38: 177-195, 3 Abb., 12 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York.
- THIERMANN, A. (1983): Erl. Geol. Kt. Nordrh.-Westf. (1:25 000), Bl. Nr. 3613 Westerkappeln: 144 S., 16 Abb., 10 Tab., 2 Taf., 1 Kt.; Krefeld.
- VOGLER, H. (1980): Untersuchungen über die Wasserdampfabgabe von Splittkörnungen.- Die Naturstein-Ind., 16 (4): 8-15, 6 Abb., 1 Tab.; Offenbach.
- (1984): Zur Wasserempfindlichkeit von Splitten.- Die Naturstein-Ind., 20 (6): 9-14, 10 Abb.; Offenbach.
- (1986): Untersuchungen an Brechsandproben.- Bericht des Geol. Landesamtes NRW, Gesch. Z. 55.11/ 3874/86: 7 S., 3 Tab.; Krefeld. - unveröff.
- (1988): Vergleichende Trocken- und Naßprüfungen der Festigkeit von Gesteinskörnungen.- Die Naturstein-Ind., 24 (7): 27-33, 8 Abb., 1 Tab.; Offenbach.

- WEDEPOHHL, K. H. (1969): Primäre und diagenetische Strontiumgehalte von Karbonatgesteinen.- Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss., B 14 (1): 17-23, 2 Abb., 2 Tab.; Berlin.
- (1970): Geochemische Daten von sedimentären Karbonaten und Karbonatgesteinen in ihrem faziellen und petrogenetischen Aussagewert.- Verh. Geol. B.-A., 1970 (4): 692-705, 4 Abb., 1 Tab.; Wien.
- (1979): Geochemische Aspekte der Diagenese von marinen Ton- und Karbonatsedimenten.- Geol. Rdsch., 68 (3): 833-847, 3 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- WEGNER, T. (1913): Geologie Westfalens und der angrenzenden Gebiete.- 304 S., 197 Abb., 1 Taf.; Paderborn (Schöningh).
- WEYL, P.K. (1960): Porosity through dolomitization: Conversion of mass requirements.- Journ. Sed. Petrol., 30 (1): 85-90, 1 Abb.; Menasha.
- WOLBURG, J. (1969): Die epirogenetischen Phasen der Muschelkalk- und Keuper-Entwicklung Nordwest-Deutschlands mit einem Rückblick auf den Buntsandstein.- Geotekton. Forsch., 32: 1-65; 32 Abb., 7 Anl.; Stuttgart.
- ZENKER, P. (1975): Gewinnung und Aufbereitung von Naturgestein.- Die Naturstein-Ind., 11 (6): 19-26, 19 Abb.; Offenbach.

7 ÜBERSICHT ÜBER ABBILDUNGEN, TABELLEN und TAFELN

Abbildungen (im Text)

- Abb. 1 Lage des Arbeitsgebietes
- Abb. 2 Gegenüberstellung der vereinfachten Profile durch den Unteren Muschelkalk an der Bundesstraße 68 und Hardeggen
- Abb. 3 Stratigraphische Tabelle des Oberen Muschelkalks im Osnabrücker Bergland
- Abb. 4 Mächtigungsabnahme und Auskeilen des Terebratelkalks (mo2 TK) zwischen Osnabrück und Melle
- Abb. 5 Übersicht über die Probenentnahme, Probenvorbereitung und die durchgeführten technologischen Untersuchungen
- Abb. 6 Kornformverteilung der mit einem Laborbackenbrecher erzeugten Körnung 8/12,5 mm nach dem Verwerfen der Erstabsiebung
- Abb. 7 Zusammengefaßte Ergebnisse der Dünnschliffuntersuchungen und der Bestimmung des HCl-unlöslichen Rückstands sowie des Dolomit- und Calcitgehalts
- Abb. 8 Ordnungsgrade und d-Werte des Hauptreflexes (104) von Dolomit unterschiedlicher Gesteinsserien aus dem Osnabrücker Bergland
- Abb. 9 Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck und bei 150 bar
- Abb. 10 Frostabsplitterung ermittelt in Anlehnung an DIN 52 104, Teil 1, Verf. N (Körnung 8/12,5 mm)
- Abb. 11 Ergebnisse der Schlagversuche an der Körnung 8/12,5 mm gemäß TP Min-StB, Teil 5.2.1.4
- Abb. 12 Verhältnis Naß- zur Trockensetzung (nach VOGLER 1986) der Körnung 1-2 mm
- Abb. 13 Beziehungen zwischen der Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck und Frostabsplitterung
- Abb. 14 Beziehungen zwischen dem Verhältnis Naß-/Trockensetzung (nach VOGLER 1986) und Frostabsplitterung
- Abb. 15 Häufigkeitsverteilung des Elements Sr in den Karbonatgesteinen des Mittleren und Unteren Muschelkalks

Abbildung (im Anhang)

- Abb. 16 Geologische Übersichtskarte mit den Entnahmestellen der Proben für die technologischen Untersuchungen und der Lage der Aufschlußbohrungen

Tabellen (im Text)

- Tab. 1 Mächtigkeit der Gliederungseinheiten des Unteren Muschelkalks an der Bundesstraße 68 und im Raum Hardeggen
- Tab. 2 Zusammenstellung der nach stratigraphischen Gesichtspunkten geordneten Proben für die technologischen Untersuchungen
- Tab. 3 Nach stratigraphischen Gesichtspunkten zusammengefaßte Ergebnisse der Schüttelversuche
- Tab. 4 Matrix der Korrelationskoeffizienten r

Tabellen (im Anhang)

- Tab. 5 Verzeichnis der bearbeiteten Aufschlüsse im Unteren Muschelkalk
- Tab. 6 Verzeichnis der im Rahmen der Untersuchungen niedergebrachten bzw. bearbeiteten Bohrungen im Raum Osnabrück
- Tab. 7 Verzeichnis der Entnahmestellen von Probenmaterial für die technologischen Untersuchungen
- Tab. 8 Ergebnisse der Bestimmung des HCl-unlöslichen Rückstandes und der auf Karbonate umgerechneten CaO-/MgO-Gehalte
- Tab. 9 Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck nach DIN 52103
- Tab. 10 Wasseraufnahme unter einem Druck von 150 bar nach DIN 52103
- Tab. 11 Sättigungswert nach DIN 52113
- Tab. 12 Rohdichte der Prüfkörnung 8/12,5 mm nach TP Min-StB, Teil 3.2.1/2
- Tab. 13 Frost-Tauwechselfersuche an der Prüfkörnung 8/12,5 mm in Anlehnung an DIN 52104, Teil 1, Verf. N

- Tab. 14 Schlagversuche an der Prüfkörnung 8/12,5 mm nach TP Min-StB, Teil 5.2.1.4
- Tab. 15 Verhältnis Naß- zur Trockensetzung (n. VOGLER 1986) der Brechsandkörnung 1-2 mm
- Tab. 16 Verzeichnis der berücksichtigten Normen
- Tab. 17 Verzeichnis der wichtigsten Symbole
- Tab. 18 Statistische Daten zu den geochemische Untersuchungen
- Tab. 19 Nach Stratigraphie geordnete, gewichtete Mittelwerte für die wichtigsten, geochemischen Hauptbestandteile des Unteren Muschelkalks
- Tab. 20 Matrix der Korrelationskoeffizienten r für die geochemischen Hauptbestandteile und Spurenelemente (Unterer Muschelkalk, B 2 Schleddehausen)
- Tab. 21 Matrix der Korrelationskoeffizienten r für die geochemischen Hauptbestandteile und Spurenelemente (Unterer Muschelkalk, B 3 Hollage)
- Tab. 22 Matrix der Korrelationskoeffizienten r für die geochemischen Hauptbestandteile und Spurenelemente (Mittlerer Muschelkalk, gesamt)

Tafeln (in Tasche)

- Taf. I Profile durch den Unteren Muschelkalk des Osnabrücker Berglandes
- Taf. II Profile durch den Unteren Muschelkalk des Osnabrücker Berglandes
- Taf. III Säulenprofile im Oberen Muschelkalk (mo1 bis mo2g) des Osnabrücker Berglandes (aus DUCHROW & GROETZNER 1984)
- Taf. IV Gamma-Ray-Logs aus Bohrungen durch den Oberen Muschelkalk des Osnabrücker Berglandes
- Taf. V Beziehungen zwischen den geochemischen Bestandteilen des Muschelkalks

8 ANHANG (Abb. 16, Tab. 5 - 22)

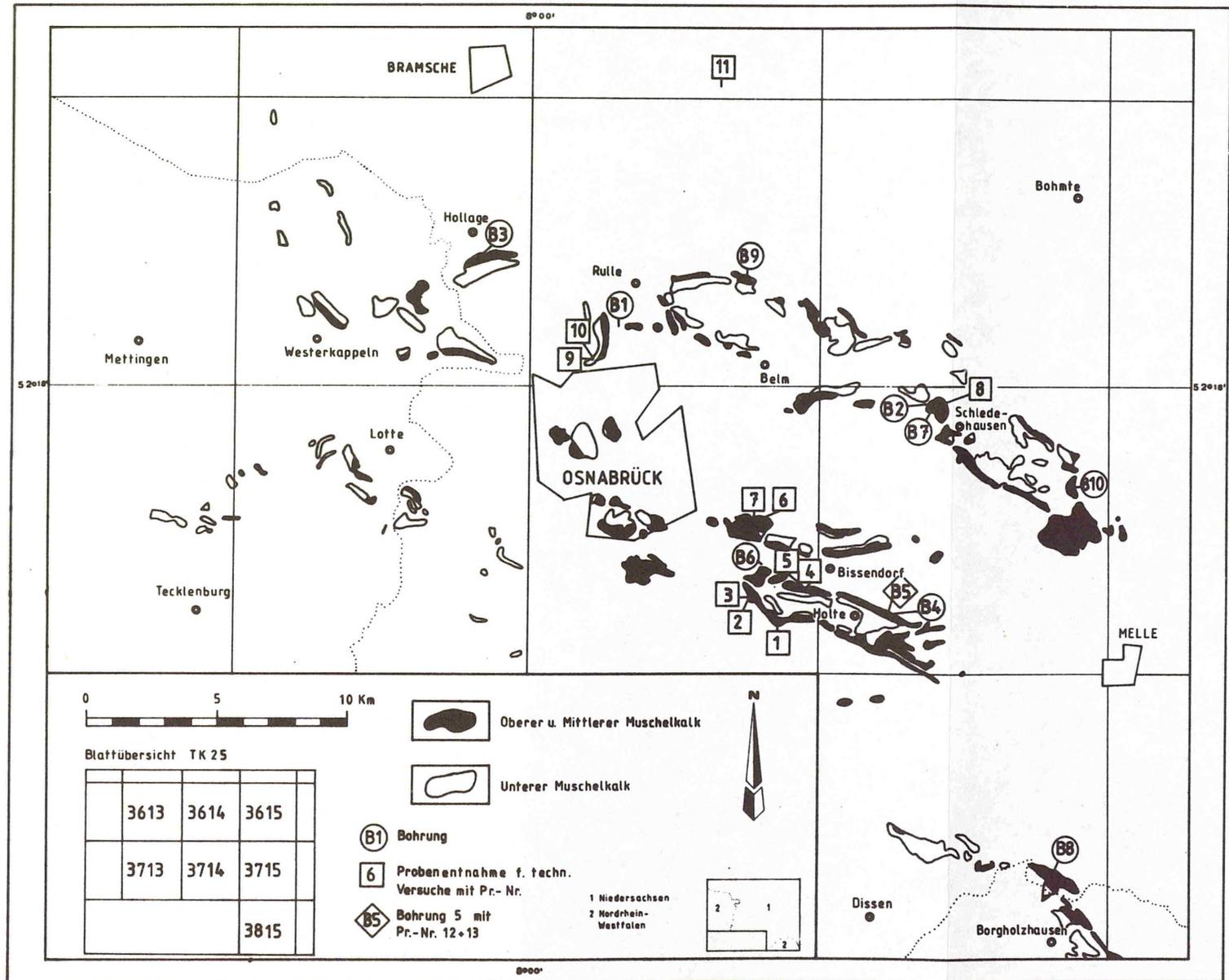


Abb. 16: Geologische Übersichtskarte mit den Entnahmestellen der Proben für die technologischen Untersuchungen und der Lage der Aufschlußbohrungen

Tabellen 5 – 22

Tab. 5:

Verzeichnis der bearbeiteten Aufschlüsse im Unteren Muschelkalk

Aufschluß Nr.:

- 1 Sportplatz Hollage
TK 25 3613 Westerkappeln
R 34 30 460 H 58 01 420
Strat.: muW2d bis muW3 + muS

- 2 Ruller Loh
TK 25 3614 Wallenhorst
R 34 37 900 H 58 00 740
Strat.: muW2d bis mm

- 3 Westerberg
TK 25 3714 Osnabrück
R 34 33 750 H 57 94 700 (N - Bruch) und
R 34 33 800 H 57 94 425 (S - Bruch)
Strat.: muW1c bis muW2c

- 4 Bundesstraße 68
TK 25 3614 Wallenhorst
R 34 34 190 - 200 H 57 97 450 - 660
Strat.: muK bis mm

- 5 Silbersee
TK 25 3713 Hasbergen
R 34 29 875 H 57 87 600
Strat.: Röt 4 bis mm

- 6 Hiddinghausen
TK 25 3715 Bissendorf
R 34 51 140 H 57 92 610
Strat.: muW1c bis muW2b

- 7 Werscher Berg
TK 25 3715 Bissendorf
R 34 44 920 H 57 90 470
Strat.: muW2c bis muW3 + muS
(Entnahmepunkt d. Großprobe f. technol. Unter-
suchungen über den gesamten Bereich muW2d - e)

- 8 Holter Burg
TK 25 3715 Bissendorf
R 34 44 580 H 57 87 160
Strat.: muW1c bis muW2c
- 9 Niederseeste
TK 25 3613 Westerkappeln und
R 34 24 670 H 58 02 970
R 34 24 920 H 58 02 330
Strat.: muK bis muW1a
- 10 Heller Berg
TK 25 3713 Hasbergen
R 34 30 460 H 57 91 200
Strat.: muW1c bis muW2b
- 11 Krevinghausen NW
TK 25 3615 Bohmte
R 34 48 040 H 57 98 000
Strat.: muO bis muW2
- 12 Eistruper Berg
TK 25 3714 Osnabrück
R 34 42 060 H 57 90 570
Strat.: muW1b bis muW2a
- 13 Straßenanschnitt Holte
TK 25 3715 Bissendorf
R 34 43 880 H 57 88 200
Strat.: muKb bis muOb
- 14 Parkplatz Holter Burg
TK 25 3715 Bissendorf
R 34 44 420 H 57 87 120
Strat.: muKb - c
- 15 Grambergen
TK 25 3715 Bissendorf
R 34 51 140 H 57 94 280
Strat.: muKa bis muW1b
- 16 Gaster Berg
TK 25 3713 Hasbergen
R 34 27 000 H 57 91 300
Strat.: muKa - b

- 17 Halen
TK 25 3613 Westerkappeln
R 34 28 180 H 58.00 060
Strat.: muW2a - c
- 18 Spelhof
TK 25 3713 Hasbergen
R 34 24 860 H 57 93 500
Strat.: muW1a bis muW2b
- 19 Handarpe
TK 25 3713 Hasbergen
R 34 20 240 H 57 93 420
Strat.: muW1c bis muW2b
- 20 Krevinghausen
TK 25 3615 Bohmte
R 34 48 620 H 57 97 120
Strat.: muKa - b
- 21 Schachsel
TK 25 3613 Westerkappeln
R 34 22 140 H 58 03 600
Strat.: muO (?) bis muW2
- 22 Bramheide
TK 25 3614 Wallenhorst
R 34 38 380 H 57 99 000
Strat.: muO bis muW2a

B 2 KB Schleddehausen u. B 3 KB Hollage vgl.
Verzeichnis der Bohrungen.

Mit Ausnahme von Nr. 11, 17, 21 und 22 sind alle Profile auf den
Tafeln I und II dargestellt.

Tab. 6:

Verzeichnis der im Rahmen der Untersuchungen niedergebrachten bzw. bearbeiteten Bohrungen im Raum Osnabrück

- B 1** (Rulle 1) Kernbohrung
TK 25 3614 Wallenhorst R 34 36 680 H 57 99 160
Oberer (mo2 i) bis Unterer Muschelkalk (100 m ET)
- B 2** (KB Schleddehausen) Kernbohrung
TK 25 3715 Bissendorf R 34 47 425 H 57 95 950
Mittlerer Muschelkalk bis Röt 4 (109 m ET)
- B 3** (KB Hollage) Kernbohrung
TK 25 3613 Westerkappeln R 34 29 975 H 58 01 275
Unterer Muschelkalk bis Röt 4 (94 m ET)
- B 4** (Holte 2) Spülmeißelbohrung
TK 25 3715 Bissendorf R 34 45 740 H 57 87 825
Oberer (mo2 i) bis Mittlerer Muschelkalk (68 m ET)
- B 5** (Holte 1) Kernbohrung
TK 25 3715 Bissendorf R 34 45 700 H 57 87 810
Oberer (mo2 g) bis Mittlerer Muschelkalk (43 m ET)
- B 6** (Rochusberg 1) Spülmeißelbohrung
TK 25 3714 Osnabrück R 34 41 000 H 57 89 475
Oberer (mo2 g) bis Mittlerer Muschelkalk (49 m ET)
- B 7** (Alt Schleddehausen) Spülmeißelbohrung
TK 25 3714 Bissendorf R 34 47 100 H 57 95 650
Oberer (mo2 d) bis Mittlerer Muschelkalk (27 m ET)
- B 8** (KB 1 OS/86) Spülmeißel-/Kernbohrung
TK 25 3815 Dissen a. T.W. R 34 51 850 H 57 77 800
Oberer (mo2 i) bis Mittlerer Muschelkalk (62 m ET)
- B 9** (Icker 1) Spülmeißel-/Kernbohrung
TK 25 3614 Wallenhorst R 34 40 325 H 58 00 825
Oberer (mo2 e) bis Mittlerer Muschelkalk (30 m ET)
- B 10** (OS KB 2) Spülmeißel-/Kernbohrung
TK 25 3715 Bissendorf R 34 53 125 H 57 92 800
Oberer (mo2 f) bis Mittlerer Muschelkalk (39 m ET)

Schichtenverzeichnisse und Bohrlochmessungen sind im Archiv des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (Hannover) dokumentiert.

Tab. 7:

Verzeichnis der Entnahmestellen von Probenmaterial für die technologischen Untersuchungen

Für unterschiedliche Schichtmächtigkeiten finden hier folgende Bezeichnungen Verwendung:

plattig 0,10 m bankig 0,50 m

dickbankig 1,00 m massig 1,00 m

Die Nummern der Entnahmestellen entsprechen der Numerierung der Proben für die technologische Untersuchungen.

Entnahmestelle 1

TK 25 3714 Osnabrück R 34 41 550 H 57 87 350

Beprobte Schichtfolge: mo2 TK (Terebratelkalk)

Circa 5 m massiger, blaugrauer, stellenweise auch braunfleckiger Grobschill- und Partikelkalkstein. Der Grobschill (Coenothyris) ist bevorzugt schichtparallel eingeregelt und zum Teil verwitterungsbedingt herausgelöst.

Nach der Vegetation zu urteilen liegt der Bruch seit mindestens 40 Jahren still. Der gesamte Aufschlußbereich wurde beprobt.

Entnahmestelle 2 (vgl. Taf. III, Prof. 6)

TK 25 3714 Osnabrück R 34 40 400 H 57 88 800

Beprobte Schichtfolge: mol HT (Haupt-Trochitenkalk)

Knapp 7 m mächtiger, bankiger bis massiger, blaugrauer Partikelkalkstein mit lagenweise eingestreutem Grobschill. Mergelsteinlagen zwischen den Bänken erreichen nur ausnahmsweise 0,1 m.

Das Gesteinsmaterial wird industriell abgebaut, zu Mineralgemisch aufbereitet und unterliegt der regelmäßigen Güteüberwachung.

Entnahmestelle 3 (vgl. Taf. III, Prof. 6)

TK 25 3714 Osnabrück R 34 40 360 H 57 88 850

Beprobte Schichtfolge: mol GB (Gelbe Basisschichten)

Ungefähr 6,5 m bankiger bis massiger, grauer und blaß- bis ocker-gelber tonig-kalkiger Dolomitstein mit vorwiegend dünnen, blaugrauen Kalksteinlagen und -linsen.

Entnahmestelle 4 (vgl. Taf. III, Prof. 10)

TK 25 3714 Osnabrück R 34 42 050 H 57 89 175

Beprobte Schichtfolge: mo2 TK (Terebratelkalk)

Blaugrauer, stellenweise etwas braunfleckiger Grobschill- und Partikelkalkstein in zwei massigen, jeweils 3 m mächtigen "Bänken", die durch eine 0,9 m mächtige Mergelstein-Lage getrennt werden. Hervorzuheben ist der häufig eingeregelter Grobschill (Coenothyris) und eine großdimensionale Schrägschichtung in der unteren Bank.

Beide Bänke werden zur Herstellung von nicht güteüberwachtem Straßenbaumaterial abgebaut und wurden vollständig, mit Ausnahme der Mergelstein-Lage, beprobt.

Entnahmestelle 5 (vgl. Taf. III, Prof. 10)

TK 25 3714 Osnabrück R 34 42 000 H 57 89 000

Beprobte Schichtfolge: mol HT (Haupt-Trochitenkalk)

Insgesamt ca. 6,5 m mächtiger, blaugrauer, bankiger bis massiger Partikelkalkstein, lagenweise grobschillführend.

Die vollständig beprobte Schichtfolge wird hier seit mindestens 10 Jahren nicht mehr abgebaut, zeigt aber außer verstärkter Braunfärbung einzelner Komponenten keine nennenswerten Veränderungen durch Verwitterungseinflüsse.

Entnahmestelle 6 (vgl. Taf. III, Prof. 7)

TK 25 3714 Osnabrück R 34 40 625 H 57 91 300

Beprobte Schichtfolge: mol GB (Gelbe Basisschichten)

Dickbankiger bis massiger, grauer, wolzig blaßgelb bis durchgehend ockergelb verwitternder, tonig-kalkiger Dolomitstein, der zwischen dem Mittleren Muschelkalk im Liegenden und dem mol HT im Hangenden ca. 6 m umfaßt und besonders in Richtung auf das Hangende Linsen und Lagen von blaugrauem Partikelkalk enthält. Die Gesteinsfolge wird zur Zeit nicht abgebaut und wurde durchgehend beprobt.

Entnahmestelle 7

TK 25 3714 Osnabrück R 34 40 250 H 57 91 450

Beprobte Schichtfolge: mol HT (Haupt-Trochitenkalk)

Das Gesteinsinventar entspricht dem der Proben Nr. 2 u. 5. Der Stoß war unzugänglich, so daß das Probenmaterial aus dem Haufwerk (Überkorn ³ 45 mm) entnommen werden mußte. Die Laboraufbereitung

erfolgte in gleicher Weise wie bei den anderen Proben.
Das Gestein wird zur Herstellung von güteüberwachtem Straßenbaumaterial abgebaut.

Entnahmestelle 8

TK 25 3715 Bissendorf R 34 47 500-800 H 57 95 300-650

Beprobte Schichtfolge: mol HT (Haupt-Trochitenkalk)

Aufgrund fehlender Aufschlüsse wurden Lesesteine des Ausstrichbereichs zu einer Sammelprobe zusammengestellt. Auffällig sind der im Vergleich mit Pr. Nr. 2, 5, 13 niedrige Grobschillgehalt des Probenmaterials und aufgrund tektonischer Beanspruchung häufig im mehrere cm-Bereich vorgegebene Trennflächen (Klüfte), die beim Anschlagen der Handstücke wirksam werden.

Entnahmestelle 9 (vgl. Taf. II, Prof. 4)

TK 25 3614 Wallenhorst R 34 32 250 H 57 97 650

Beprobte Schichtfolge: muK (Unterer Muschelkalk, Bereich der Basiskonglomeratbänke)

Überwiegend feinkristalliner, plattiger, vereinzelt bankiger, hellgrauer, toniger Kalkstein und Kalkmergelstein mit stellenweise bräunlichen Verwitterungsfarben. Trennflächen sind häufig durch dünne Mergelfugen vorgegeben.

Beprobte wurden die untersten 8 m des muK an der Straßenböschung der Bundesstraße 68. Der Straßenanschnitt liegt seit ca. 10 Jahren frei.

Entnahmestelle 10 (vgl. Taf. II, Prof. 4)

TK 25 3614 Wallenhorst R 34 32 250 H 57 97 575

Beprobte Schichtfolge: muO (Unterer Muschelkalk, Horizont der Oolithbänke)

feinkristalliner, bankiger und plattiger, hellgrauer Kalkstein mit wechselndem Tongehalt, der lagenweise gelbbraune Verwitterungsfarben aufweist.

Der beprobte Aufschlußbereich an der Straßenböschung der Bundesstraße 68 umfaßt, von der Basis der Oolithbänke ausgehend, die hangenden 8 m.

Entnahmestelle 11

TK 25 3514 Vörden R 34 39 175 H 58 08 100

Beprobte Schichtfolge: jokI (Mittelkimmeridge, Bank b n. HINZE 1979)

Circa 5 m bankiger, schwarzgrauer, oolithischer, etwas bituminöser, grobschillführender Kalkstein mit eingeschalteten, bis zu 0,1 m mächtigen, ebenfalls schwarzgrauen, sandigen Mergelsteinlagen.

Die Mergelsteinlagen wurden bei der Beprobung ausgehalten. Der Steinbruch lag zur Zeit der Probennahme still, ist aber inzwischen wieder in Betrieb.

Entnahmestelle 12 und 13 (Kernbohrung)

TK 25 3715 Bissendorf R 34 45 700 H 57 87 810

Beprobte Schichtfolge: mo2 TK (Terebratelkalk, Pr. 12)
mo1 HT (Haupt-Trochitenkalk, Pr. 13)

Die Probennahme erfolgte aus einer Kernbohrung, die beide Schichtfolgen durchteuft hat, indem das Kernmaterial mit einem Meißel halbiert und eine Hälfte als Probe entnommen wurde. Gesteinsinventar und Mächtigkeit entsprechen den Entnahmestellen 4 und 5. Hervorzuheben ist, daß die Komponenten und vor allem die Mergellagen auch in der Bohrung häufig braungelb verfärbt sind. Dies ist auf die generell starke Zerklüftung und hohe Wasserwegsamkeit in diesen Gesteinsfolgen zurückzuführen.

Pr. Nr./Stratigr.	Kalzit	Dolomit	Karb. ges.	HCl-unlöslicher Rückstand	
				gesamt	< 20 μ m
1 / mo2 TK	85,82	10,04	95,86	4,14	1,54
2 / mo1 HT	85,58	10,04	95,62	4,38	1,71
3 / mo1 GB	40,09	42,26	82,35	17,65	4,31
4 / mo2 TK	78,76	16,32	95,08	4,92	1,74
5 / mo1 HT	87,95	7,94	95,89	4,11	1,71
6 / mo1 GB	36,45	45,60	82,05	17,95	7,41
7 / mo1 HT	88,57	6,70	95,27	4,73	2,19
8 / mo1 HT	91,14	3,34	94,48	5,52	3,08
9 / mu	78,70	2,52	81,22	18,78	6,92
10 / mu	81,11	3,76	84,87	15,13	4,21
11 / Joki	88,04	1,68	89,72	10,28	6,04
12 / mo2 TK	84,93	10,04	94,97	5,03	2,62
13 / mo1 HT	84,70	8,36	93,06	6,94	2,82

Tab. 8: Ergebnisse der Bestimmung des HCl-unlöslichen Rückstandes und der auf Karbonate umgerechneten CaO-/MgO-Gehalte. Alle Angaben in Gew.-%. Die Lage der Entnahmestellen der Proben ist Tab. 7 zu entnehmen.

($W_{g,a}$: Maßangabe: Gew.-%)

Pr.-Nr.	Einzelwerte										\bar{x}	s	v	v $\bar{\sigma}$	\bar{x} min	\bar{x} max	x min	x max
	0,82	0,99	1,10	1,13	1,67	1,91	1,27	0,42	0,18	33,39								
1	0,82	0,99	1,10	1,13	1,67	1,91	1,27	0,42	0,18	33,39	1,62	0,42	2,12					
2	0,22	0,38	0,52	0,20	0,48	0,51	0,39	0,14	0,02	37,52	0,50	0,09	0,68					
3	1,29	2,48	2,47	2,72	1,61	2,83	2,23	0,63	0,40	28,23	1,71	2,75	3,50					
4	0,57	0,57	0,64	0,58	0,78	0,76	0,65	0,10	0,01	14,88	0,57	0,73	0,84					
5	0,35	0,20	0,26	0,30	0,25	0,23	0,27	0,05	0,00	20,07	0,22	0,31	0,37					
6	3,42	2,62	2,47	2,45	2,15	2,80	2,65	0,43	0,19	16,34	2,30	3,01	3,52					
7	0,15	0,18	0,25	0,20	0,26	0,26	0,22	0,05	0,00	21,58	0,18	0,26	0,31					
8	0,37	0,41	0,47	0,51	0,43	0,52	0,45	0,06	0,00	13,02	0,40	0,50	0,57					
9	0,38	1,08	0,75	0,50	0,63	0,54	0,65	0,25	0,06	38,05	0,44	0,85	1,14					
10	0,39	0,57	0,47	2,65	0,51	2,56	1,19	1,10	1,20	92,03	0,29	2,09	3,40					
11	0,25	0,26	0,40	0,77	0,49	0,46	0,44	0,19	0,04	43,51	0,28	0,60	0,82					
12	0,72	0,26	0,52	0,86	1,06	0,60	0,67	0,28	0,08	41,48	0,44	0,90	1,23					
13	0,18	0,17	0,12	0,30	0,23	0,49	0,25	0,13	0,02	53,63	0,14	0,36	0,52					

Tab. 9: Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck nach DIN 52103.

(\bar{v}_g, \bar{q} Maßangabe: Gew.-%)

Pr.-Nr.	Einzelwerte												\bar{x}	s	v	v%	\bar{x} min	\bar{x} max	x min	x max
	1,38	1,49	1,55	1,55	2,03	2,19	1,70	0,33	0,11	19,36	1,43	1,97								
2	0,34	0,52	0,79	0,23	0,65	0,59	0,52	0,21	0,04	39,52	0,35	0,69	0,11	0,93						
3	1,67	2,94	2,88	3,09	1,98	3,23	2,63	0,64	0,41	24,47	2,10	3,16	1,33	3,93						
4	0,73	0,65	0,70	0,67	0,86	0,91	0,75	0,11	0,01	14,16	0,67	0,84	0,54	0,97						
5	0,61	0,27	0,36	0,38	0,33	0,36	0,39	0,12	0,01	30,32	0,29	0,48	0,15	0,82						
6	4,17	3,51	2,83	2,79	2,49	3,47	3,21	0,62	0,38	19,30	2,70	3,72	1,96	4,46						
7	0,28	0,30	0,33	0,4	0,29	0,43	0,34	0,06	0,00	18,45	0,29	0,39	0,21	0,46						
8	0,54	0,48	0,59	0,72	0,54	0,58	0,58	0,08	0,01	14,08	0,51	0,64	0,41	0,74						
9	0,56	1,49	0,89	0,57	0,71	0,61	0,81	0,36	0,13	44,40	0,51	1,10	0,08	1,53						
10	0,55	0,74	0,55	4,10	0,60	3,88	1,74	1,75	3,06	100,66	0,30	3,17	0,00	5,26						
11	0,27	0,28	0,54	0,85	0,53	0,49	0,49	0,21	0,05	43,11	0,32	0,67	0,06	0,92						
12	0,94	0,32	0,72	0,68	1,00	1,35	0,84	0,35	0,12	41,69	0,55	1,12	0,13	1,54						
13	0,23	0,30	0,20	0,55	0,47	0,73	0,41	0,21	0,04	50,07	0,24	0,58	0,00	0,83						

Tab. 10: Wasseraufnahme unter einem Druck von 150 bar nach DIN 52103.

(S; Maßangabe: keine)

Pr.-Nr.	\bar{x}	s
1	0,73	0,10
2	0,76	0,09
3	0,84	0,04
4	0,87	0,05
5	0,70	0,08
6	0,83	0,05
7	0,64	0,15
8	0,79	0,08
9	0,82	0,09
10	0,75	0,09
11	0,89	0,08
12	0,80	0,03
13	0,61	0,10

Tab. 11: Sättigungswert nach DIN 52113.

(R; Maßangabe: g/cm³)

Pr.-Nr.	Einzelwerte	\bar{x}	s
1	2,7034 2,7042	2,704	0,001
2	2,7175 2,7216	2,720	0,003
3	2,7227 2,7292	2,726	0,005
4	2,7344 2,7289	2,732	0,004
5	2,7178 2,7215	2,720	0,003
6	2,7337 2,7301	2,732	0,003
7	2,7145 2,7179	2,716	0,002
8	2,7110 2,7125	2,712	0,001
9	2,7040 2,7073	2,706	0,002
10	2,7037 2,7049	2,704	0,001
11	2,7250 2,7271	2,726	0,001
12	2,7145 2,7173	2,716	0,002
13	2,7116 2,7144	2,713	0,002

Tab. 12: Rohdichte der Prüfkörnung 8/12 mm nach TP Min-StB, Teil 3.2.1/2.

(F-T-W; Maßangabe: Gew.-%)

Pr.-Nr.	Einzelwerte		\bar{x}	s	v	v%	\bar{x} min	\bar{x} max	x min	x max
1	0,47	0,67	0,52	0,13	0,02	25,4	0,30	0,74	0,13	0,91
2	0,25	0,25	0,23	0,03	0,00	12,4	0,19	0,28	0,15	0,32
3	1,74	2,27	1,99	0,27	0,07	13,4	1,53	2,44	1,21	2,77
4	0,41	0,79	0,62	0,19	0,04	31,2	0,29	0,94	0,06	1,18
5	0,37	0,34	0,41	0,10	0,01	24,7	0,24	0,59	0,12	0,71
6	2,10	2,65	2,60	0,47	0,22	18,2	1,80	3,39	1,22	3,98
7	0,11	0,25	0,17	0,07	0,00	41,2	0,05	0,29	0,00	0,37
8	0,25	0,19	0,21	0,03	0,00	16,5	0,15	0,27	0,11	0,31
9	0,58	0,45	0,52	0,07	0,00	13,2	0,41	0,64	0,32	0,72
10	0,72	0,59	0,58	0,14	0,02	23,7	0,35	0,81	0,18	0,98
11	1,30	1,61	1,60	0,30	0,09	18,7	1,10	2,11	0,73	2,48
12	0,71	0,62	0,66	0,05	0,00	6,8	0,58	0,74	0,53	0,79
13	0,39	0,43	0,45	0,07	0,01	16,6	0,33	0,58	0,23	0,67

Tab. 13: Frost-Tauwechselversuche an der Körnung 8/12,5 mm in Anlehnung an DIN 52104, Teil 1, Verf. N.

($S^2_{g/12}$; Maßangabe: Gew.-%)

Pr.-Nr.	Einzelwerte		\bar{x}	s	v	v%	\bar{x} min	\bar{x} max	x min	x max
1	21,65	21,46	21,53	0,10	0,01	0,47	21,36	21,71	21,24	21,83
2	20,83	20,42	20,61	0,21	0,04	1,00	20,26	20,95	20,01	21,21
3	19,46	20,12	19,91	0,39	0,15	1,97	19,25	20,58	18,77	21,06
4	19,75	20,17	19,73	0,38	0,15	1,94	19,09	20,38	18,62	20,85
5	19,92	19,57	19,61	0,30	0,09	1,51	19,11	20,11	18,74	20,47
6	20,79	20,93	20,66	0,36	0,13	1,74	20,05	21,26	19,61	21,71
7	21,73	21,24	21,41	0,28	0,08	1,30	20,94	21,88	20,60	22,22
8	19,37	19,34	19,54	0,32	0,10	1,64	19,00	20,08	18,60	20,48
9	20,84	20,83	20,91	0,13	0,02	0,62	20,69	21,13	20,53	21,29
10	20,40	21,12	21,00	0,55	0,30	2,60	20,08	21,92	19,40	22,59
11	19,90	18,75	19,31	0,58	0,33	2,98	18,34	20,28	17,63	20,99
12	20,45	20,43	20,44	0,01	0,00	0,06	20,42	20,46	20,40	20,47
13	20,29	20,70	20,48	0,21	0,04	1,01	20,14	20,83	19,88	21,08

Tab. 14: Schlagversuche an der Prüfkörnung 8/12,5 mm nach TP Min-STB, Teil 5.2.1.4.

(w; Maßangabe: %)

Pr.-Nr.	Einzelwerte		\bar{x}	s	v	v%	\bar{x} min	\bar{x} max	x min	x max	
1	62,0	50,0	48,8	53,6	7,3	53,3	13,6	41,3	65,9	32,3	74,9
2	60,3	40,0	47,2	49,2	10,3	105,9	20,9	31,8	66,5	19,1	79,2
3	71,0	82,0	81,4	78,1	6,2	38,3	7,9	76,7	88,6	60,1	96,2
4	64,6	57,4	61,2	61,1	3,6	13,0	5,9	55,0	67,1	50,5	71,6
5	78,7	62,6	70,8	70,7	8,1	64,8	11,4	57,1	84,3	47,2	94,2
6	91,1	94,7	105,6	97,1	7,6	57,0	7,8	84,4	109,9	75,1	119,2
7	50,0	51,1	52,1	51,1	1,1	1,1	2,1	49,3	52,8	48,0	54,1
8	48,6	48,2	42,9	46,6	3,2	10,1	6,8	41,2	51,9	37,3	55,9
9	68,3	83,3	89,8	80,5	11,0	121,6	13,7	61,9	99,1	48,3	112,7
10	86,7	71,4	89,7	82,6	9,8	96,3	11,9	66,1	99,1	53,9	111,3
11	105,3	109,8	135,9	117,0	16,5	273,0	14,1	89,1	144,9	68,8	165,2
12	51,3	40,0	58,7	50,0	9,4	88,7	18,8	34,1	65,9	22,5	77,5
13	50,0	53,9	57,8	53,9	3,9	15,2	7,2	47,3	60,5	42,5	65,3

Tab. 15: Verhältnis Naß- zur Trockensetzung (nach VOGLER 1986) der Brechsandkörnung 1-2 mm.

Tab. 16:

Verzeichnis der berücksichtigten Normen

- DIN 52 100 Prüfung von Naturstein. Richtlinien zur Prüfung und Auswahl von Naturstein. Nachdruck Februar 1949.
- DIN 52 101 Prüfung von Naturstein. Probennahme. September 1965.
- DIN 52 102 Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Dichte. Rohdichte, Reindichte, Dichtigkeitsgrad, Gesamtporosität. September 1965.
- DIN 52 103 Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Wasseraufnahme. November 1972.
- DIN 52 104 (Teil 1) Prüfung von Naturstein. Frost-Tau-Wechsel-Versuch. Verf. N. November 1982.
- DIN 52 106 Prüfung von Naturstein. Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit. November 1972.
- DIN 52 113 Prüfung von Naturstein. Bestimmung des Sättigungswertes. März 1965.
- TL Min-StB 83 Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau. Ausgabe 1983. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Köln.)
- TP Min-StB 82 Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau. Ausgabe 1982. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Köln.)

Tab. 17:

Verzeichnis der wichtigsten Symbole

B_{xy}	(%)	= Bestimmtheitsmaß ($B_{xy} = r^2$)
F-T-W	(Gew.-%)	= Frostabsplitterung
n		= Anzahl der Meßwerte (-paare)
r		= Korrelationskoeffizient n. PEARSON
r_s		= Korrelationskoeffizient der Rangkorrelation n. SPEARMAN
s		= Standardabweichung
S	(-)	= Sättigungswert
S	(%)	= statistische Sicherheit
$SZ_{8/12}$	(Gew.-%)	= Schlagzertrümmerungswert für Splitt 8/12,5 mm
v		= Varianz
v%	(%)	= Variationskoeffizient
w	(%)	= Verhältnis Naß- zur Trockensetzung bei Brechsand
$W_{g,a}$	(Gew.-%)	= gewichtsbezogene Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck
$W_{g,d}$	(Gew.-%)	= gewichtsbezogene Wasseraufnahme unter Druck von 150 bar
x		= Einzelwert
\bar{x}		= arithmetischer Mittelwert
x min, x max		= 5 %-Fraktile (Grenzen des Vertrauensbe- reichs der Einzelwerte x für S = 90)
\bar{x} min, \bar{x} max		= Grenzen des Vertrauensbereichs von \bar{x} (für S = 90 %)
\bar{x}_G		= gewichteter Mittelwert
ρ_R	(g/cm ³)	= Rohdichte

B 2 (Schledehausen) Unterer Muschelkalk n = 94 Werte

	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	Sr
Maximum	52,4	16,0	16,7	6,32	5,84	2,11	0,29	1,01	0,05	0,17	5416
Minimum	26,8	0,1	2,2	0,37	0,77	0,05	0,01	0,10	0,01	0,01	157
\bar{x}	42,4	2,6	10,7	3,74	1,70	1,04	0,17	0,42	0,03	0,03	646
s	5,0	3,3	2,9	1,14	0,86	0,39	0,06	0,25	0,01	0,02	600
Median	44,2	1,7	10,5	3,57	1,71	0,96	0,70	0,32	0,03	0,03	518

B 3 (Hollage) Unterer Muschelkalk n = 89 Werte

	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	Sr
Maximum	49,6	15,0	16,8	6,03	11,75	1,56	0,28	2,01	0,05	0,23	1124
Minimum	28,5	0,1	6,0	1,45	0,80	0,16	0,06	0,11	0,01	0,02	110
\bar{x}	41,8	2,3	11,3	3,95	2,17	0,71	0,19	0,93	0,03	0,05	538
s	4,6	3,1	2,4	1,01	1,45	0,30	0,05	0,43	0,01	0,03	215
Median	42,6	1,4	13,8	3,88	1,90	0,68	0,19	0,91	0,03	0,05	366

Mittlerer Muschelkalk (gesamt) n = 57 Werte

	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	Sr
Maximum	46,0	18,4	35,0	11,11	4,07	3,14	0,54	0,94	0,12	0,07	542
Minimum	14,3	2,4	7,0	2,26	1,17	0,55	0,10	0,05	0,02	0,02	52
\bar{x}	24,4	13,1	18,0	5,55	2,65	1,51	0,26	0,38	0,07	0,04	141
s	6,7	3,5	7,5	2,15	0,59	0,64	0,10	0,18	0,03	0,01	105
Median	23,5	13,8	14,8	4,16	2,79	1,25	0,21	0,35	0,06	0,04	109

(Maßangabe: Gew.-%, für Sr ppm)

Tab. 18: Statistische Daten zu den geochemischen Untersuchungen.

(Maßangabe: Gew.-%)

B 2 (Schledehausen) Unterer Muschelkalk (mu)

Stratigraphie	Ges.-Karb. ¹⁾	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Anz. d. Werte	m
muS + muW3 + muT	81,6	43,2	2,2	9,9	1,60	3,50	9	8,2
muW2	81,0	42,4	2,6	10,9	1,62	3,78	39	33,3
muO	84,7	41,3	5,3	8,0	1,85	2,92	6	4,6
muW1	80,5	43,7	1,2	11,1	1,33	4,10	20	21,9
muK	79,6	41,1	3,0	11,3	2,01	4,07	20	11,6
gesamt (mu)	80,9	42,6	2,4	10,8	1,61	3,83	94	79,6

B 3 (Hollage) Unterer Muschelkalk (mu)

Stratigraphie	Ges.-Karb.	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Anz. d. Werte	m
muS + muW3 + muT	79,1	41,4	2,5	12,0	1,78	4,16	15	11,8
muW2	79,7	41,5	2,7	11,3	2,01	3,94	36	35,1
muO	83,4	40,4	5,4	8,7	2,80	2,59	4	3,7
muW1	79,4	42,9	1,4	11,3	1,88	4,12	22	19,3
muK	75,7	40,0	2,0	12,6	3,22	4,54	12	11,0
gesamt (mu)	79,2	41,6	2,4	11,5	2,15	4,03	89	80,9

¹⁾ Die CaO- und MgO-Werte aus den RFA-Analysen sind hier in Karbonat umgerechnet und zum Gesamtkarbonat addiert (vgl. Text)

Der gewichtete Mittelwert \bar{x}_G wurde wie folgt berechnet:

$$\bar{x}_G = \frac{a_1 \cdot b_1 + \dots + a_n \cdot b_n}{a_1 + \dots + a_n}$$

a = Länge des Beprobungsintervalls (m)

b = Analysenwert (Gew.-%)

Tab. 19: Nach Stratigraphie geordnete, gewichtete Mittelwerte (\bar{x}_G) für die wichtigsten, geochemischen Hauptbestandteile des Unteren Muschelkalks.

Unterer Muschelkalk (B 2, Schleddehausen)

Bei der verkürzten Zahlenschreibweise in der Tabelle bedeuten z.B. .87 = 0,87 -87 = -0,87

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Ba	Cr	Cu	La	Ni	Rb	Sr	U	V	Y	Zn	
	1	93	1																				
SiO2	.93	.97	1																				
TiO2	.92	.97	.88	1																			
Al2O3	.16	.20	.18		1																		
Fe2O3	-.01	-.02	-.04	.82	.73	1																	
MnO	-.08	-.01	-.04	-.84	-.68	-.85	1																
MgO	-.45	-.51	-.47	-.84	-.79	-.05	-.07	1															
CaO	.18	.10	.19	.07	.29	.00	.03	-.52	.05	1													
Na2O	.89	.97	.97	.22	.00	.00	.36	.26	.62	.62	1												
K2O	.86	.66	.66	.23	.05	.00	.36	.26	.62	.62	.88	1											
P2O5	-.95	-.90	-.93	-.08	.03	.22	.31	-.34	-.88	-.69	.16	.10	1										
LOI	-.04	.02	.00	.30	.19	.52	.43	-.21	.07	-.06	.16	.10	.10	1									
Ba	.70	.77	.77	.23	.11	.04	.42	.10	.77	.48	.71	.10	.10	.18	1								
Cr	.06	.08	.04	.01	.09	.04	.07	.01	.22	.00	.21	.08	.14	.18	.18	1							
Cu	.11	.13	.16	-.05	.04	-.07	-.01	.23	.14	.01	.18	.00	.27	.18	.18	.07	1						
La	.57	.56	.57	.21	.15	.05	.36	.38	.55	.43	.64	.05	.36	.03	.07	.12	.50	1					
Ni	.85	.93	.94	.13	-.07	-.04	-.43	.01	.96	.57	.85	.03	.73	-.03	.12	.50	.50	.00	1				
Rb	-.20	-.20	-.18	-.05	.33	.07	.02	.19	-.20	-.21	.12	.00	.17	-.01	.04	.00	.08	.08	1				
Sr	.19	.23	.23	-.13	-.13	-.19	.06	.16	.21	.06	-.24	-.07	.28	.11	.27	.23	.23	.19	.19	1			
U	.50	.51	.57	-.02	-.08	-.14	-.16	.13	.55	.41	.55	.01	.45	.08	.38	.31	.56	.10	.34	.34	1		
V	.50	.44	.43	-.03	-.18	-.26	-.03	.06	.43	.29	-.48	-.10	.39	.01	-.04	.30	.39	-.52	.36	.26	.26	1	
Y	-.05	-.02	-.02	-.08	.08	.16	-.12	.03	.00	.10	.03	.04	-.09	-.10	.11	.01	-.02	.18	-.26	-.09	-.19	.19	1
Zn	.68	.71	.67	.26	.24	.17	-.51	.14	.66	.40	-.65	.06	.52	.08	.09	.41	.70	.44	.03	.29	.00	.08	.08

n = 94 Werte
für S > 99,9 % |r| > 0,34

LOI = Glühverlust

Die Spurenelemente Bi, Ce, Mo, Nb, Pb, Sc, Sn, Ta, Th und W weisen im Unteren Muschelkalk der B 2 (Schleddehausen) bei mehr als 10 % der untersuchten Proben (d.h. mehr als 9 von n=94) Gehalte unter der jeweiligen Nachweisgrenze auf und wurden deshalb für die Korrelationsrechnung nicht berücksichtigt (vgl. Text). Bei Cr, La, Y und Zn liegen 4, 3, 1 bzw. 3 Analysewerte unter der Nachweisgrenze. Für diese Proben wurde bei der Berechnung der Matrix ein Wert von 1 ppm angenommen.

Tab. 20: Matrix der Korrelationskoeffizienten r für die geochemischen Hauptbestandteile und Spurenelemente (Unterer Muschelkalk, B 2 Schleddehausen).

Unterer Muschelkalk (B 3, Hollage)

Bei der verkürzten Zahlenschreibweise in der Tabelle bedeuten z.B. .87 = 0,87 -87 = -0,87

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Ba	Co	Cr	Cu	La	Mo	Ni	Rb	Sr	U	V	Y	Zn
	.95	1																						
	.94	.96	1																					
	.03	.07	.02	1																				
	.06	.11	.06	.95	1																			
	.11	.12	.16	.52	.38	1																		
	.39	.38	.35	.64	.54	.85	1																	
	.45	.46	.49	.11	.12	.44	.13	1																
	.72	.72	.72	.09	.09	.10	.41	.43	.28	1														
	.56	.53	.56	.34	.20	.31	.23	.61	.59	.65	1													
	.32	.07	.08	.02	.08	.19	.20	.17	.23	.09	.03	1												
	.12	.07	.10	.69	.67	.01	.10	.07	.09	.39	.06	.14	1											
	.73	.75	.74	.09	.14	.00	.38	.35	.55	.48	.69	.10	.10	1										
	.30	.29	.27	.10	.02	.13	.23	.25	.16	.05	.21	.09	.35	.30	1									
	.13	.11	.13	.06	.11	.05	.04	.10	.03	.15	.04	.11	.06	.06	.29	.08	1							
	.02	.03	.06	.11	.03	.19	.16	.17	.02	.07	.10	.08	.07	.07	.06	.22	.1							
	.22	.28	.26	.79	.77	.09	.36	.07	.22	.62	.39	.01	.76	.16	.22	.01	.04	1						
	.74	.74	.77	.03	.08	.09	.43	.14	.98	.30	.62	.26	.10	.56	.09	.15	.02	.21	1					
	.10	.11	.00	.55	.47	.63	.64	.39	.30	.21	.04	.00	.17	.15	.32	.13	.11	.23	.19	1				
	.10	.10	.12	.10	.07	.15	.06	.01	.10	.17	.17	.03	.17	.10	.20	.10	.14	.20	.16	.08	1			
	.41	.43	.47	.15	.17	.05	.20	.20	.34	.31	.45	.20	.10	.39	.08	.35	.02	.25	.38	.01	.04	1		
	.33	.32	.29	.36	.35	.04	.20	.14	.21	.47	.40	.04	.34	.16	.02	.04	.14	.46	.21	.14	.27	.20	1	
	.30	.27	.28	.01	.05	.10	.05	.12	.38	.13	.24	.00	.07	.19	.02	.01	.16	.38	.20	.03	.23	.10	1	
	.87	.86	.81	.14	.13	.19	.22	.36	.63	.47	.78	.15	.20	.61	.19	.01	.03	.08	.65	.04	.08	.22	.23	.28

n = 89 Werte
für S > 99,9 % |r| > 0,35

LOI = Glühverlust

Die Spurenelemente Bi, Ce, Nb, Pb, Sc, Sn, Ta, Th und W weisen im Unteren Muschelkalk der B 3 (Hollage) bei mehr als 10 % der untersuchten Proben (d.h. mehr als 9 von n=89) Gehalte unter der jeweiligen Nachweisgrenze auf und wurden deshalb für die Korrelationsrechnung nicht berücksichtigt (vgl. Text). Bei Co, Cr, La, Mo und Zn liegen 7, 4, 3, 7 bzw. 6 Analysenwerte unter der Nachweisgrenze. Für diese Proben wurde bei der Berechnung der Matrix ein Wert von 1 ppm angenommen.

Tab. 21: Matrix der Korrelationskoeffizienten r für die geochemischen Hauptbestandteile und Spurenelemente (Unterer Muschelkalk, B 3 Hollage).

Mittlerer Muschelkalk (gesamt)

Bei der verkürzten Zahlenschreibweise in der Tabelle bedeuten z.B. .87 = 0,87 -87 = -0,87

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Ba	Co	Cr	Cu	La	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	U	V	Y	Zn
	1	.92	1																						
SiO2																									
TiO2																									
Al2O3																									
Fe2O3																									
MnO																									
MgO																									
CaO																									
Na2O																									
K2O																									
P2O5																									
LOI																									
Ba																									
Co																									
Cr																									
Cu																									
La																									
Ni																									
Pb																									
Rb																									
Sc																									
Sr																									
U																									
V																									
Y																									
Zn																									
Zr																									

n = 57 Werte
für S > 99,9 % |r| > 0,43

LOI = Glühverlust

Die Spurenelemente Bi, Ce, Mo, Nb, Sn, Ta, Th und W weisen im Mittleren Muschelkalk bei mehr als 10 % der untersuchten Proben (d.h. mehr als 6 von n=57) Gehalte unter der jeweiligen Nachweisgrenze auf und wurden deshalb für die Korrelationsrechnung nicht berücksichtigt (vgl. Text). Bei Pb und Sc liegen einer, bzw. 5 Analysenwerte unter der Nachweisgrenze. Für diese Proben wurde bei der Berechnung der Matrix ein Wert von 1 ppm angenommen.

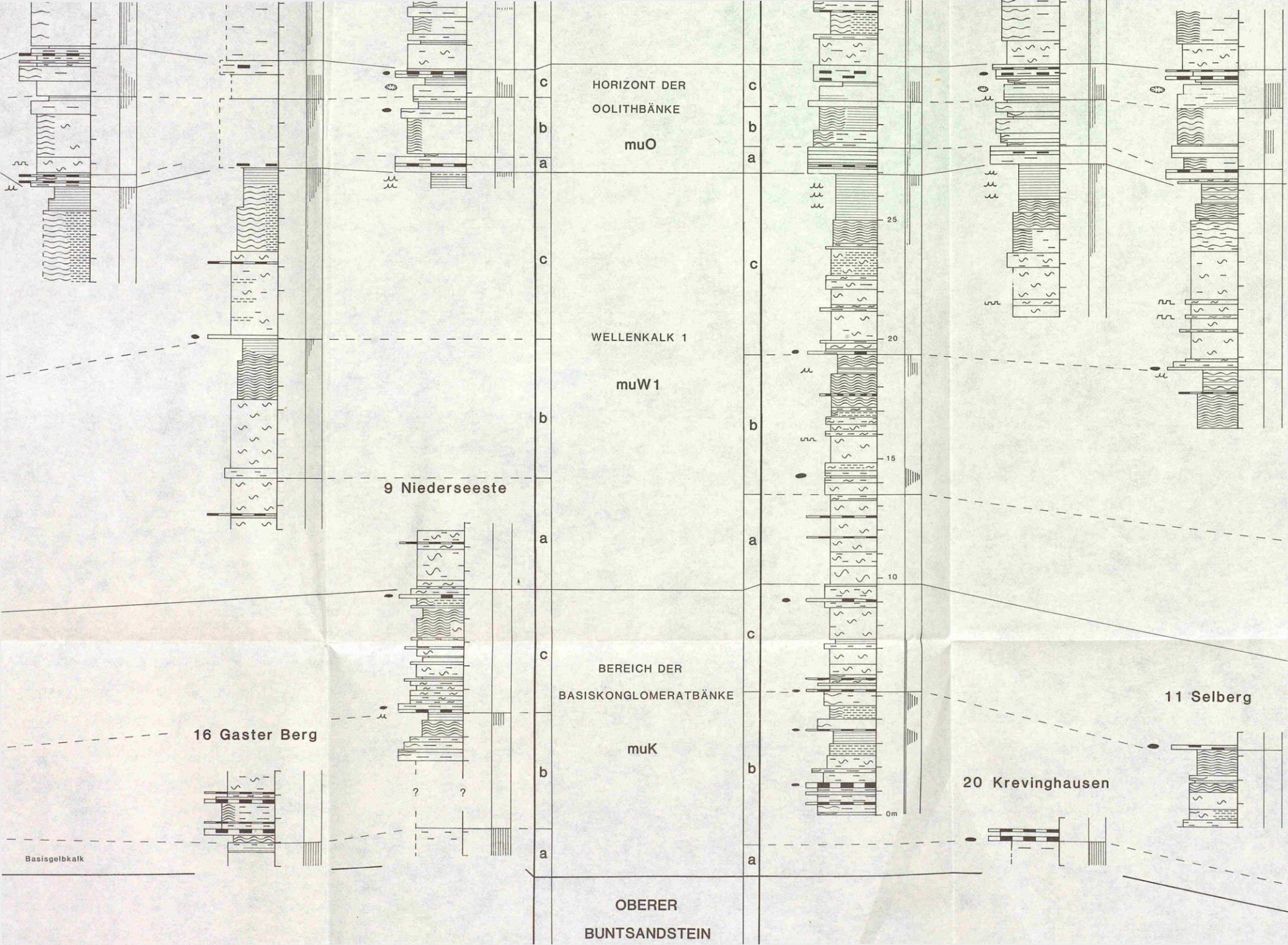
Tab. 22: Matrix der Korrelationskoeffizienten r für die geochemischen Hauptbestandteile und Spurenelemente (Mittlerer Muschelkalk, gesamt).

Lebenslauf

Am 28.02.1955 wurde ich, Alfred Langer als Sohn des Konstruktors Alfred Langer und seiner Ehefrau Sigrid, geb. Schwarz, in Peine geboren. Nach dem Besuch der Grundschule und des Gymnasiums am Silberkamp in Peine legte ich 1975 die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 1975/76 nahm ich das Studium der Geologie an der Technischen Universität in Clausthal auf und wechselte nach der Diplom-Vorprüfung im Jahre 1978 an die Universität Hannover. Das Geologie-Studium beendete ich 1983 in Hannover mit dem Abschluß Diplom-Geologe. Während des Studiums übte ich zahlreiche Nebentätigkeiten im Bereich Geologie bei verschiedenen Firmen, Behörden und der Universität aus.

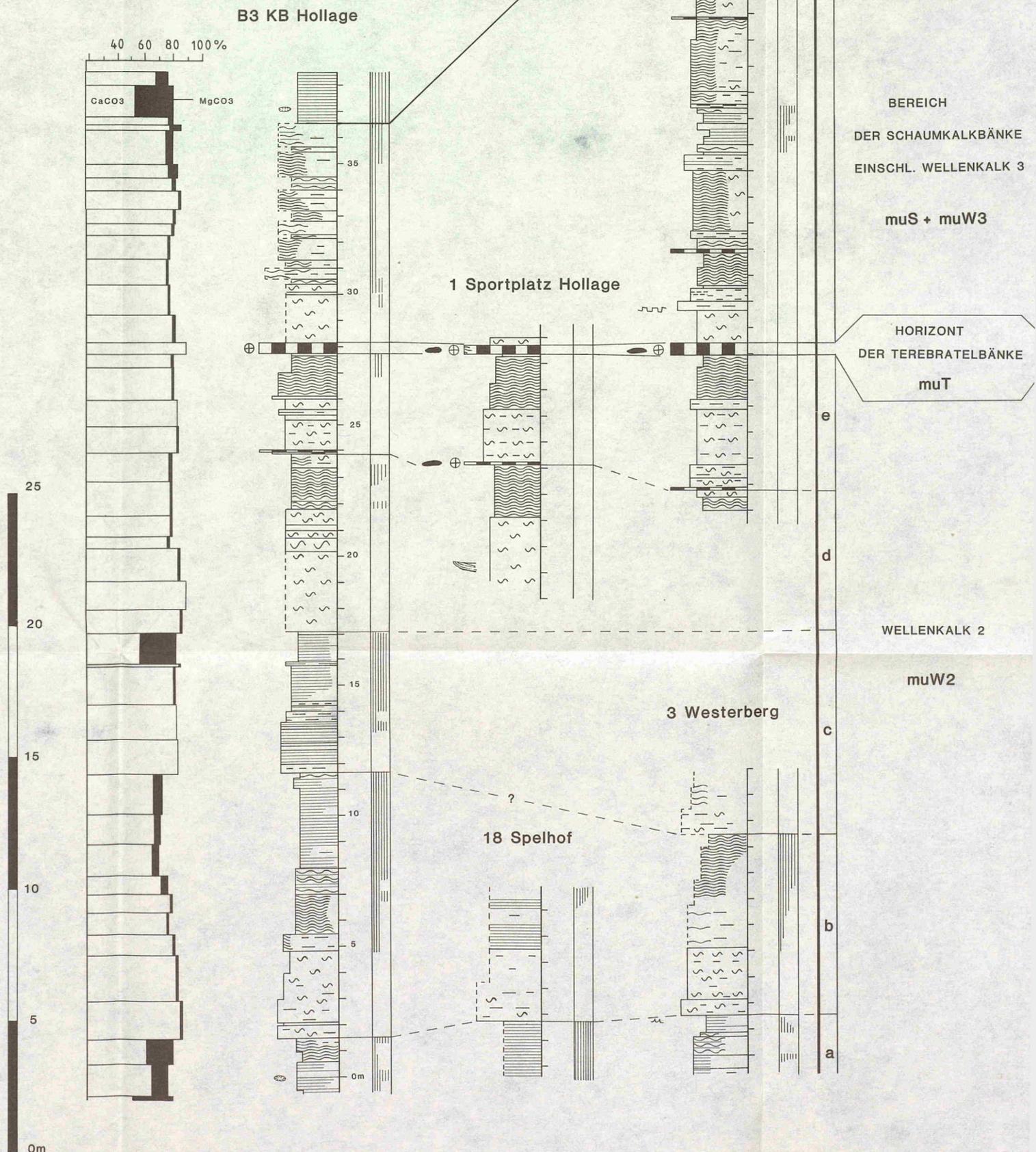
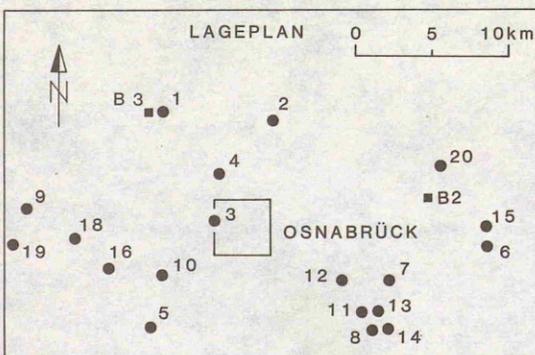
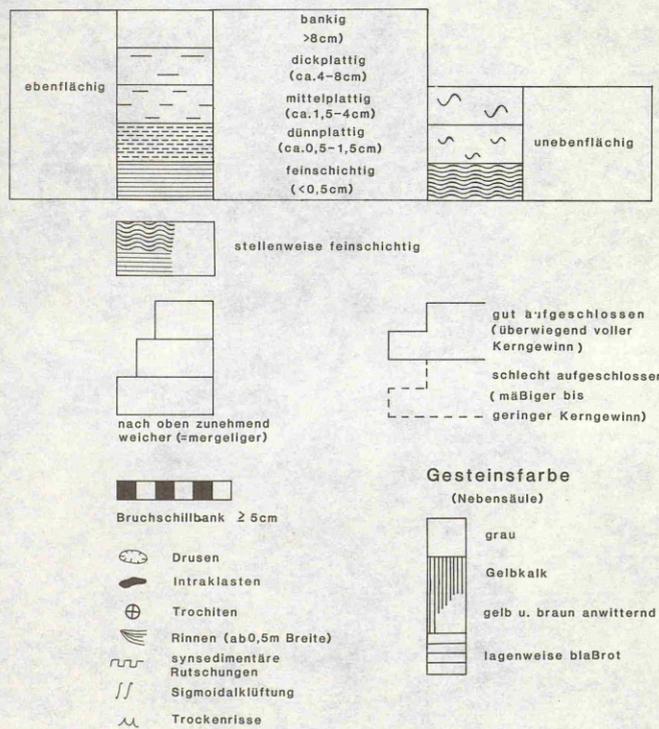
Nach dem Studium war ich bei der Fa. Rommenhöller GmbH und der Universität Hannover beschäftigt. Seit Oktober 1984 bin ich beim Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Hannover als wissenschaftlicher Mitarbeiter eingestellt.



TAFEL I

(zu LANGER, A. 1989: Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover, 29)

Legende zu den dargestellten Karbonatgesteinen



2 Ruller Loh

5 Silbersee

B2 KB Schleddehausen

4 Bundesstrasse 68

MITTLERER
MUSCHELKALK

BEREICH
DER SCHAUMKALKBÄNKE
EINSCHL. WELLENKALK 3

muS + muW3

HORIZONT
DER TEREBRATELBÄNKE
muT

7 Werscher Berg

6 Hiddinghausen

WELLENKALK 2

muW2

8 Holter Burg

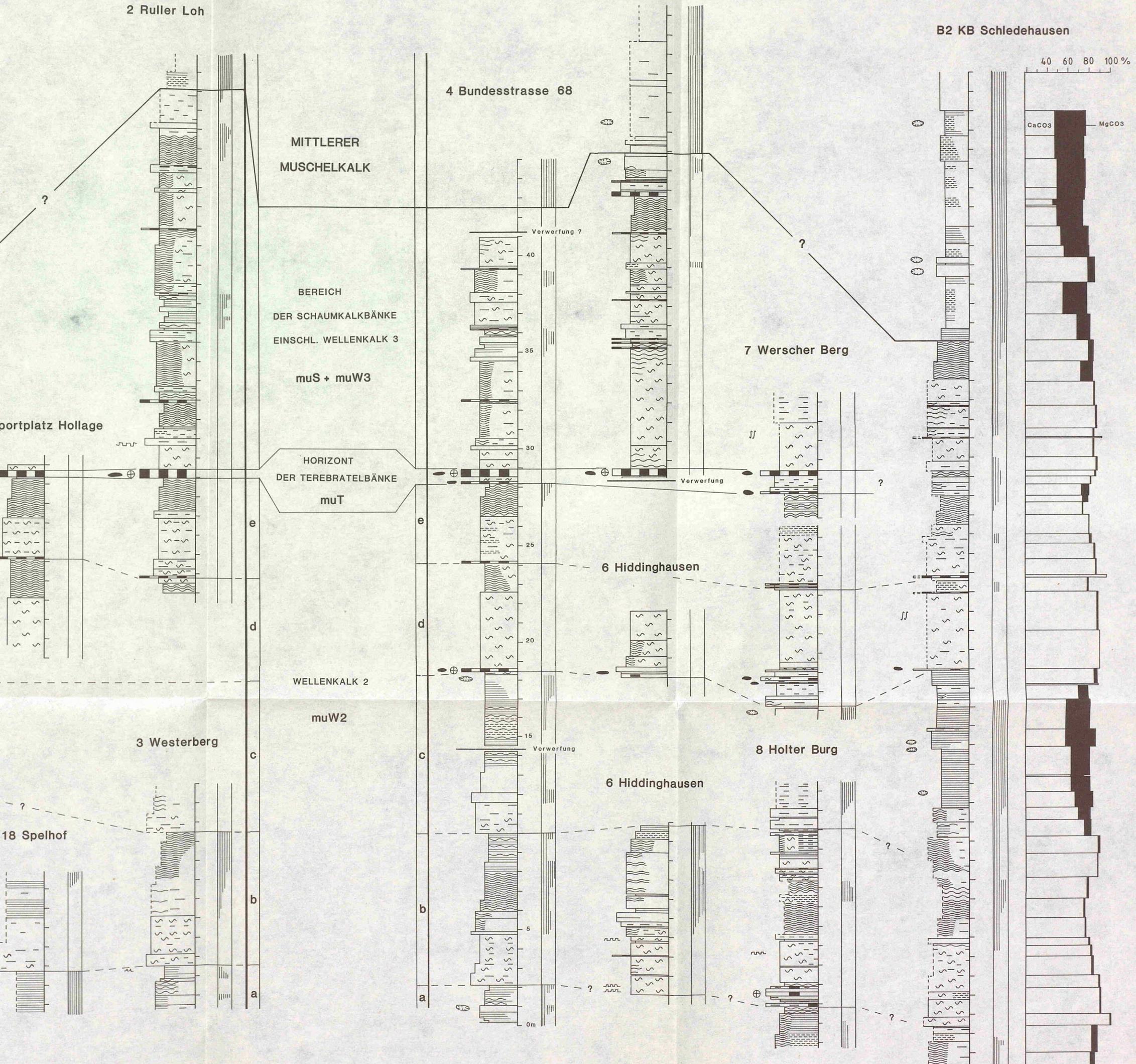
6 Hiddinghausen

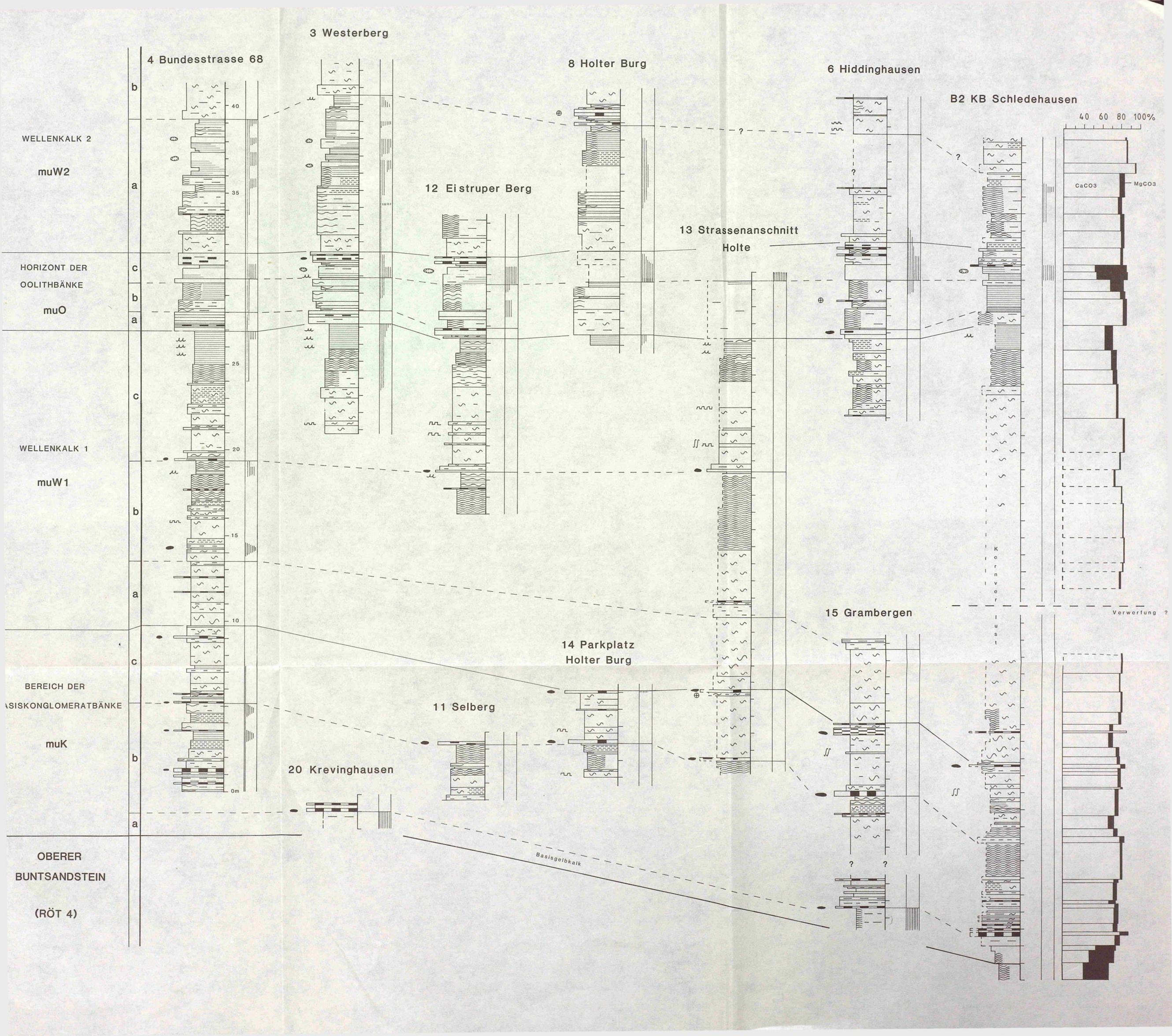
3 Westerberg

18 Spelhof

40 60 80 100 %

CaCO₃ MgCO₃



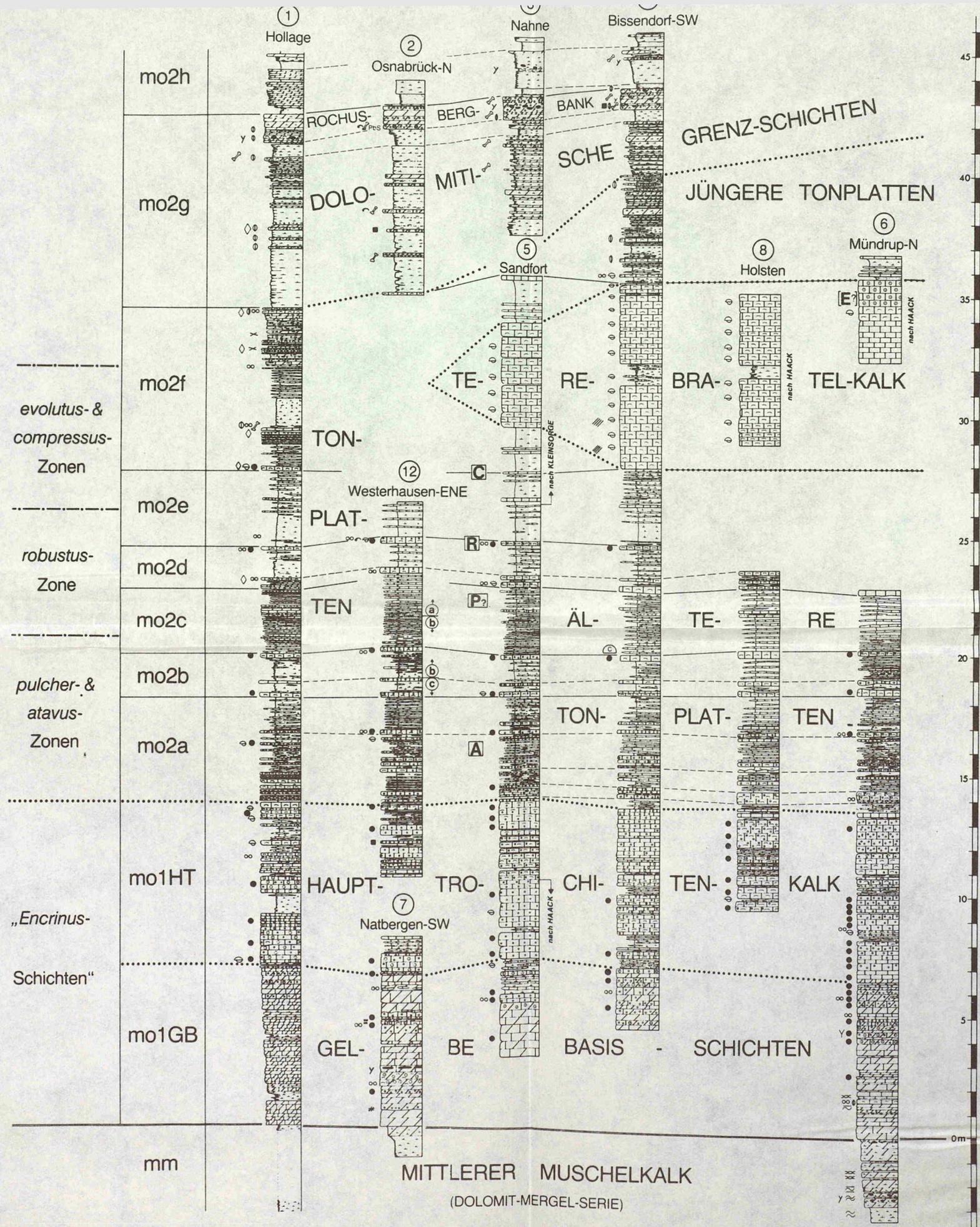


Lage der Aufschlüsse:

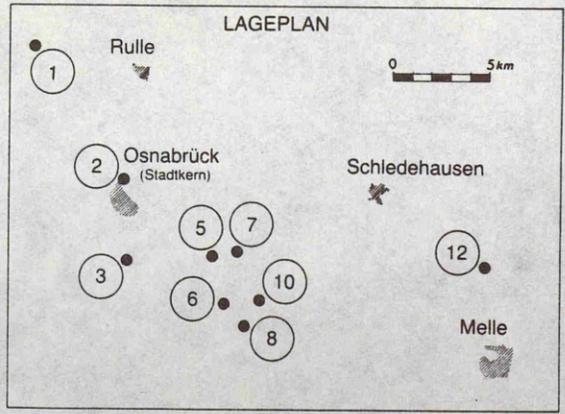
- 1 TK Nr. 3613 Westerkappeln,
R 34 30 600/H 58 01 800
- 2 TK Nr. 3714 Osnabrück,
R 34 35 280/H 57 95 040
- 3 TK Nr. 3714 Osnabrück,
R 34 35 300/H 57 90 750
- 5 TK Nr. 3714 Osnabrück,
R 34 39 800/H 57 91 100
- 6 TK Nr. 3714 Osnabrück,
R 34 40 400/H 57 88 600
- 7 TK Nr. 3714 Osnabrück,
R 34 40 900/H 57 91 250
- 8 TK Nr. 3714 Osnabrück,
R 34 41 550/H 57 87 450
- 10 TK Nr. 3714 Osnabrück,
R 34 42 000/H 57 88 700
- 12 TK Nr. 3715 Bissendorf,
a R 34 54 050/H 57 90 550
b R 34 52 280/H 57 90 450
c R 34 52 410/H 57 90 580

aus: DUCHROW & GROETZNER (1984,
Anl. Om2)

Tafel III



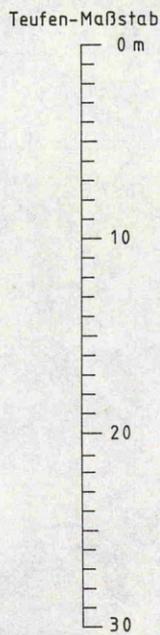
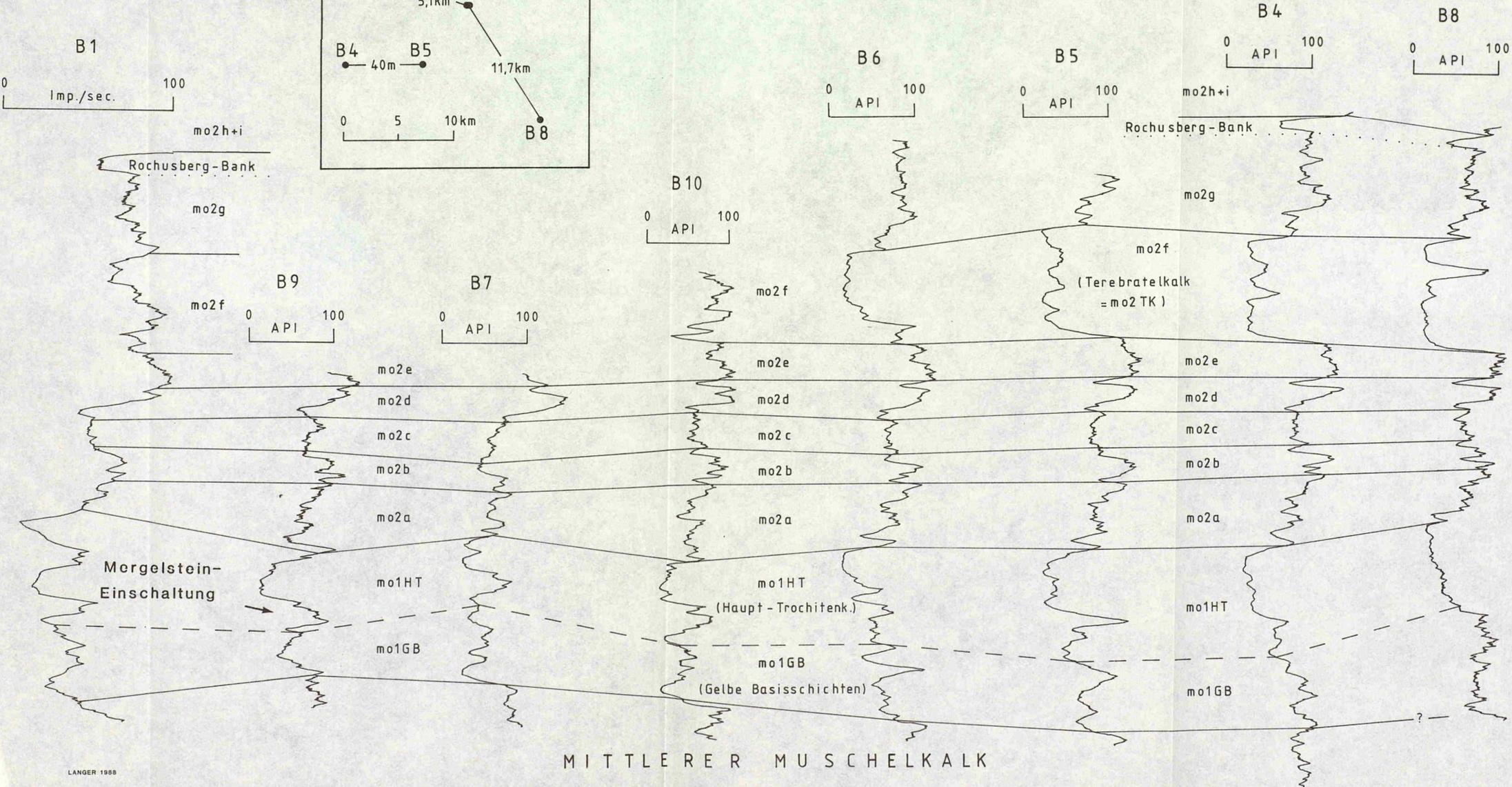
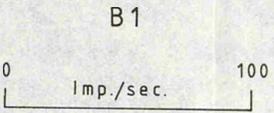
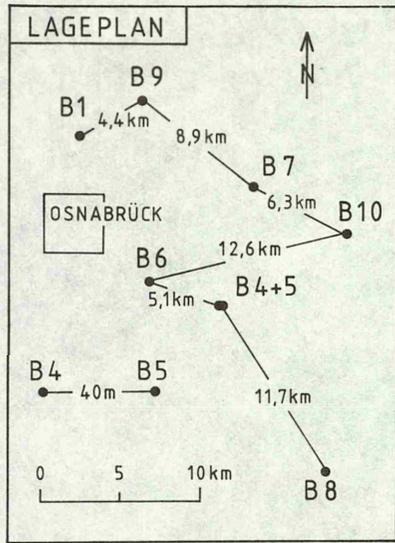
- GESTEIN**
- Kalkstein
 - Dolomitstein
 - Schill-Karbonatstein
 - Schillkorn-Karbonatstein
 - oolithischer Karbonatstein
 - Kalkmergelstein
 - Dolomitmergelstein
 - Tonstein
 - Kalkspat-Drusen / Gipsresiduen
- FOSSILIEN**
- A...E Ceratiten der atavus-, pulcher-, robustus-, compressus- und evolutus-Zonen
 - Muscheln
 - Coenothyris vulgaris
 - Muscheln und/oder Brachiopoden
 - Crinoiden-Partikel
 - Crinoiden/Muschel-Bioherm
 - Fischschuppen
 - Wirbeltierreste
- GEFÜGE**
- Diagonal-Bankung
 - feine Schrägschichtung
 - schlierige Schichtung
 - ebene Feinschichtung
 - gerundete Intraklasten
 - eckige Intraklasten
 - Fließbrekzie
 - Injektionsbrekzie
 - Trockenrisse
 - Kalkspat-Drusen / Gipsresiduen
- STRATIGRAPHISCHE KORRELATION**
- Unterabteilungs-Grenze
 - biostratigraphische Grenze
 - lithostratigraphisch-fazielle Grenze
 - lithologisch-feinstratigraphische Grenze
 - lithologisch-feinstratigraphische Parallelisierung



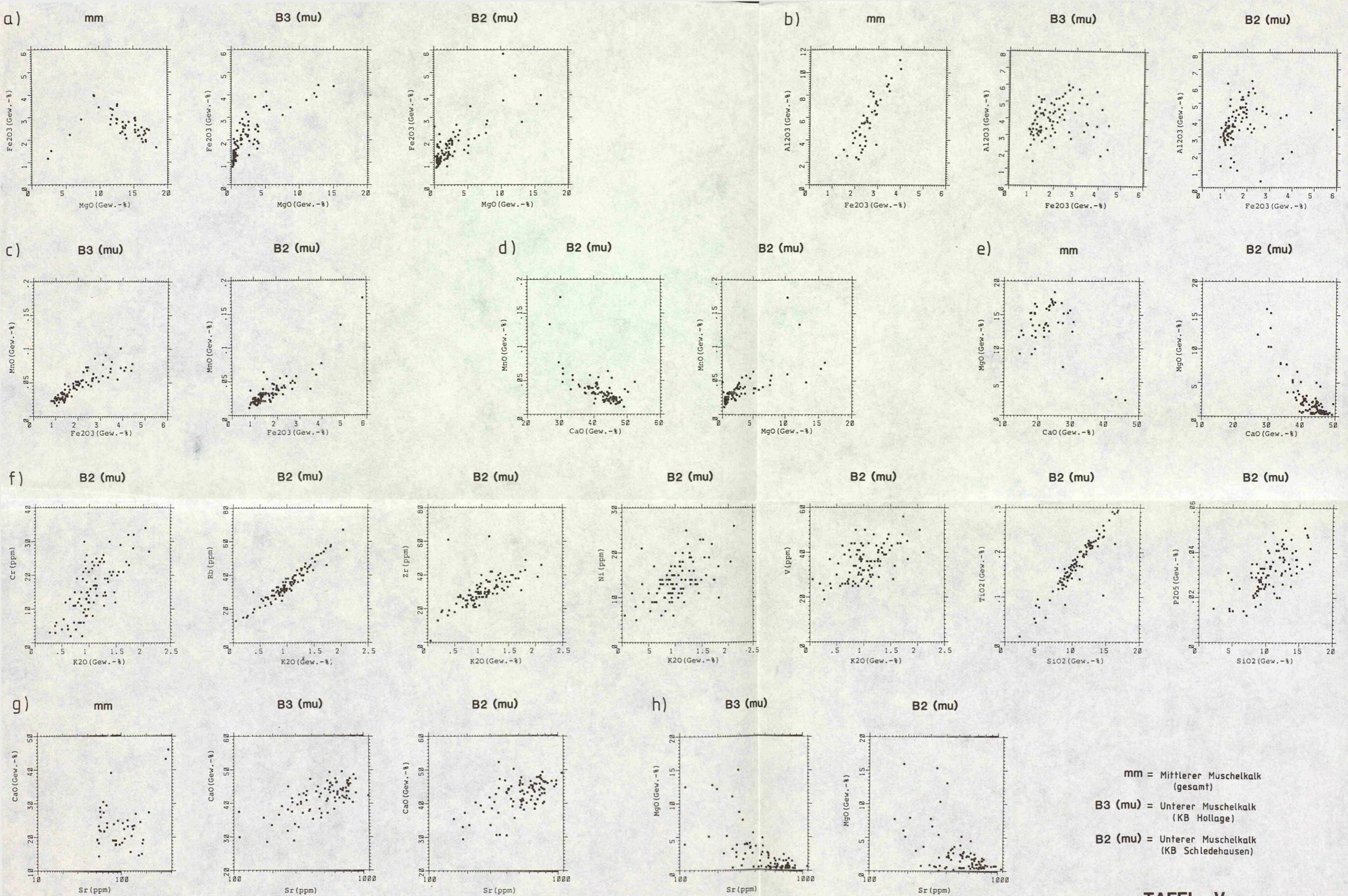
om 2 Säulenprofile im Oberen Muschelkalk (mo1 bis mo2g) des Osnabrücker Berglandes. Die Profile sind an der Untergrenze des mo2b aufgehängt und enden im Bereich der Rochusberg-Bank (etwa *enodis-laevigatus*-Zone). Die Profilserie zeigt die Horizontbeständigkeit der mo1-Grenzen, das Auskeilen des Terebratulenkalks sowie das Abfallen der Basis der Dolomitischen Grenz-Schichten. Das Durchhalten zahlreicher Schill-Bänke und zyklischer Bankabfolge in den Tonplatten, z. T. auch in den Dolomitischen Grenz-Schichten, ermöglicht eine feinstratigraphische Detail-Korrelation und -Gliederung (mo2a bis mo2i) und erklärt sich u. a. aus der Entstehung der Schill-Lagen als flächenhafte Sturm-Sedimente (»Tempestite«). Profile 5, 6 und 8 ergänzt nach HAACK (1926) und KLEINSORGE (1935) (s. Aufschluß-Verzeichnis, S. 170). Säulenprofile des höheren Oberen Muschelkalks (mo2g bis mo2i) mit der Grenze zum Unterkeuper finden sich bei DUCHROW (1984, Anl. k 3).

**GAMMA-RAY-LOGS AUS BOHRUNGEN DURCH DEN OBEREN MUSCHELKALK
DES OSNABRÜCKER BERGLANDES**
(Gliederungseinheiten n. DUCHROW & GROETZNER (1984))

(zu LANGER, A. 1989: Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover, 29)



MITTLERER MUSCHELKALK



TAFEL V

Beziehungen zwischen den geochemischen Bestandteilen des Unteren und Mittleren Muschelkalks

(zu LANGER, A. 1989: Mitt. geol. Inst. Univ. Hannover, 29)

- Heft 16: FISCHER, U.: Der Schichtaufbau d. tieferen Lias am Egge-Osthang zwischen Horn und Langeland (Westfalen).- MUTTERLOSE, J.: Ontogenie und Phylogenie der Belemnitenart *Hibolites jaculoides* SWINNERTON, 1937 aus dem Hauterivium (Unterkreide) von NW-Deutschland (Sarstedt) und NE-England (Speeton).- 120 S., 7 Taf., 1978 DM 12,--
- Heft 17: SNIEHOTTA, M.: Bodenbewegungen von 1945-1974 im Subrosionsbereich des Salzstocks von Benthe (SW Hannover).- HOHM, D.: Über Erdfälle am nordwestlichen Harzrand zwischen Hahausen und Osterode am Harz (Niedersachsen).- NEUSS, P.: Zur Biostratigraphie und Fazies der Unterkreide-Serien (Hauterivium-Aptium) im Eisenerz-Tagebau "Morgenstern" N Goslar (SE Nieders.).- 222 S., 11 Taf., 1979. DM 25,--
- Heft 18: MAUTHE, F.: Probleme und Risiken bei der geplanten Einlagerung radioaktiver Abfälle in einem NW-deutschen Salzstock.- 60 S., 5 Abb., 1979. DM 4,--
- Heft 19: JÄGER, M.: Die Crinoiden der nordwestdeutschen Unterkreide.- 136 S., 12 Abb., 1 Tab., 16 Taf., 1981. DM 20,--
- Heft 21: KÖTHE, A.: Kalkiges Nannoplankton aus dem Unter-Hauterivium b. Unter-Barreme der Tongrube Moorberg/Sarstedt (Unter-Kreide NW-Deutschland).- 95 S., 56 Abb., 7 Tab., 10 Taf., 1981. DM 14,--
- Heft 22: HÜSER, M.: Die Feldspatgehalte quartärzeitl. Sande Niedersachsens.- 81 S., 19 Abb., 6 Tab., 1 Taf., 1982. DM 7,--
- Heft 23: KREUSCH, J.: Stratigraphisch-fazielle Untersuchungen an Dogger- und Malm-zeitl. Ablagerungen im Raum Wolfsburg (Ost-Niedersachsen.- MEYER, Th.: Schichtaufbau und Biostratigraphie der Cenoman-Turon-Vorkommen in der Hilsmulde bei Kaierde (Niedersächs. Bergland).- 91 S., 24 Abb., 3 Tab., 3 Taf. (in Tasche), 1983. DM 10,--
- Heft 24: MUTTERLOSE, J.: Die Unterkreide-Aufschlüsse (Valangin-Alb) im Raum Hannover-Braunschweig.- 61 S., 25 Abb., 1 Tab., 1 Taf., 1984. DM 9,50
- Heft 25: CHITSAZIAN, A.: Beziehungen zwischen Mineralbestand, Gefüge und technologischen Eigenschaften niedersächs. Wealden - Sandsteine (Unterkreide).- 103 S., 12 Abb., 16 Tab., 3 Taf., 1985. DM 9,50
- Heft 26: BOMBIEN, H.: Geologisch-petrographische Untersuchungen zur quartären (früh-Saale-zeitlichen) Flußgeschichte im nördlichen Harzvorland.- 131 S., 32 Abb., 4 Tab., 1987. DM 18,50
- Heft 27: SCHRÖDER, P.: Aufbau und Untergliederung des Niederterrassenkörpers der Untereibe.- 119 S., 55 Abb., 4 Tab., 1988. DM 7,--
- Heft 28: MEYER, H.-H.: Paläowind-Indikatoren.- Möglichkeiten, Grenzen und Probleme ihrer Anwendung am Beisp. des Weichselhochglazials in Europa.- 61 S., 2 Abb. 1989. DM 7,80

Die angegebenen Preise sind Selbstkostenpreise, daher Rabattgewährung nicht möglich.

Bezug über: Institut für Geologie der Paläontologie
Universität Hannover
Callinstraße 30, D - 3000 Hannover 1