

Mitteilungen aus dem Geologischen Institut
der Universität Hannover

Redaktion: J.-P. Groetzner

UB/TIB Hannover

Heft 25

RA 356
(25)

Beziehungen zwischen Mineralbestand,
Gefüge und technologischen Eigenschaften
der Niedersächsischen „Wealden“ –
Sandsteine (Unterkreide)

von
Heidar Ali Chitsazian

Mitt. Geol. Inst. Univ. Hannover	25	ISSN 0440-2812	103 S., 12 Abb., 16 Tab., Taf. 1–3 (in Tasche)	Hannover Juli 1985
-------------------------------------	----	----------------	---	-----------------------

Beziehungen zwischen Mineralbestand, Gefüge und technologischen
Eigenschaften der niedersächsischen Wealden-Sandsteine (Unterkreide)

vom Fachbereich Erdwissenschaften
der Universität Hannover

zur Erlangung der Würde eines
DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN

- Dr. rer. nat. -

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Geol. Heidar Ali Chitsazian

aus Shiras/Iran

RA 356 (25)

Referent: Prof. Dr. D. Henningsen

Korreferent: Prof. Dr. H. Lücke

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Juni 1984

nov
Fakultät III

Mitteilungen aus dem Geologischen Institut
der Universität Hannover

Redaktion: J.-P. Groetzner

Heft 25

**Beziehungen zwischen Mineralbestand,
Gefüge und technologischen Eigenschaften
der Niedersächsischen „Wealden“ –
Sandsteine (Unterkreide)**

von
Heidar Ali Chitsazian

Mitt. Geol. Inst. Univ. Hannover	25	ISSN 0440-2812	103 S., 12 Abb., 16 Tab., Taf. 1–3 (in Tasche)	Hannover Juli 1985
-------------------------------------	----	----------------	---	-----------------------

**BEZIEHUNGEN ZWISCHEN MINERALBESTAND,
GEFÜGE UND TECHNOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN
DER NIEDERSÄCHSISCHEN "WEALDEN" - SANDSTEINE (UNTERKREIDE)**

von

HEIDAR ALI CHITSAZIAN ^{*)}

(mit 12 Abb., 16 Tab., Taf. 1 - 3 (in Tasche))

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
ZUSAMMENFASSUNG	6
0. VORWORT	7
1. EINLEITUNG	8
2. VORBEMERKUNGEN	10
2.1 Probenauswahl	10
2.2 Probennahme	11
2.3 Probenaufbereitung	12
3. BESCHREIBUNG DER AUFSCHLÜSSE	13
3.1 Steinbruch Obernkirchen	13
3.2 Steinbruch Rehburger Berge	14
3.3 Steinbruch Süntel	15
3.4 Steinbruch Osterwald	15
3.5 Steinbruch Nesselberg	16
3.6 Steinbruch Deister a	17
3.7 Steinbruch Deister b	17
4. PETROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN	18
4.1 Arbeitsmethoden	18
4.2 Allgemeine Beschreibung des Bindemittels	20
4.3 Beschreibung der einzelnen Gesteinstypen	20
4.3.1 Obernkirchener Sandstein (Typ 1)	20
4.3.2 Rehburger-Berge-Sandsteine (Typ 2)	29
4.3.3 Süntel-Sandstein (Typ 3)	33
4.3.4 Osterwald-Sandstein (Typ 4)	38
4.3.5 Nesselberg-Sandstein a (Typ 5)	42
4.3.6 Nesselberg-Sandstein b (Typ 6)	47
4.3.7 Universitäts-Hauptgebäude-Sandstein (Typ 7)	51
4.3.8 Deister-Sandstein a (Typ 8)	51
4.3.9 Deister-Sandstein b (Typ 9)	55
5. BEZIEHUNGEN zwischen Paläogeographie und Lithofazies der Sandsteine	59
6. TECHNOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	61
6.1 Physikalisch-technische Untersuchungen	61
6.1.1 Rohdichte	61
6.1.2 Reindichte	63

Anschrift des Verfassers: Dr. H.A. Chitsazian, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Hannover, Callinstr. 30, D-3000 Hannover 1.

6.1.3	Gesamtporosität	63
6.1.4	Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck	65
6.1.5	Wasseraufnahme unter Druck von 150 bar	65
6.1.6	Sättigungswert	65
6.1.7	Frost-Tau-Wechsel-Versuch	66
6.1.8	Kristallisations-Versuch	68
6.1.9	Druckfestigkeitsprüfung	74
6.1.10	Spaltzugfestigkeit	76
6.2	Statistische Auswertung der Druckversuche und der Spaltzugversuche	79
7.	DISKUSSION	86
7.1	Beziehung zwischen Druckfestigkeit und anderen technischen Eigenschaften sowie der Petrographie der Gesteine	86
7.1.1	Beziehung Druckfestigkeit / Rohdichte	86
7.1.2	Beziehungen Druckfestigkeit / Spaltzugfestigkeit	86
7.1.3	Beziehung Druckfestigkeit / Wasseraufnahme	87
7.1.4	Beziehung Druckfestigkeit / Gesamtporosität	87
7.1.5	Beziehung Druckfestigkeit / Kristallisations- versuch	87
7.1.6	Beziehung Druckfestigkeit Frost-Tau-Wechsel- Versuche	88
7.1.7	Beziehung Druckfestigkeit / Mineralbestand	88
7.1.8	Beziehung Druckfestigkeit / Gefügeeigenschaften	89
7.2	Beziehungen zwischen Spaltzugfestigkeit und anderen technischen Versuchen sowie der Petro- graphie der Gesteine	90
7.3	Beziehung Gesamtporosität / Kristallisationswerte	91
7.3.1	Beziehungen Gesamtporosität / Wasseraufnahme	91
7.4	Beziehung zwischen Frost-Tau-Wechsel-Versuchen und anderen technischen Versuchen	92
8.	SAUGVERMÖGEN DER WEALDEN-SANDSTEINE	92
9.	BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN WEALDEN-SANDSTEINE	95
10.	ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN	97
	Verwendete bzw. berücksichtigte Normen	102
	Verzeichnis der wichtigsten Symbole	103
11.	ANHANG (ADD. 11-14)	

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Sandsteine des niedersächsischen "Wealden" (tiefe Unterkreide) auf ihre petrographische Zusammensetzung und ihre technologischen Eigenschaften untersucht und miteinander verglichen. Die Gesteinsproben entstammen den sog. "Werksteinbänken" (Hauptsandstein) aus Teilgebieten im mittleren Niedersachsen, und zwar: den Bückebergen, den Rehburger Bergen, dem Süntel, dem Osterwald, dem Nesselberg (a + b) sowie dem Deister (a + b). Weitere Proben wurden zu Vergleichszwecken aus der Fassade des Hauptgebäudes der Universität Hannover entnommen.

Die technologischen Untersuchungen umfaßten die Bestimmung allgemeiner physikalischer Parameter wie: Roh- und Reindichte, Gesamtporosität, Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck sowie bei einem Druck von 150 bar und die Bestimmung des Sättigungswertes. Die mechanische Festigkeit wurde mit Hilfe von Druck- und Spaltzugfestigkeitsversuchen ermittelt. Mögliche Einflüsse der physikalischen Verwitterung auf die verschiedenen Gesteinstypen wurden durch Frost-Tau-Wechsel- und Kristallisationsversuche simuliert.

Die Bestimmung der petrographischen Zusammensetzung erfolgte makroskopisch im Aufschluß und an Handstücken, mikroskopisch an Dünnschliffen. Die Dünnschliffuntersuchungen lieferten Daten zum quantitativen Mineralbestand und zur Korngrößenverteilung sowie Angaben zum Gefüge der Sandsteine.

Aus dem Vergleich zwischen Druck- bzw. Spaltzugfestigkeitswerten und lithologischer Ausbildung lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Die Druck- und Spaltzugfestigkeit der untersuchten Wealden-Sandsteine hängt wesentlich ab vom Festigkeitsverhalten der am Gesteinsaufbau beteiligten Minerale. Sandsteine, die einen größeren Anteil an Quarz aufweisen, besitzen eine höhere Druckfestigkeit als Gesteine, die weniger Quarz enthalten.

Der Vergleich petrographischer mit technischen Daten zeigt dagegen, daß bei gleicher petrographischer Zusammensetzung die Festigkeit der Wealden-Sandsteine vor allem vom Gesteinsgefüge bestimmt wird: Intensive Kornverzahnungen, verursacht durch weitergewachsene Quarzkörner und unmittelbare Kornkontakte bewirken höhere Bindungskräfte zwischen den Mineralkomponenten.

Die intensiven Kornverzahnungen erklären auch die günstigen Eigenschaften bei der Druck- und Spaltzugfestigkeit sowie die guten Ergebnisse bei den Frost-Tau-Wechsel- und Kristallisationsversuchen. Weiter werden bei zunehmender Kornverzahnung die physikalischen Parameter (z. B. Reindichte, Wasseraufnahme, Gesamtporosität und Sättigungswert) positiv beeinflusst. Mittlere Kornbindung undmäßig verzahnte Körner führen dagegen zu schlechteren Festigkeitseigenschaften und damit zu ungünstigeren Werten bei den physikalischen Parametern.

Druck- und Spaltzugverhalten der Wealden-Sandsteine wird durch deren Korngröße nur andeutungsweise beeinflusst. Sandsteine mit geringeren Korngrößen zeigen gegenüber gröberkörnigen bei sonst gleicher Mineralzusammensetzung und identischer Anordnung der Komponenten oft geringfügig höhere Festigkeitswerte.

Die petrographischen Eigenschaften (Gehalt an Mineralen höherer Festigkeit, Art des Bindemittels, Verwitterungsgrad der einzelnen Minerale, Gefüge und räumliche Anordnung - z.B. Verzahnung und Verfilzung der Minerale, Korngröße) gestatten somit gewisse Rückschlüsse auf die Verwendbarkeit der "Wealden"-Sandsteine als Werkstein. Innerhalb der Werksteinbänke lassen sich verschiedene Sandsteintypen unterscheiden, die unterschiedliche technologische Eigenschaften aufweisen.

Die ermittelten Werte der Druck- und Spaltzugfestigkeit sowie die Ergebnisse der Frost-Tau-Wechsel- und Kristallisationsversuche sind in auffälliger Weise mit den physikalischen Parametern korrelierbar.

Gesteine mit hoher Roh- und Reindichte und niedrigen Werten der Gesamtporosität, Wasseraufnahme und des Sättigungsgrades liefern bessere Werte bei den Frost-Tau-Wechsel- und Kristallisationsversuchen als Gesteine mit niedriger Roh- und Reindichte sowie hohen Werten der Gesamtporosität, Wasseraufnahme und dem Sättigungsgrad. Erstgenannte weisen außerdem gute Druck- und Spaltzugfestigkeit auf.

Für die Frage nach der Verwendbarkeit bestimmter Wealden-Sandsteine für technische Zwecke könnten diese Befunde von großer Bedeutung sein. Die angeführten, einfach zu ermittelnden physikalischen Parameter, (Bestimmung von Rohdichte, Gesamtporosität, Wasseraufnahme, Sättigungsgrad usw.) bieten sich als geeignete Hilfsgrößen bei der Bewertung von mechanischen Eigenschaften der untersuchten Gesteine an. Sie sind gegenüber der Festigkeitsversuchen billiger und einfacher ermittelbar und sollten somit in Kombination mit gesteinsmikroskopischen Untersuchungen angewendet werden, wenn es um die Beurteilung der Verwendbarkeit von Wealden-Sandsteinen geht.

Gemessen an den in der DIN 52100 festgelegten Grenzwerten für Sandsteine erfüllen die untersuchten Wealden-Sandsteine, mit Ausnahme des Gesteinstyps 5, die Eignungsbedingungen für bautechnische Zwecke.

O. VORWORT

Die vorliegende Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. D. HENNINGSEN, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover, angeregt und vergeben. Für sein reges Interesse am Fortgang der Arbeit und wertvolle Hinweise gilt ihm mein besonderer Dank.

Herrn Prof. Dr. H. LÜCKE, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau der Universität Hannover, möchte ich meinen Dank für die Unterstützung in materialprüftechnischen Fragen aussprechen.

Die amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen an der Universität Hannover stellte mir freundlicherweise ihre Laboreinrichtungen für die Durchführung eines Teils der technologischen Untersuchungen zur Verfügung.

Ferner danke ich den Angestellten des Instituts sowie allen meinen Kommilitonen, die in täglichem Umgang mit Diskussionen und Anregungen viel zum Fortgang der Arbeit beigetragen haben.

1. EINLEITUNG

Der Abbau von Werksteinen ist seit Jahrhunderten im mitteleuropäischen Raum ein wichtiger Wirtschaftszweig. Werksteine wurden und werden zur Errichtung von Gebäuden als Plattenbeläge, Pflaster und für andere Zwecke verwendet. Mit zunehmender Industrialisierung und Spezifizierung der Wirtschaft wurde es immer wichtiger, die Eigenschaften der verwendeten Materiale genau zu kennen, um sie bestmöglich einsetzen zu können. Hinzu kommt, daß durch wachsende Luftverschmutzung immer größere Anforderungen an die Materialauswahl und die Ausbaweise der Gebäude gestellt werden.

Die Auswahl der richtigen Gesteinsarten ist aber äußerst schwierig, wenn man bedenkt, welche wechsellöser Beanspruchung Gebäudefassaden z.B. durch Frost und Regen ausgesetzt sind. Es ist daher selbstverständlich, daß eine richtige Beurteilung der Eignung eines Naturgesteins für verschiedene Bauten nur einem gesteinskundlich vorgebildeten Ingenieur möglich ist.

Für die Beurteilung von Gesteinen für technische Zwecke spielen neben den mechanisch-technologischen Prüfungen auch petrographische Untersuchungen eine große Rolle. Sie geben Auskunft über die Frische der Mineralien, sowie ihre Mengenverhältnisse, Korngröße und den Kornverband. So sind z.B. die mineralogischen und strukturellen Veränderungen infolge chemisch-physikalischer Zersetzung der Mineralien nur durch Dünnschliffuntersuchungen festzustellen.

Um die Vervollkommnung der Gesteinsprüfung hat sich ganz besonders HIRSCHWALD (1910, 1912, 1918, 1921) verdient gemacht, der immer wieder die Gesteinsprüfung vom geologisch-petrographischen Standpunkt aus durchgeführt sehen wollte. Seine umfangreichen Arbeiten sind auch heute noch von großer Bedeutung. Insbesondere hat HIRSCHWALD die Durchführung der technisch-petrographischen Gesteinsprüfung dadurch ergänzt, daß er u.a. den Sättigungskoeffizienten zur Beurteilung der Frost- und Wetterbeständigkeit eingeführt und weiterentwickelt hat. Darüber hinaus hat er versucht, die technischen Eigenschaften der Natursteine durch mikroskopische Untersuchungen zu bestimmen.

STÜCKE (1935) befaßte sich mit der Prüfung von Pflastersteinen, Bausteinen und Schottermaterial. Auch HOPPE (1936, 1940), FREBOLD (1943) und andere beschäftigten sich mit der Gesteinsprüfung auf technisch-petrographischer Grundlage.

In den letzten Jahren sind mehrfach Untersuchungen über die komplexen Beziehungen zwischen Gesteinsausbildung und Festigkeitsverhalten durchgeführt worden (z.B. SCHULZE (1970), REINSCH & DJAMOUS (1973), WIEDEN & KAPPEL (1973), CHITSAZIAN (1977), HENNINGSSEN (1977), HOPPE (1978), SAUER (1978), MAASS (1980)).

An einigen Beispielen konnte der Einfluß von Mineralbestand, Dichtigkeit, Korngröße, räumlicher Anordnung der gesteinsbildenden Minerale sowie des Verwitterungsgrades der Gesteine auf deren technische Verwertbarkeit qualitativ gezeigt werden. Dabei ist zu beachten, daß es nur eine Vielzahl von Einzeluntersuchungen ermöglicht, die Auswirkungen einzelner Parameter auf das technologische Verhalten der Gesteine qualitativ zu beurteilen. Diese Arbeit soll einen Beitrag dazu liefern.

Untersucht wurden Unterkreide-zeitliche Sandsteine festländischer Fazies. Diese Gesteine werden in der Literatur und in dieser Arbeit zusammenfassend als "Wealden"-Sandstein bezeichnet. Ihre Vorkommen liegen im W und SW von Hannover und gehören nach GRUPE (1933) zum Mittleren Wealden (KRÜG,) - heute Bückeburg-Formation aus der tiefen Unter-Kreide - . Die Sandsteinfolge des Haupt- oder Werksandsteins weist eine Mächtigkeit von ca. 8 - 15 m auf. Auch heute noch wird Sandstein in einigen Brüchen gewonnen. Während der Probennahme (1979) waren zwei Steinbrüche (Oberkirchener Sandstein und Rehburger-Berge-Sandstein) noch in Betrieb.

Die Verwendung der "Wealden" - Sandsteine als Werkstein hat eine lange Tradition. In zahlreichen Denkmälern und Monumentalbauten aus vergangenen Jahrhunderten bis zur Gegenwart sind sie als Werkstein verwendet worden. Eine kleine Auswahl (nach Angaben der Firma Obernkirchener Sandsteinbrüche) sei hier genannt: Siegestsäule in Berlin; Rathaus, Patrizierhäuser und Banken am Domshof in Bremen; Stadtkirche in Bückeberg; Rathaus in Emden; Postdirektion in Erlangen; Michaeliskirche, Börse, Alte Post, Hapag-Gebäude, Deutsche Bank in Hamburg; Finanzministerium und Universitäts-Hauptgebäude in Hannover; Turmhelme am Dom zu Köln; im Ausland: Friedenspalast in Den Haag; Fleischhalle in Haarlem; Alte Börse, Schlösser Rosenborg und Amalienborg in Kopenhagen.

Petrographisch untersucht wurden die "Wealden"-Sandsteine im niedersächsischen Raum unter anderem von GRUPE (1933), SICKENBERG (1951), WALDECK (1960), HEGAZI (1970) und JÜRGENS (1972).

Die Untersuchung verschiedener Typen von "Wealden"-Sandsteinen, die als Bausteine in Frage kommen, umfaßte folgende Einzelschritte:

1. Festigkeitsprüfungen (Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit)
2. Physikalische Prüfungen (Roh- und Reindichte, Porosität, Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck und einem Druck von 150 bar, Sättigungsgrad, Frostbeständigkeit, Kristallisationsverhalten)
3. Petrographische Bearbeitung

2. VORBEMERKUNGEN

2.1 Probenauswahl

Anhand topographischer und geologischer Karten wurden im Arbeitsgebiet W und SW von Hannover (Abb. 1) alle noch zugänglichen Aufschlüsse aufgesucht. Davon wurden 8 in Frage kommende Steinbrüche mit guten Möglichkeiten zur Probennahme sowie Material von der Fassade des Hauptgebäudes der Universität Hannover ausgewählt:

1. Bückeberg (Obernkirchener Sandstein)
2. Rehburger Berge

3. Süntel
4. Osterwald
5. Nesselberg a
6. Nesselberg b
7. Hauptgebäude der Universität Hannover
8. Deister a
9. Deister b

Die Lage der Probennahmepunkte ist in Abb. 1 dargestellt und in 3. beschrieben. Eine zusätzliche Probe konnte anlässlich von Restaurierungsarbeiten der Fassade des Hauptgebäudes der Universität Hannover entnommen werden. Um einen Überblick über die Gesteinsbeschaffenheit zu bekommen, wurden als Vorprobe Handstücke von den Bänken, die als Werkstein abgebaut wurden, genommen. Von diesen wurden ca. 160 Gesteinsdünnschliffe angefertigt. Aufgrund dieser Voruntersuchungen wurde über die endgültige Probenahme entschieden (vgl. 2.2).

2.2 Probennahme

Richtige Probennahme ist die wichtigste Voraussetzung für die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen technologischen und petrographischen Gesteinseigenschaften. Eine weitgehend homogene Zusammensetzung des Probengutes muß gewährleistet sein.

In den Wealden-Sandsteinen treten zwar erhebliche Unterschiede in Bezug auf die Beschaffenheit der Sandsteine auf. Dies gilt sowohl für die Korngröße (Feinsandstein bis konglomeratischer Grobsandstein) als auch für das Bindemittel (tonig und/oder silikatisch). Abgesehen von der sedimentationsbedingten unterschiedlichen Zusammensetzung der Gesteine haben Diagenese- und/oder Verwitterungseinflüsse (u.a. Silifizierung, Feldspatverwitterung, Brauneisenbildung) die Gesteinsparameter beeinflusst. Die für die Werksteingewinnung geeigneten mächtigen Sandsteinbänke weisen dagegen innerhalb eines Aufschlusses weitgehend gleichartige Ausbildung auf. Insbesondere ist das Bindemittel der jeweiligen Bank gleich. Da die Proben jeweils aus einer dieser mächtigen Sandsteinbänke entnommen worden sind, war die als Voraussetzung für eine optimale Untersuchung notwendige homoge-

ne Zusammensetzung weitgehend gewährleistet.

Um alle angestrebten Untersuchungen durchführen zu können, mußten von jedem Probenentnahmepunkt mindestens 200 kg Gestein orientiert entnommen werden.

Da viele Steinbrüche bereits seit Jahren stillliegen, war es meist nicht möglich, die Proben aus der laufenden Produktion zu gewinnen. In diesen Fällen wurde die Probe nicht von der Halde genommen, sondern aus der Wand. Mit Hammer und Meißel wurden entsprechende Probenstücke herausgebroche. Nur in zwei noch in Betrieb befindlichen Steinbrüchen stand frisch gebrochenes Probenmaterial zur Verfügung.

2.3 Probenaufbereitung

Das gewonnene Probenmaterial wurde (teils im Labor des Institutes für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover, teils in der amtlichen Materialprüfanstalt (MPA) Hannover nach DIN 52102, 52105 in 120 Quader der Größe $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ pro Probenpunkt gesägt. Nach sorgfältigem Waschen und Trocknen der Würfel konnten dann die technischen Untersuchungen durchgeführt werden. Die Proben für die Reindichteuntersuchungen wurden durch Zerkleinerung des Restmaterials oder der Probenstücke gewonnen.

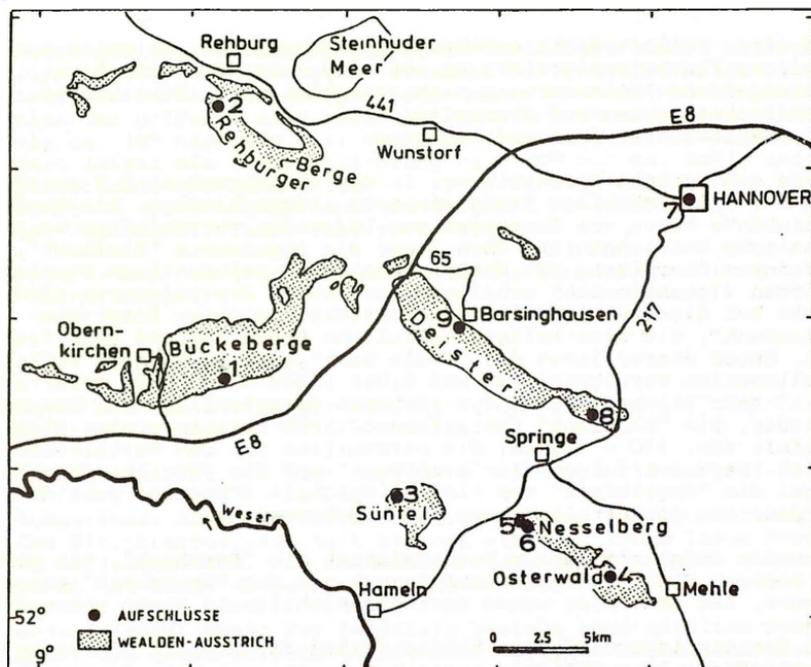


Abb. 1: Übersichtskarte der Arbeitsgebiete und der im Text genannten Aufschlüsse

3. BESCHREIBUNG DER AUFSCHLÜSSE

3.1 Steinbruch Obernkirchen

Lage: SE Obernkirchen, auf dem Bückeberger Berge, TK 25 Blatt 3721 Kathrinhagen, R³⁵13760, H⁵⁷92100

Abmessungen des Bruches: ca. 250 m WNW - ESE, ca. 100 m NNE - SSW

Abbauwände: Der Steinbruchbetrieb ist z.Zt. in einer starken Expansionsphase. Abgebaut wird in allen Bereichen des Steinbruches außer der Südseite, wo eine Halde aufgeschüttet wird. Die Höhe der Abbauwände beträgt durchschnittlich ca. 10 m.

Gesteinsbildung: Der Sandstein besteht hauptsächlich aus Quarz

und einer relativ dicht erscheinenden Grundmasse. Er weist ausgeprägte Flachrippelschichtung auf, die durch Muskovit-Anreicherungen und Pflanzenreste nachgezeichnet wird. Vereinzelte Rostflecken deuten auf Brauneisen hin. Der Sandstein ist fest und hellgrau.

Kurze geologische Beschreibung: In dem Steinbruch sind 8 massige, 1 - 1,5 m mächtige Sandsteinbänke aufgeschlossen. Die Sandsteinbänke haben vom Hangenden zum Liegenden verschiedene bergmännische Bezeichnungen. Oben liegt die sogenannte "Bleibank", auf deren Oberfläche oft Wellenrippeln und gelegentlich Saurierfährten (Iguanodonten) erhalten sind. Beide Erscheinungen sind nicht auf diese Schichtfläche beschränkt. Darunter folgt die "Blaubank", die eine hellgrau-bläuliche Farbe hat und sehr fest ist. Unter dieser liegt die "Faule Bank", die im unteren Teil stellenweise verwittert ist und daher ihren Namen hat. "Viertelbank" und "Ellebank" sind die nächsten darunterliegenden Schichtglieder. Die "Ellebank" ist aufgrund ihrer relativ großen Mächtigkeit (ca. 110 - 120 cm) die wertvollste für den Werksteinbetrieb. Darunter folgen die "Blockbank" und die "Nagelkopfbank", wobei die "Nagelköpfe" von kleinen Muscheln (Cyrenen) gebildet werden, die gehäuft in dieser Bank vorkommen.

Darunter folgt als letzte Werksteinbank die "Rummbank", sie wird in anderen Steinbrüchen manchmal noch von der "Grundbank" unterlagert, ist aber hier wegen geringer Mächtigkeit nicht abbauwürdig.

Das Gestein lagert s \ddot{u} hlig. Klüfte fallen fast saiger (Streichrichtung ca. 20 - 30 $^{\circ}$) ein.

Oberhalb dieser Sandsteinbänke folgt eine ca. 2 m mächtige Schicht, die aus dünnplattigem (cm - dm mächtigen) Sandstein besteht. Das beim Abbau anfallende Gestein dieser Serie wird nicht verwertet, sondern auf Halde gekippt.

Proben: Im W- und E-Teil des Steinbruches wurden Proben aus verschiedenen Werksteinbänken entnommen (Gesteinstyp 1).

3.2 Steinbruch Rehburger Berge

Lage: E M \ddot{u} nchehagen, TK 25 Blatt 3521 Rehburg, H⁵⁸12230, R³⁵13500

Abmessungen des Bruches: ca. 170 m NE - SW, ca. 80 m NW - SE

Abbauwände: Abgebaut wurde nur im \ddot{o} stlichen Teil der Grube, im westlichen wurde Ton gewonnen. Die F \ddot{o} rderung wurde vor ca. zwei Jahren eingestellt. Zur Zeit ist nur eine ca. 50 m lange Strosse an der SE-Seite aufgeschlossen. Die H \ddot{o} he der Wand betr \ddot{a} gt ca. 2 - 3 m. Die dar \ddot{u} ber folgenden Schichten (ca. 5 m bis zur Gel \ddot{a} ndeoberfl \ddot{a} che) sind versch \ddot{u} tet.

Gesteinsausbildung: Der Sandstein besteht haupts \ddot{a} chlich aus Quarz und dicht erscheinender Grundmasse. Sehr selten sind Helliglimmerschuppen zu beobachten. Das Gestein ist hart und dunkelgrau.

Kurze geologische Beschreibung: Im Steinbruch sind 3 massige Sandsteinbänke (Mächtigkeit zwischen 0,5 und 1 m) aufgeschlossen, die durch sehr dünnplattige (mm - cm) tonige Schichten voneinander getrennt sind. Die liegenden Schichten fallen flach mit ca. 10° nach WSW ein. Der überwiegende Teil der Klüfte fällt fast saiger ein (Streichrichtung ca. 140° und ca. 60°), andere Kluftrichtungen sind selten. Oberhalb dieser Sandsteinbänke folgende Schichten (ca. 5 m bis zur Geländeoberfläche) sind verschüttet.

Proben: Aus den 3 Bänken wurde jeweils eine Probe entnommen (Gesteinstyp 2).

3.3 Steinbruch Süntel

Lage: SSE vom Süntelturm am Südhang der Hohen Egge, TK 25 Blatt 3822 Hameln, R³⁵26180, H⁵⁷82230

Abmessungen des Bruches: ca. 150 m W - E, ca. 50 m N - S

Abbauwände: Abgebaut wurde vor allem an der West- und Ostseite des Steinbruches. Zur Zeit ist nur eine ca. 150 m lange Strosse aufgeschlossen. Die Wandhöhe beträgt ca. 10 m. Der Abbau ist schon vor längerer Zeit eingestellt worden.

Gesteinsausbildung: Der Sandstein besteht hauptsächlich aus Quarz und einer dichten Grundmasse. Gelegentlich lassen sich kleine Rostflecken, die auf Brauneisen hindeuten und Kohlereste beobachten. Das Gestein ist hart und hat eine hellbraune Farbe.

Kurze geologische Beschreibung: In dem Steinbruch ist eine ca. 7 m mächtige, massige Sandsteinbank aufgeschlossen.

Die Lagerung ist ⁺ horizontal. Klüfte durchziehen die Bank und fallen fast saiger ein, weniger steil einfallende Klüfte kommen selten vor.

Oberhalb dieser massigen Bank bis zur Oberkante des Steinbruches folgt dünnplattiger (10 - 50 cm), verwitterter Sandstein.

Proben: Im W wurde eine Probe aus dem unteren Teil der Werksteinbank entnommen (Gesteinstyp 3).

3.4 Steinbruch Osterwald

Lage: Südlich der Sennhütte im Osterwald, TK 25 Blatt 2823 Eldagsen, R³⁵42750, H⁵⁷77240

Abmessung des Bruches: ca. 250 m W - E, ca. 100 m N - S

Abbauwände: Abgebaut wurden vor allem die Nord- und Westseite des Bruches. Diese Wände sind auch jetzt noch gut aufgeschlossen. Der Rest ist verschüttet. Im NE des Bruches hat sich ein

See gebildet. Der untere Teil der Wand (ca. 3 - 9 m) ist dadurch unzugänglich. Im NW beträgt die Höhe der Wand ca. 12 m, im NE und E ca. 8 m (oberhalb der Wasseroberfläche). Der Abbau ist schon vor längerer Zeit eingestellt worden.

Gesteinsausbildung: Der Sandstein besteht hauptsächlich aus Quarz und einem silikatischen Bindemittel. Rostflecken und Kohlereste sind selten zu beobachten. Das Gestein ist sehr fest und hat eine beige-graue, braunfleckige Farbe.

Kurze geologische Beschreibung: Im Steinbruch ist eine mächtige, massige Sandsteinbank aufgeschlossen. Die Lagerung ist horizontal. Klüfte stehen zum größten Teil sehr steil (Streichrichtung $60 - 70^\circ$ und $110 - 140^\circ$). Horizontale oder andere Klüfte treten selten auf.

Generell ist der Sandstein gleichkörnig. Nur im Westen sind cm-dm mächtige Konglomeratlinsen mit vereinzelt bis ca. 10 mm großen Geröllen eingeschaltet.

Die diese Bank überlagernden Schichten sind verschüttet. Die Gesteine zeigen oberflächennah eine dunkelgraue Färbung.

Proben: Im W. wurde aus dem unteren Teil der Werksteinbank eine Probe entnommen (Gesteinstyp 4).

3.5 Steinbruch Nesselberg

Lage: SE Altenhagen I, TK 25 Blatt 3823 Eldagsen, R³⁵35550, H⁵⁷80850

Abmessungen des Bruches: ca. 300 m W - E, ca. 120 m N - S

Abbauwände: Abgebaut wurde vor allem die Nord- und Westseite des Steinbruches. Z.Zt. ist nur noch eine ca. 50 m lange Strosse auf der Nordseite aufgeschlossen. Die Wandhöhe beträgt ca. 20 m.

Die Förderung wurde Ende der 60er Jahre eingestellt.

Gesteinsausbildung: Der Nesselberg-Sandstein ist in zwei Gruppen zu unterteilen. Die erste Gruppe besteht überwiegend aus Quarz. Vereinzelt treten Brauneisen und Kohlereste auf. Die Grundmasse ist hier relativ locker. Das Gestein ist mürbe und hellgrau bis weiß.

Die zweite Gruppe besteht ebenfalls hauptsächlich aus Quarz und hat eine relativ dicht erscheinende Grundmasse. Kleine Rostflecken deuten auf Brauneisen hin. Das Gestein ist relativ fest und weist eine graue bis bräunliche Farbe auf.

Kurze geologische Beschreibung: Im Sandsteinbruch ist eine ca. 12 m mächtige, massige Sandsteinbank aufgeschlossen, die \pm horizontal lagert. Klüfte durchziehen die Bank im m- bis dm-Bereich. Der überwiegende Teil der Klüfte fällt fast saiger (Hauptstreichrichtungen: $30 - 40^\circ$ und $110 - 120^\circ$) ein, nur wenige verlaufen fast s \ddot{o} hlig. Andere Kluftrichtungen kommen nur

sehr selten vor. Über dieser massigen Bank bis zur Oberkante des Steinbruches liegen mehrere bis zu 1,5 m mächtige Bänke, die von Klüften im dm- bis m-Bereich durchsetzt sind. Das Kluffeinfallen entspricht dem der massigen Bank. Das Gestein weist oberflächlich eine dunkelgraue Farbe auf.

Proben: 2 Proben wurden mit den Bezeichnungen Gesteinstyp 5 und Gesteinstyp 6 entnommen.

Je eine Probe wurde im W (Gesteinstyp 5) und im E (Gesteinstyp 6) aus dem unteren Teil der Werksteinbank entnommen.

3.6 Steinbruch Deister a

Lage: W Wennigser Mark, TK 25 Blatt 3723 Springe, R⁵²35240, H⁵⁷93450

Abmessungen des Bruches: ca. 250 m N - S, ca. 75 m W - E

Abbauwände: Abgebaut wurde vor allem die Nord- und Südseite des Steinbruches. Die Wandhöhe beträgt ca. 9 m. Die Wände sind stark durchfeuchtet und weisen eine braune bis dunkelbraune Oberfläche auf. Der Abbau ist schon vor längerer Zeit eingestellt worden.

Gesteinsausbildung: Der Sandstein besteht aus Quarz und einer dicht erscheinenden Grundmasse. Oft sind Rostflecken und schwarze Punkte (Glimmer oder Eisenverbindungen) zu erkennen. Das Gestein ist fest und hellbraun.

Kurze geologische Beschreibung: Die Wand besteht hauptsächlich aus einer ca. 7 m mächtigen, massigen Sandsteinbank. Die liegenden Schichten fallen mit ca. 10° nach SW ein. Die Klüfte stehen hauptsächlich saiger. Horizontale Klüfte treten selten auf. Die Sandsteinbank wird von dünnplattigem Sandstein überlagert.

Proben: Im E Wurde aus dem unteren Teil der Werksteinbank 1 Probe entnommen (Gesteinstyp 8).

3.7 Steinbruch Deister b

Lage: S Barsinghausen, TK 25 Blatt 3722 Lauenau, R³⁵31550, H⁵⁷95820

Abmessung des Bruches: ca. 100 m N - S, ca. 5 m W - E

Abbauwände: Da der Steinbruch zur Freilicht-Bühne umgebaut wurde, konnten nur wenige Handstücke aus einer bis zu 2 m mächtigen Werksteinbank am Eingang der Freilicht-Bühne entnommen werden.

Gesteinsausbildung: Der Sandstein besteht hauptsächlich aus

Quarz und einer dichten Grundmasse. Das Gestein ist sehr hart an der angewitterten Oberfläche braun, im frischen Bruche hellbraun.

Kurze geologische Beschreibung: Im Steinbruch ist eine ca. 2 m mächtige Sandsteinbank aufgeschlossen. Sie fällt mit ca. 10° nach SW ein. Die wenigen vorhandenen Klüfte stehen saiger. Über dieser Sandsteinbank vorkommende Schichten sind verschüttet.

Proben: Eine Probe wurde im E aus dem oberen Teil der Werksteinbank entnommen (Gesteinstyp 9).

4. PETROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN

4.1 Arbeitsmethoden

Die makroskopische Gesteinsbeschreibung basiert hauptsächlich auf Beobachtungen im Aufschluß und an den entnommenen Handstücken.

Zur mikroskopisch-petrographischen Untersuchung der Wealden-Sandsteine wurden rund 360 Gesteinsdünnschliffe durchgesehen. Ungefähr 200 davon wurden freundlicherweise von Herrn U. Jürgens (Hannover) zur Verfügung gestellt.

Die quantitative Bestimmung des Mineral- und Komponentenbestandes erfolgte mit dem Punktzählverfahren nach GLAGOLEV und CHAYES, beschrieben bei MÜLLER (1964):

Über den Dünnschliff wurden vier Meßgeraden mit Abständen von jeweils 4,5 mm gelegt, um möglichst die gesamte Fläche der Dünnschliffe zu erfassen. Der Abstand zwischen den einzelnen Zählpunkten betrug 0,33 mm. Zwecks hinreichend genauer Bestimmung des Mineralbestandes wurden pro Dünnschliff 500, bei verhältnismäßig grobkörnigen Sandsteinen 800 Punkte gezählt.

Die Charakterisierung des Gefüges der einzelnen Sandsteintypen erfolgte (1) beschreibend, (2) durch schematische Skizzen und (3) durch Ermittlung der Korngrößenverteilung.

Pro Gesteinsprobe wurde an jeweils 2 bis 4 repräsentativen Dünnschliffen die Kornverteilung durch Messung des größten scheinbaren Korndurchmessers nach FRIEDMAN (1958) bestimmt. Dazu wurden pro Schliff 300 Körner auf Meßgeraden mit 4 mm Abstand bei einer Schrittweite von 0,33 ausgemessen und in Anlehnung an DIN 4022 aufgestellten Korngrößenbereichen zugeteilt. Wenngleich dieses Verfahren keine mit einer Siebung vergleichbare Korngrößenklassen liefert, lassen sich doch für die untersuchten Sandsteine einer Gesteinsgruppe Rückschlüsse auf relative Korngrößenänderungen ableiten. Aus den graphisch gemittelten Summenlinien wurde der Medianwert (Md) abgelesen.

Die numerischen Angaben weiterer Kennwerte wurden direkt den Kornsummenkurven entnommen:

Der bekannteste Parameter ist der Halbgewichtsdurchmesser-Md (median diameter). Er kennzeichnet den Korndurchmesser bei 50 Gewichts-% der Summenkurve, d.h. von diesem Zentralwert aus besteht sowohl zur Seite der größeren wie auch zu der der kleineren Körner hin Gewichtsgleichheit. Die Viertelgewichtsdurchmesser (Quartil-Werte), Q_1 und Q_3 stellen die Punkte in der Summenkurve dar, bei denen 25 bzw. 75 Gew.-% einen größeren und 75 bzw. 25 Gew.-% einen kleineren Durchmesser haben.

Je näher Q_3 und Q_1 zusammenrücken, desto enger ist der Bereich, auf den die wesentliche Kornverteilung konzentriert ist, d.h. umso besser ist das Korngemisch sortiert. Entsprechend wird die Sortierung schlechter, je weiter sich die beiden Viertelgewichtsdurchmesser voneinander entfernen. Zahlenmäßig wird der Sortierungskoeffizient (SO) üblicherweise nach TRASK (1932) berechnet.

$$SO = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

Verschiedene Vorschläge zur Benennung des Sortierungsgrades liegen vor. Nach TRASK (1932, aus PETTIJOHN 1956 : 37) bezeichnet ein Koeffizient kleiner 2,5 eine gute Sortierung, Werte um 3,0 gelten als normal, Werte größer als 4,5 als schlecht. Diese Werte hält PETTIJOHN (1956 : 37) für zu hoch. HOUGH (1940) und STETSON (aus PETTIJOHN, 1956 : 37) geben für "die meisten küstennahen Sedimente" Werte zwischen 1 und 2, im Mittel 1,45 an. Voneinander abweichende Benennungen haben FOLK (1954) und SCHNEIDERHÖHN (1953 : 196). So ist eine Probe mit 1,3 nach FOLK mäßig, nach SCHNEIDERHÖHN aber ausgezeichnet sortiert. FOLK verwendet 5, SCHNEIDERHÖHN 8 Sortierungsstufen. Zwischen diesen beiden Autoren wählt FÜCHTBAUER (1959 : 606) bei der Bezeichnung des Sortierungsgrades den Mittelweg.

Die Schiefe (Skewness nach TRASK 1932)

$$SK = \frac{Q_3 - Q_1}{(Md)^2}$$

ist ein Maß für die Symmetrie der Verteilungskurve und verdeutlicht, ob feinere oder größere Körner überwiegen.

Die Bestimmung der Kornrundung der Komponenten wurde mit Hilfe von Vergleichstafeln nach RUSSEL-TAYLOR-PETTIJOHN (beschrieben z.B. bei KÖSTER (1964)) an 300 Körnern von 2 repräsentativen Schlifflen pro Gestein ermittelt.

4.2 Allgemeine Beschreibung des Bindemittels

Die Bindemittel der Sandsteine wurden nach HOPPE (1927) in solche "erster" und "zweiter" Art unterschieden. Unter den Bindemitteln erster Art sind Substanzen zu verstehen, die gleichzeitig mit dem klastischen Anteil sedimentiert wurden. Sie bestehen hauptsächlich aus kleinsten Quarzfragmenten und Tonpartikeln. Unter dem Mikroskop ist noch eine feinstgranulöse, z.T. auch feinstfaserige Substanz mit geringer Doppelbrechung beobachtbar, die aber nicht weiter auflösbar ist. Sie bildet dünne, selten unterbrochene Hüllen um die Quarzkörner und füllt teilweise auch die Zwickel dazwischen aus.

Die Bindemittel zweiter Art bildeten sich erst nach der Ablagerung authigen im Sediment. Zu ihnen gehören Siderit, Goethit, Quarz, Kaolinit und Illit sowie Eisenoxide und Eisenoxidhydrate.

JÜRGENS (1972) hat die Bindemittel von Wealden-Sandsteinen ebenfalls in primäre und sekundäre unterteilt: Er fand als eingeschwemmten Detritus Serizit und Kaolinit, Illit und Quarz. Als sekundäre Bindemittel ermittelte er Siderit, Goethit, Quarz, Kaolinit und Illit sowie amorphe subkristalline Eisenoxide und -oxihydrate.

4.3 Beschreibung der einzelnen Gesteinstypen

Im folgenden werden die makroskopischen und mikroskopischen Daten der einzelnen Gesteinstypen dargestellt.

4.3.1 Obernkirchener Sandstein (Typ 1)

Makroskopische Beschreibung

Der Obernkirchener Sandstein ist ein recht eintönig ausgebildeter, hellgrauer, dickbankiger, feinkörniger Sandstein. Er weist ausgeprägte Flachrippelschichtung auf, die durch Muskowitanreicherung und Pflanzenreste nachgezeichnet wird. Neben

	Typ 1		Typ 2		Typ 3		Typ 4		Typ 5		Typ 6		Typ 7		Typ 8		Typ 9	
	\bar{x}	Δ																
Bestandteile:																		
Quarz:																		
normal auslösch. Quarze	69,4	65,2-78,4	83,5	80,6-89,0	84,5	83,2-85,2	72,9	71,7-75,0	67,8	65,8-69,8	79,8	78,2-81,4	77,7	77,0-78,4	76,9	75,8-78,0	72,5	70,4-74,6
undulös auslösch. Quarze	6,6	3,7-12,5	8,8	6,2-10,9	5,7	5,0- 6,4	13,3	12,2-14,6	12,7	11,6-13,8	6,8	6,2- 7,4	7,5	6,6- 8,4	6,1	5,4- 6,8	13,0	11,4-14,6
Gesteinsfragmente:																		
Quarzit	3,5	2,0- 5,0	1,7	1,0 2,8	2,8	1,4- 4,0	8,4	5,8-10,8	11,1	10,4-11,8	2,6	2,4- 2,8	7,1	6,8- 7,4	0,6	0,4- 0,8	6,5	4,8- 8,2
Kieselschiefer	0,3	0,1- 0,6	0,3	0,0- 0,6	0,3	0,0- 0,8	0,5	0,0- 0,8	2,6	2,4- 2,8	0,9	0,6- 1,2	0,8	0,6- 1,0	0,8	0,4- 1,2	0,3	0,0- 0,6
Sandstein	2,6	1,0- 5,0	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	0,5	0,4- 0,6	0,3	0,0- 0,6	-	- -
Qz.-Fsp.-Verwachsungen	0,2	0,0- 0,5	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	0,1	0,0 -0,2	-	- -	-	- -	-	- -
Qz.-Seriz.-Verwachsungen	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	0,2	0,2- 0,2	-	- -
Glimmer	0,8	0,2- 2,0	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	0,4	0,2- 0,6	-	- -
Feldspat	0,2	0,0- 0,4	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	0,1	0,0- 0,2	0,1	0,0- 0,2	0,3	0,2- 0,4	-	- -
Alimonit	0,1	0,0- 0,3	0,2	0,0- 0,4	0,2	0,0- 0,4	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	0,5	0,4- 0,6	-	- -
Schwerminerale:																		
Turmalin	0,2	0,1- 0,4	0,1	0,0- 0,4	-	- -	0,05	0,0- 0,2	-	- -	0,3	0,2- 0,4	0,2	0,0- 0,4	-	- -	-	- -
Zirkon	0,4	0,1- 0,8	-	- -	0,3	0,0- 0,4	0,05	0,0- 0,2	0,3	0,2- 0,4	-	- -	-	- -	0,2	0,2- 0,2	-	- -
Rutil	0,3	0,1- 0,5	0,2	0,0- 0,6	-	- -	-	- -	-	- -	0,1	0,0- 0,2	-	- -	0,1	0,0- 0,2	-	- -
Opake Min.	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -	-	- -
Bindemittel: ($\leq 20 \mu$)																		
Quarz	4,8	2,1- 8,1	0,7	0,2- 1,4	2,9	2,1- 4,1	2,2	1,9- 2,8	4,6	4,2- 5,0	5,0	4,2- 5,8	2,8	2,4- 3,2	2,3	1,8- 2,8	0,4	0,2- 0,6
Tonminerale	5,0	2,0- 7,0	0,8	0,4- 1,4	0,7	0,2- 1,2	0,6	0,2- 1,0	0,8	0,4- 1,2	2,5	2,2- 2,8	1,3	1,0- 1,6	2,6	2,2- 3,0	0,2	0,0- 0,4
Brauneisen	5,4	4,0-11,0	3,6	1,0- 6,0	2,5	1,8- 3,6	1,9	1,0- 3,2	0,1	0,0- 0,2	1,3	1,0- 1,6	2,0	1,6- 2,4	8,7	8,6- 8,8	7,1	1,8-12,4

ab. 1: Quantitative Zusammensetzung der Wealden-Sandsteine
in Vol.-% Typ 1 - 9

(\bar{x} = Mittelwert, Δ = Schwankungsbreite)

Quarz und einer relativ dicht erscheinenden Grundmasse sowie der erwähnten Muskowitanreicherung lassen sich keine anderen Anteile beobachten. Vereinzelt kleine Rostflecken deuten auf Brauneisen (Limonit ?) hin. Das Gestein ist fest und sandet sehr schwach ab. Es ist silikatisch gebunden. Karbonate konnten mit HCl nicht nachgewiesen werden. Die Gesteinsoberfläche ist relativ rau, der Bruch kantig und unregelmäßig. Dieses Gestein entstammt den Bückebergen SE Obernkirchen (s. Abb. 1)

Mikroskopische Beschreibung

Die Zusammensetzung des Sandsteins ist in qualitativer Hinsicht recht eintönig. In allen Proben bilden Quarz und Gesteinsfragmente die Hauptbestandteile. Hinzu kommen noch im einzelnen unterschiedliche, insgesamt aber stets geringe Anteile von Glimmer- und Schwermineralen.

Das Gestein besteht zu durchschnittlich ca. 76 Vol.-% aus Quarzkörnern. Der Anteil der Gesteinsbruchstücke schwankt nur geringfügig um einen Mittelwert von ca. 7 Vol.-%. Glimmerminerale sind mit ca. 1 Vol.-%, Schwerminerale mit weniger als 1 Vol.-%, Feldspäte, die noch nicht umgewandelt sind, mit ca. 0,5 Vol.-% und Limonit mit weniger als rd. 0,5 Vol.-% am Gesteinsaufbau beteiligt. Den Rest mit ca. 15 % nimmt das Bindemittel ein (Tab. 1, Abb. 2).

Quarz

Die Quarzkörner sind meist klar und frei von Einschlüssen. Einige Körner enthalten Rutil, Turmalin, Zirkon und andere unbestimmbare Einschlüsse. In Buchten und Zwickeln von Quarzkörnern sind selten Reste von Sericit zu beobachten. In einigen Fällen trüben fein verteilte braune bis schwarze, fetzenförmige Partikel (Goethit ? o.ä.) das Korn gleichmäßig, besonders häufig bei groben Körnern. Selten finden sich mit Flüssigkeit oder Gas ausgefüllte Blasen in den Quarzen. Ein Teil der Quarzkörner, vor allem größere Individuen, zeigen undulöse Auslöschung. Die

Körner entstammen vermutlich einem von tektonischen Vorgängen (CONOLLY 1965) und/oder von Metamorphose stark beanspruchten Liefergestein. Unduldsität durch Belastungsdruck nach Entstehung der Sandsteine ist hier auszuschließen, da nie eine bedeutende Versenkungstiefe der Wealden-Gesteine erreicht wurde (JÜRGENS 1972). Das ergibt sich auch aus der Beobachtung, daß Drucksuturen selten auftreten.

Nach BLATT (1967) sind undulöse Quarze gegenüber mechanischer und chemischer Beanspruchung empfindlicher als normal auslöschende Quarze. Das führt dazu, daß sie in Sandsteinen wesentlich geringere Anteile einnehmen als es ihrem Vorkommen in den jeweiligen Muttergesteinen entspricht. Ein geringer Teil der Quarzkörner ist diagenetisch homoaxial weitergewachsen, was an Säumen und Höfen aus Eisenoxid oder anderen Substanzen zwischen Korn und Anwachssäumen oft gut zu erkennen ist. Das Weiterwachsen der Quarze bringt die einzelnen Körner direkt in Kontakt zueinander und führt zur "Verkieselung" der Sandsteine. Sie ist aber beim Obernkirchener-Sandstein, wie bereits erwähnt, nicht sehr groß.

Gesteinsbruchstücke

Als Gesteinsbruchstücke (ca. 7 Vol.-%) werden alle Körner angesprochen, die aus zwei oder mehr Einzelindividuen bestehen (FÜCHTBAUER 1959, 1970).

a) Monomikte Gesteinsbruchstücke: dazu gehören Quarzit und Sandstein, machen den größten Anteil der Gesteinsfragmente aus. Die Kornkontakte können glatt und gerade sein oder Suturierung verschiedener Stadien aufweisen. Bei feinkörnigen Gesteinsbruchstücken sind sie selten suturiert, sondern meist glatt und rundlich, bei groben umgekehrt ausgebildet. Manchmal liegen die Längsachsen benachbarter Individuen parallel zueinander. Zwischen den Einzelkörnern ist manchmal farbloser Glimmer (?) oder tonige Substanz vorhanden.

b) Polymikte Gesteinsbruchstücke: es kommt Quarz mit Feldspat oder Glimmer in verschiedenen Zusammenstellungen und Erhaltungszuständen vor. Er ist wahrscheinlich Plutoniten zuzuordnen. Selten tritt feiner, verkieselter, gelblich pigmentierter Tonschiefer und Kieselschiefer auf.

Modaler Mineralbestand in Vol.-%

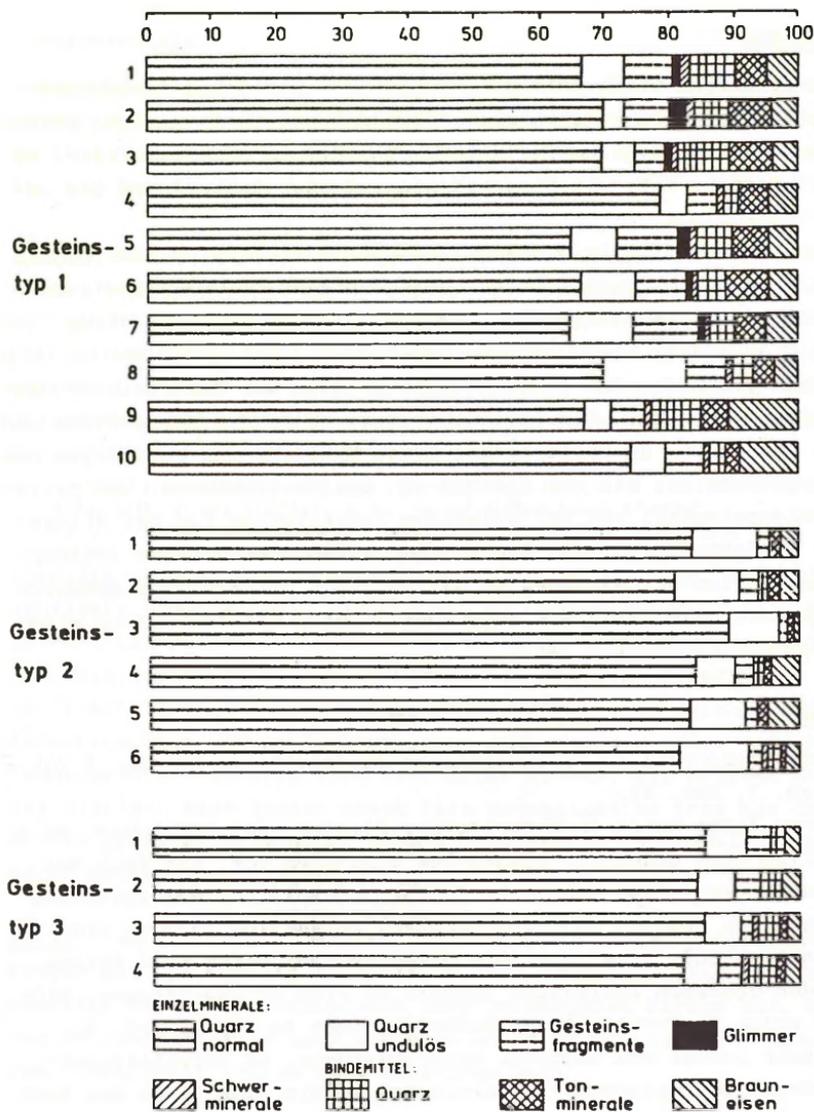


Abb. 2: Quantitative Zusammensetzung der Wealden-Sandsteine Typ 1 - 3

Feldspäte

Äußerst selten wurde Feldspat beobachtet. Wie durch Färbeversuche mit Kaliumhexakobaltnitrat III und Amaranth in einigen Stichproben nachgewiesen werden konnte, handelt es sich vorwiegend um Kalifeldspat, z.T. mit Einschlüssen und/oder Spaltrissen und wenig Plagioklas.

Nicht immer war es im Dünnschliffpräparat möglich, Kalifeldspäte, Plagioklase und Quarz klar zu unterscheiden, da Unterscheidungskriterien wie Lichtbrechung, Achsenbild u.a. teilweise nicht eindeutig anwendbar waren. Kalifeldspatkörner sind klein, fast farblos bis schwach gelblich. Oft sind Kaolinisierungs- und Sericitisierungsprozesse erkennbar. Die Umwandlung beginnt an den Korngrenzen und, wenn vorhanden, an Spaltrissen. Diese Neubildungen verdrängen die Feldspatsubstanz bis zur Bildung von Reliktstrukturen. Der geringe Feldspatanteil ist auf selektive Verwitterung vor der Ablagerung zurückzuführen: die Sande haben vermutlich mehrere Sedimentationszyklen durchlaufen, so daß Feldspat aufgrund der größeren Verwitterungsanfälligkeit gegenüber anderen Mineralen (vor allem Quarz) zurückgetreten ist.

Glimmer

Der Glimmeranteil im Obernkirchener Sandstein beträgt ca. 1 Vol.-% (Tab. 1, Abb. 2).

Glimmer liegt meist in Form kleiner Flitter oder Blättchen, gelegentlich auch größerer, länglicher Blättchen vor. Ein Teil der Glimmerkörner weist deutliche Spuren mechanischer Beanspruchung in Form von Brüchen und Verbiegungen, vermutlich infolge starker Kompaktion auf, sonst sind die Glimmerkörner weitgehend frisch. Bei den größeren Individuen handelt es sich um Hellglimmer. Biotit tritt im Verhältnis zu Muskovit nicht so häufig auf. Er war sehr schwer von Muskovit unterscheidbar, da Verwitterungsvorgänge den typischen Pleochroismus und die Eigenfarbe des Biotits verändert haben. Übergänge von Glimmer nach Chlorit konnten nicht festgestellt werden.

Schwerminerale

Schwerminerale sind im untersuchten Obernkirchner Sandstein ein akzessorischer Bestandteil. Ihr gesamter Gewichtsanteil beträgt ca. 0,9 Vol.-%. Es handelt sich hauptsächlich um Zirkon, Turmalin und Rutil.

Zirkon ist wegen seiner Resistenz gegen Verwitterung und mechanische Beanspruchung das häufigste Schwermineral im Obernkirchner Sandstein. Der gesamte Zirkonanteil beträgt dennoch nur 0,4 Vol.-%. Die Körner sind farblos, selten gelblich oder sehr hell rötlich bis rosa und haben oft Einschlüsse von z.B. Rutil oder opakem Material, Flüssigkeiten oder Gas. Folgende Formen kommen vor:

- länglich-ovale Körner mit gerundeten Enden
- sehr gut abgerundete, z.T. tropfenähnliche Körner
- säulig prismatische Kristalle, manchmal mit Zonarbau

Turmalin ist in den untersuchten Proben in der Regel das dritthäufigste Schwermineral mit 0,2 Vol.-%. Turmalin kommt in zahlreichen Farbvarietäten vor, deren relative Häufigkeit schwankt. Es dominieren braune, gefolgt von grünen Körnern. Außer durch ihre Farbvielfalt ist die Turmalingemeinschaft auch durch großen Formenreichtum gekennzeichnet. Mehr oder weniger ecken- und kantengerundete Kristalle sind zwar nicht selten, die meisten Körner erweisen sich jedoch durch ihre unregelmäßige Form als Bruchstücke größerer Kristalle. Einschlüsse wurden in Turmalinkörnern nicht beobachtet.

Rutil ist das zweithäufigste Schwermineral in den untersuchten Proben mit 0,3 Vol.-%. Er tritt in Form unterschiedlich gut gerundeter Körner mit braunroten oder gelbbraunen Farben auf. Manche Rutilkörner sind opak und dann nicht sicher zu identifizieren. Vereinzelt treten Knie-Zwillinge auf.

Apatit und Granat wurden vereinzelt beobachtet, aber wegen ihres geringen Anteils am Gestein nicht weiter untersucht.

Opake Erzminerale

Unter den undurchsichtigen bis schwach durchscheinenden Mineralkörnern und -aggregaten, die aufgrund ihrer Korngröße nicht zur Grundmasse gerechnet werden können, wurden "Limonit" und "Leukoxene" unterschieden. Limonit und nicht näher bestimmbare Eisenhydroxide überwiegen vor allem im Feinanteil der untersuchten Gesteine. Die Substanz sieht im normalen Licht schwarzbraun aus und erscheint unter gekreuzten Nicols vorwiegend opak. Opake bis schwach durchscheinende Partikel ohne kristallographische Umrisse dürften der Titanit-Ilmenit-Gruppe (Leukoxen) zuzuordnen sein.

Bindemittel

Der Obernkirchner-Sandstein weist im allgemeinen die für klastische Sedimente typische mittelbare Kornbindung (Bindemittel vorhanden) auf. Teilweise liegt jedoch eine unmittelbare Kornbindung vor, und zwar derart, daß die einzelnen Körner ohne erkennbares Bindemittel aneinandergrenzen, wobei allerdings um die Mineralkörner dünne verkittende Säume vorhanden sein können. Bei der Benennung der Bindemittel kann man zwischen Kontakt- und Porenzement unterscheiden. Kontaktzement ist auf die Berührungstellen der Körner beschränkt. Porenzement füllt die Hohlräume zwischen den Körnern. Es konnte i. a. nicht festgestellt werden, ob Porenräume, die frei von Porenzement waren, primär angelegt oder durch den Schleifvorgang entstanden sind. Bindemittel und Porenfüllmasse sind meist heterogen zusammengesetzt. Die oben erwähnten, an den Korngrenzen auftretenden dünnen Säume bestehen aus Phyllosilikaten mit mehr oder weniger großem Brauneisen- und Quarzanteil. Der Porenzement wird vorwiegend aus einem Gemenge feinsten Partikel (Quarz, Kaolin, glimmerartige Minerale, Brauneisen) gebildet.

Eine quantitative Bestimmung des Mineralbestandes der Porenräume u. d. M. ließ sich aufgrund der geringen Größe und der innigen Verflechtung nicht durchführen. Bei den Tonmineralen dürfte es

sich um umgewandelten Glimmer handeln. Es ist auch möglich, daß durch Zersetzung des Feldspats Kaolinit und Sericit entstanden sind.

Quantitativer Mineralbestand

Die Ergebnisse der Mineralzählung sind in Abb. 2 und Tab. 1 zusammengefaßt. (Tabellarisch dargestellte Einzelergebnisse s. CHITSAZIAN 1984).

Gefügeeigenschaften

Nach der Korngrößenzusammensetzung ist der Obernkirchner Sandstein als schluffiger, mittelsandführender Feinsandstein zu bezeichnen. Das Korngrößenmaximum liegt im Feinsand-Bereich zwischen 63μ und 200μ , mit Betonung der Fraktion $112 - 200 \mu$ (Abb. 5). Die größten Körner erreichen ca. 350μ Durchmesser. Der Anteil der Komponenten $\leq 20 \mu$ schwankt zwischen 7 und 16 Vol.-%. Körner kleiner als 20μ wurden nicht vermessen. Ihr Anteil wurde aus der Punktzählung übernommen.

Die Medianwerte der Obernkirchner Sandsteine liegen bei einem Mittelwert von ca. 100μ , die Sortierungsgrade bei 1,52 (s. Tab. 2). Nach FÜCHTBAUER (1959 : 607, Taf. 1) sind Sandsteine damit als "mittelmäßig" sortiert zu bezeichnen. Die Kontakte zwischen den Einzelkörnern sind mäßig fest. Sie sind hauptsächlich punktförmig, aber auch länglich und konkav/konvex ausgebildet. In Abb. 4 ist die Gefügeausbildung des Gesteinstyps 1 skizziert.

Die Schiefe (Symmetrie, skewness nach TRASK, 1932) liegt bei 0,83 (Tab. 2).

Kornrundung

Die Rundung der Komponenten wurde anhand der Vergleichstafeln von RUSSEL-TAYLOR-PETTIJOHN (MÜLLER 1964) ermittelt. Dabei werden die 5 Rundungsklassen von 1 - 5 durchnummeriert. Die in jede Rundungsklasse eingestufte Körnerzahl wird mit der betreffenden

Gestein	Typ	Median - wert	Sortierungs- wert	Schiefe	Rundungsgrad
Obernkirchen- Sandstein	1	102	1,52	0,83	3,30
Rehburger Berge- Sandstein	2	177	1,12	1,02	3,32
Süntel- Sandstein	3	289	1,26	0,96	2,91
Osterwald- Sandstein	4	280	1,15	1,05	3,70
Nesselberg-a- Sandstein	5	225	1,34	0,91	3,70
Nesselberg-b- Sandstein	6	146	1,38	0,77	3,50
Universitäts- Hauptgebäude- Sandstein	7	155	1,14	0,91	3,24
Deister-a- Sandstein	8	146	1,36	0,79	2,70
Deister-b- Sandstein	9	579	1,24	0,85	2,80

Tab. 2: Korngrößenparameter der untersuchten Wealden-Sandsteine; Typ 1 - 9

Zahl multipliziert und das Produkt durch die Zahl der insgesamt eingestufteten Körner dividiert (FÜCHTBAUER 1970). Für den Obernkirchner Sandstein ergibt sich danach eine mittlere Rundung von 3,3 ("Subangular" bis "rounded") (Tab. 2). Bei dieser Untersuchung bleiben die Körner $\leq 20 \mu$ unberücksichtigt. Genauere Meßmethoden für die Bestimmung der Kornrundung sind nicht angewandt worden, denn die ursprünglichen Kornumrisse sind durch diagenetische Um- und Neubildung verändert.

4.3.2 Rehburger-Berge-Sandsteine (Typ 2)

Makroskopische Beschreibung

Der dunkelgraue, nicht absandende Rehburger-Berge -Sandstein (Typ 2) ist im direkten Vergleich makroskopisch leicht vom hellgrauen, schwach absandenden Obernkirchner Sandstein (Typ 1, s.4.3.1) zu unterscheiden. Der Rehburger-Berge-Sandstein ist ein sehr einheitlich ausgebildeter, dunkelgrauer, relativ dickbankiger Feinsandstein. Neben Quarz und einer dicht erscheinenden Grundmasse lassen sich sehr selten feine Hellglimmerschuppen beobachten. Brauneisenflecke sind nicht zu sehen. Das Gestein ist hart, dicht und silikatisch gebunden, sein Bruch unregelmäßig und scharfkantig. Die Bruchflächen sind wie bei Typ 1 relativ rauh. Karbonate konnten durch HCl-Test ebenfalls nicht nachgewiesen werden. Der Sandstein stammt aus den Rehburger Bergen E von Münchenhagen (s. Abb. 1).

Mikroskopische Beschreibung

Die quantitative Zusammensetzung des Rehburger-Berge-Sandsteins entspricht der des Obernkirchner Sandsteins (s. 4.3.1).

Quarz

Quarz weist einen Anteil von etwa 93 Vol.-% auf (Tab.1,Abb.2). Er ist meist klar und zeigt nur sehr selten Einschlüsse in Form von perlschnurartig angeordneten, überwiegend in Scharen auftretenden, bräunlichen oder farblosen Flüssigkeits- und/oder Gasbläschen. Selten sind meist nadelförmige Minerale mit hoher

Licht- und Doppelbrechung (Turmalin, Rutil, Zirkon und vielleicht auch Apatit) zu beobachten. Anders als bei Typ 1 kommen Quarzkörner, die von sehr feiner opaker Substanz durchstäubt sind, nur in sehr geringem Maße vor. Neben diesen normalen Quarzen sind auch undulös auslöschende Quarzkörner vorhanden, deren Anteil bei rd. 9 Vol.-% liegt (Tab. 1).

Quarzneubildung tritt (in Form von autigenen Anwachssäumen) in allen Proben des Gesteinstyps 2 auf. Sie verursacht die große Gesteinsfestigkeit. In manchen Fällen, besonders bei einschlußfreien Quarzen, sind die sekundären homoachsisalen Anwachssäume im Dünnschliff nicht feststellbar. Eine eindeutige Unterscheidung gelingt aber dann, wenn Verunreinigungen um das detritische Korn festzustellen sind. Drucklösung infolge des Überlagerungsdrucks führte vereinzelt zur Verzahnung benachbarter Körner. Die Neubildungen sind im Gegensatz zu manchen klastischen Quarzkörnern, die von zahlreichen Einschlüssen durchsetzt sind, einschlußfrei.

In den untersuchten Sandsteinen lassen sich auch Korngruppen von detritischem Quarz feststellen, die durch Weiterwachsen verschweißt sind.

Gesteinsfragmente

Die Gesteinsfragmente (ca. 2 Vol.-%) im Rehburger-Berge-Sandstein bestehen hauptsächlich aus Quarzit und Kieselschiefer.

Der überwiegende Anteil der Quarzitkörner besteht aus unregelmäßig geformten Quarzindividuen, die mehr oder weniger stark verzahnt sind und ein gleich- oder wechselkörniges, polygonales Pflaster bilden. Sie löschen undulös aus. Die Korngrenzen sind oft schwer zu erkennen. Selten enthalten die Quarzitkörner schuppenartige Phyllosilikate oder opake Körner. Die Kieselschieferfragmente bestehen aus einem sehr feinkörnigen Quarz-Chalzedon-Gemenge. Sie sind i.a. rein, hell und selten durch feinverteilte kohlige oder tonige Substanz dunkel gefärbt.

Feldspäte

Detritischer Feldspat kommt in sehr geringer Menge in allen untersuchten Proben vor. Bei der mikroskopischen Beobachtung wurde nur zwischen verzwilligten Plagioklasen und unverzwilligten Kalifeldspäten unterschieden (s. auch 4.3.1).

Die Feldspatkörner sind, von Ausnahmen abgesehen, schlecht erhalten und daher nicht immer leicht anzusprechen. Auffällig ist, daß der Anteil an Kalifeldspat den an Plagioklasen in allen beobachteten Proben übersteigt. Die Feldspatkörner sind durch Anwitterung meist gelb bis gelbbraun gefärbt.

Glimmer

Glimmerminerale treten in allen Gesteinsproben nur sehr untergeordnet auf. Pro Schliff konnten nur jeweils etwa 2 meist verwitterte Körner beobachtet werden. Sie sind gespalten und an den Enden zerfranst. Auf Spaltrissen ist häufig Chlorit zu sehen.

Schwerminerale

Der Gehalt an Schwermineralen ist in allen Proben niedriger als bei Typ 1, er beträgt im Schnitt ca. 0,3 Vol.-%.

Die durchsichtigen Minerale setzen sich vorwiegend aus Turmalin, Zirkon und Rutil zusammen.

Turmalin tritt in kantengerundeter bis gerundeter Form auf. Die am häufigsten auftretende Farbe ist gelbbraun. Dazu kommen noch graugrünliche Farben, während farblose Kristalle selten angetroffen werden.

Rutil kommt im wesentlichen in kräftig rotbraunen Farben vor. Bedeutend seltener sind Individuen mit gelblichen, gelbbraunen und braungrünen Farbtönen. Nahezu kugelig abgerundete Körner sind häufig.

Die Zirkonkörner sind klar durchsichtig und farblos. Neben gut gerundeten Körnern mit elliptischer Gestalt treten langprisma-

tische Kristalle auf. Letztere sind häufig zerbrochen, teilweise zeigen die Pyramidenflächen Abrundung. Vereinzelt sind in den Zirkonen Einschlüsse zu beobachten. Einige Zirkonkristalle weisen Zonarbau auf.

Opake Erzminerale

Ein großer Teil der opaken Komponenten besteht aus nicht reflektierenden, gelegentlich rötlichbraun durchscheinenden Limonitpartikeln.

Alle opaken, subangularen bis gerundeten Körner, die im Auflicht milchweiß reflektieren, wurden als Leukoxene angesprochen. Erzminerale wurden nicht weiter untersucht.

Bindemittel

Unterschiede zwischen dem Obernkirchner und dem Rehburger-Berge-Sandstein hinsichtlich der Bindemittelanteile sind im wesentlichen quantitativer Natur. Während der Obernkirchner Sandstein zumeist ca. 14 Vol.-% Bindemittel aufweist, enthält der Rehburger-Berge-Sandstein rd. 5 Vol.-% (Tab. 1, Abb. 2).

Der Grund für den geringen Bindemittelanteil dieser Probe liegt bei engeren Kornkontakten, die zum überwiegenden Teil durch homoaxiale Quarzüberwachsung zustandekommen.

Quantitativer Mineralbestand

Die Ergebnisse der Mineralzählungen sind in Abb. 2 und Tab. 1 zusammengefaßt (Tabellarisch dargestellte Einzelergebnisse s. CHITSAZIAN 1984).

Gefügeeigenschaften

Der Rehburger-Berge-Sandstein ist ein schluffführender, mittel-sandiger Feinsandstein mit deutlichem Korngrößenmaximum von 50 - 60 μ in der Fraktion 112 - 200 μ und einem Mittelsandanteil von 25 - 30 %. Die größten Körner erreichen bis zu 630 μ Durchmesser. Der Anteil der Komponenten \leq 20 μ liegt zwischen 4 und 6 Vol.-%. Die Korngrößenverteilung nach FRIEDMAN (1958) anhand von Summenlinien ist in Abb. 5 dargestellt.

Der Medianwert liegt bei 177μ , der Sortierungsgrad bei 1,12 (s. Tab. 2). Nach FÜCHTBAUER (1959) ist dieser Sandsteintyp "sehr gut" sortiert. Die Schiefe (Symmetrie, skewness nach TRASK, 1932) liegt bei 1,02. Das Gestein ist insgesamt größer als Typ 1. Die gesteinsaufbauenden Komponenten bilden ein kompaktes, ungeschichtetes, richtungsloses Gefüge. Die Körner sind weitgehend flächenhaft, z.T. auch punktförmig verzahnt und seltener schwach suturiert. In Abb. 4 ist das Gefüge des Gesteinstyps 2 skizziert.

Kornrundung

Die Komponenten dieses Gesteinstyps sind nach der Vergleichstafel von RUSSELL-Taylor und PETTIJOHN (MÜLLER 1964) zu 54 Stück-% schwach gerundet (subrounded), zu 38 Stück-% gerundet (rounded) und zu 8 Stück-% kantengerundet. Nach den Parametern von FÜCHTBAUER (1977) ergibt sich für den Rehburger-Berge-Sandstein eine mittlere Rundung von 3,32 (Tab. 2).

4.3.3 Süntel-Sandstein (Typ 3)

Makroskopische Beschreibung

Der Süntel-Sandstein ist ein sehr einheitlich ausgebildeter hellbrauner, braunfleckiger, durch Pigmentierung mit Eisenoxidverbindungen (Hämatit, Limonit?) rostfarbiger, massiger und ungeschichteter Mittelsandstein. Er unterscheidet sich von den zwei vorher beschriebenen hell- bzw. dunkelgrauen Typen (1, 2) durch hellbraune Farbe und größeres Korn. Außer Quarzkörnern und silikatischem Bindemittel lassen sich gelegentlich kleine Rostflecken, die auf Brauneisen (Limonit?) hindeuten und Kohlereste beobachten. Glimmerschuppen wurden nicht festgestellt. Das Gestein ist im Gegensatz zu Typ 1 - aber ähnlich wie Typ 2 - sehr fest und sandet nicht ab. Es besitzt rauhe Oberfläche und unregelmäßigen scharfkantigen Bruch. Ca-Karbonat wurde nicht nachgewiesen (HCl-Test). Das Material stammt aus einem SSE des Süntelturms am Südhang der Hohen Egge gelegenen Steinbruch (s. Abb. 1).

Mikroskopische Beschreibung

Der Mineralbestand ähnelt den schon beschriebenen Sandsteintypen 1 und 2 (s. 4.3.1 und 4.3.2).

Mikroskopisch lassen sich beim Süntel-Sandstein nach Mineralbestand und Korngröße zwei Gruppen unterscheiden. Die eine enthält geringfügig mehr Glimmer und Schwerminerale. Die andere ähnelt den Proben des Rehburger-Berge-Sandsteins mit dem Unterschied, daß das Gestein vom Typ 3 grobkörniger ist. Wegen der geringen Unterschiede voneinander werden die beiden Gruppen zusammen beschrieben.

Quarz

Quarz in unterschiedlicher Ausbildung ist mit 91 Vol.-% (s.Tab.1, Abb. 2) das am häufigsten auftretende detritische Einzelmineral. Grundsätzlich lassen sich aufgrund der Auslöschung zwei Arten unterscheiden:

Nichtundulöser Quarz, ohne sichtbare Anzeichen mechanischer Beanspruchung, tritt mit 85 Vol.-% auf. Es handelt sich um Kristalleinheiten, die vollständige Auslöschung bei Drehung des Mikroskopisches zeigen. Die Kristalle sind z.T. klar und/oder in unterschiedlichster Weise und Intensität von opaken Substanzen bestäubt. Sie führen Einschlüsse von feinen Muskovitschuppen, Turmalin und Zirkon. Gas- und/oder Flüssigkeitseinschlüsse sind z.T. völlig regellos oder in Form sich kreuzender oder parallel verlaufender Schnüre angeordnet.

Undulöser Quarz mit sichtbaren Anzeichen mechanischer Beanspruchung, die sich als undulöse, schattenhaft über das Korn "wandernde" Auslöschung zu erkennen gibt, tritt in diesem Gestein mit ca. 6 Vol.-% auf (Tab. 1, Abb. 2). Er enthält im Vergleich zu nichtundulösen Quarzen mehr Einschlüsse, deswegen sehen viele derartige Körner trübe aus.

Quarzneubildung ist in allen untersuchten Proben nachweisbar. Der Quarz ist in gleicher optischer Orientierung weitergewachsen. Ein eindeutiger Nachweis der Neubildung gelingt nur, wenn sich klastischer Kern und Neubildung unterscheiden. Ein unsicheres Kriterium ist die Auslöschung. Prinzipiell haben Neubildung und Kern genau parallele Auslöschungsrichtungen. Jedoch ist der Kern manchmal leicht undulös, wodurch bei breitem Neubildungsraum ei-

ne Unterscheidung möglich ist. Eindeutiger ist die Unterscheidung nach Verunreinigungen. Die klastischen Quarze sind häufig durchsetzt von zahlreichen feinsten Einschlüssen - Verunreinigungen oder Flüssigkeitsbläschen - während die Neubildungssäume vollständig einschlußfrei sind.

Noch besser ist jedoch die Unterscheidungsmöglichkeit, wenn - wie häufig beobachtet - die klastischen Korngrenzen markiert sind. Diese Markierung kann erfolgen durch dünne Staubkrusten, durch feine Eisenmineralkrusten sowie durch farblose oder limonitische, dünne, tonige Bindemittelkrusten. Es handelt sich in den wenigsten Fällen um durchgehende, häufiger um unterbrochene Krusten. Vermutlich ist beim orientierten Weiterwachsen des klastischen Kornes die Kruste durchbrochen worden und hat das Krustenmaterial lokal verdrängt, so daß ein direkter Kontakt zwischen Kern und Saum besteht.

Die punktartige Auflösung des Primärbindemittels ist wohl weniger auf Resorption durch Quarz zurückzuführen. Vielmehr handelt es sich wahrscheinlich um die Weiterentwicklung eines von HEALD (1956 a) beobachteten Vorgangs. Wie bereits SCRUTON (1950) fand er, daß an Stellen mit relativ starken, tonigen Krusten keine Quarzanlagerung stattfindet, sondern hier mit toniger Substanz ausgefüllte Vertiefungen im neuen Kornumriß zurückbleiben (CAROZZI, 1960). Vermutlich können diese Vertiefungen dann bei fortschreitender Neubildung eingeschlossen werden und solche beobachteten Punktreihen erzeugen.

Quarzneubildungssäume um klastische Kerne können verschiedene Ausdehnung zeigen. Im Untersuchungsmaterial waren von feinsten, kaum merklichen Umkrustungen bis zur vollständigen Einkieselung mit quarzitischer Verlappung alle Übergänge beobachtbar. Die Bedingungen für die unterschiedliche Stärke der Einkieselung sind komplex. Neben dem verfügbaren Angebot an SiO_2 spielen die Stärke der tonigen Krusten (HEALD 1956 a), der verfügbare Porenraum und die Art der Ausfüllung des Porenraumes eine Rolle.

Besteht beispielsweise das primäre Bindemittel aus tonig-ferritischer Matrix, findet, wie HOPPE (1926) zeigen konnte, keine Einkieselung statt. Dagegen sind chemische Bindemittel anscheinend kein dauerndes Hindernis für Quarzneubildung (LANGBEIN 1970).

Gesteinsbruchstücke

Am häufigsten treten Quarzitkörner (ca. 3 Vol.-%) verschiedener Korngröße auf. Grobkörnige Bereiche zeigen deutliche Pflasterstruktur. In einigen Fällen wurden ausgewalzte, sehr selten gefaltete Quarzitkörner beobachtet. Einzelne Quarzitkörner werden von Sericit und Glimmerschuppen durchzogen. Bläschenförmige Einschlüsse sind sehr selten.

Vereinzelt kommen Kieselieferbruchstücke vor, die oft durch organische Substanz dunkel gefärbt sind.

Bruchstücke von Sandstein konnten in Einzelfällen beobachtet werden. Sie bestehen hauptsächlich aus unterschiedlich großen Quarzkörnern, die durch sehr feinkörnige Matrix aus Phyllosilikaten und Quarz verkittet werden.

Plutonit-Gerölle sind nur in zwei Stücken vertreten.

Feldspat

Feldspat konnte in diesem Gesteinstyp nicht beobachtet werden. Falls er vorhanden war, ist er vermutlich in Sericit oder Kaolinit umgewandelt worden. Diese Minerale wurden vereinzelt beobachtet.

Glimmer

Der Hellglimmeranteil ist, wie bei den Sandsteinen der Rehburger Berge, sehr gering. Es wurden nur zwei leicht angewitterte Körner beobachtet.

Schwerminerale

Der Gehalt an Schwermineralen ist in allen Proben sehr niedrig, er beträgt im Schnitt ca. 0,2 Vol.-%.

Als Hauptvertreter der opaken Minerale treten Limonit und Leukoxene auf.

Die durchsichtigen Minerale setzen sich vorwiegend aus Zirkon, Turmalin und Rutil zusammen.

Der dominierende Zirkon liegt kantengerundet bis gerundet in

vorwiegend kurzprismatischer Form vor, in sehr wenigen Kristallen ist deutlicher Zonarbau zu beobachten.

Turmalin tritt in allen Proben mit unterschiedlichem Pleochroismus auf: gelblich/olivgrün, gelblich/rotbraun, blaugrün/tiefbraun. Häufig sind die Körner gerundet, z.T. sind es aber auch angulare Bruchstücke und sogar kleine, fast idiomorphe Kristalle kommen vor. Fremdeinschlüsse und Gasblasen konnten nicht beobachtet werden.

Rutil kommt zwar, wie Zirkon und Turmalin, auch in allen Proben vor, tritt aber quantitativ diesen gegenüber stark zurück. Fast immer handelt es sich um gleichmäßige, große, schwach gerundete bis gerundete Kristalle. Die Körner sind fast immer kräftig rotbraun gefärbt, manchmal erscheinen sie sogar undurchsichtig.

Bindemittel

Im Süntel-Sandstein findet man zum großen Teil wie beim Typ 2 eine "unmittelbare Kornbindung", wobei die einzelnen Kristallkörner ohne erkennbare Bindemittel aneinandergrenzen. Die Festigkeit dieses Sandsteins geht im wesentlichen auf diese direkte Kornbindung zurück. Bei den Kristallkörnern mit "mittelbarer Kornbindung" werden die Körner durch Bindemittel verkittet, das aus kieseligem, kaolinitisch/phyllosilikatischem und brauneisenhaltigem Material besteht. Der Anteil des Bindemittels beträgt ca. 6 Vol.-% (Tab. 1 und Abb. 2), was ungefähr der Größenordnung des Typs 2 entspricht.

Quantitativer Mineralbestand

Die Ergebnisse der Mineralzählungen sind in Abb. 2 und Tab. 1 zusammengefaßt (tabellarisch dargestellte Einzelergebnisse s. CHITSAZIAN 1984)

Gefügeeigenschaften

Gesteinstyp 3, ein feinkörniger Mittelsandstein, stellt das größere Äquivalent zu Gesteinstyp 2 dar und zeigt mit 58 % ein deut-

liches Korngrößenmaximum in der Fraktion 200-356 μ und mit ca. 27 % in der Fraktion 356 - 630 μ . Die größten Körner dieses Gesteins sind bis 1120 μ groß. Die gesteinsaufbauenden Komponenten bilden ein kompaktes, ungeschichtetes, richtungsloses Mineralgefüge mit flächenhaften, aber auch punktförmigen Kornkontakten. Diese weisen teilweise konkave Begrenzungen auf. In Abb. 4 ist der Gefügetyp skizziert. Die Korngrößenverteilung nach FRIEDMAN (1958) ist als Summenkurve in Abb. 5 dargestellt.

Der Medianwert des Süntel-Sandsteins beträgt 289 μ , der Sortierungsgrad 1,26 (Tab. 2). Nach FÜCHTBAUER (1959) ist dieses Gestein gut sortiert. Die Schiefe liegt bei 0,96.

Kornrundung

Die Rundung der Komponenten im Süntel-Sandstein ist nach den Vergleichstabellen von RUSSEL-TAYLOR-PETTIJOHN (MÜLLER 1964) etwa zu 65 % schwach gerundet (subrounded), zu 20 % kantengerundet (subangular) und zu 12 % gerundet (rounded). Nach FÜCHTBAUER (1977) zeigt Gesteinstyp 3 einen Rundungsgrad von 2,9 (Tab. 2).

4.3.4 Osterwald-Sandstein (Typ 4)

Makroskopische Beschreibung

Der untersuchte Osterwald-Sandstein ist ein gleichmäßig ausgebildeter, beige-grauer, braunfleckiger, massiger und ungeschichteter Mittelsandstein, der sich vor allem in der Farbe von Typ 3 unterscheidet. Er führt hauptsächlich Quarz und silikatisches Bindemittel. Selten sind auch Brauneisen (an gelegentlich auftretenden Rostflecken erkenntlich) und Kohlereste zu beobachten. Ansonsten hat er dieselben Eigenschaften wie der Süntel-Sandstein. Der Steinbruch, aus dem diese Sandsteinprobe entnommen wurde, liegt S der Sennhütte im Osterwald (s. Abb. 1).

Mikroskopische Beschreibung

Auch bei diesem Gesteinstyp ist die Mineralzusammensetzung ähnlich den vorher beschriebenen Gesteinstypen. Ein Unterschied be-

steht darin, daß hier der Anteil der Gesteinsbruchstücke größer ist (s. 4.3.1 - 4.3.3). Der Schwermineralanteil ist in diesem Gesteinstyp geringer als in Gesteinstyp 3 (s. 4.3.3).

Bindemittel ist hier mit einem Durchschnitt von etwa 5 Vol.-% beteiligt. Es besteht hauptsächlich aus Quarz, Phyllosilikaten und Brauneisen.

Quarz

Die klastischen Quarzkörner setzen sich in den Proben zum überwiegenden Teil aus klaren, hellen Kristallen, der geringere Teil aus leicht getrübbten Körnern zusammen. Die Trübungen werden durch reihenförmig oder diffus verteilte Gas-, Flüssigkeits- oder Fremdmineraleinschlüsse hervorgerufen. Selten wurden Turmalin, Zirkon, Rutil (in feinsten Nadelchen) beobachtet. Häufig treten opake Minerale auf. Quarzkörner mit Karbonateinschluß sowie idiomorphe Quarze sind auch vertreten. Der mittlere Anteil aller Quarzkörner beträgt ca. 86 Vol.-% (Tab. 1, Abb. 3).

Die Mehrzahl der Quarzkörner (etwa 73 Vol.-%) zeigt bei gekreuzten Nicols normale Auslöschung (Tab. 1). Der Anteil undulöser Quarzkörner beträgt ca. 13 Vol.-% und ist damit größer als in den schon beschriebenen Sandsteinen (Tab. 1). Quarzneubildungen sind auf die gleiche Art und Weise entstanden wie in Gesteinstyp 3.

Gesteinsbruchstücke

Quarzit macht den größten Anteil an den Gesteinsbruchstücken aus. Die einzelnen Quarzkörner in ihnen sind regellos miteinander verzahnt oder sehr dicht aneinander gepackt. Bindemittel konnte nicht beobachtet werden. Die verschieden großen Quarzkörner zeigen undulöse Auslöschung. Der Anteil von Quarzitgeröllen am Gesamtgestein beträgt ca. 8 Vol.-% und ist größer als bei den schon beschriebenen Gesteinstypen 1, 2, 3 (Tab. 1, Abb. 3).

Kieselschiefer-Gerölle sind in sehr geringer Menge vertreten. Sie weisen oft eine helle Farbe auf.

Feldspat

Feldspat ist meist nur mit einigen Körnern vertreten und fehlt manchmal völlig.

Glimmer

Der untersuchte Sandstein ist sehr glimmerarm, meist 1 - 2 kleine Körner pro Dünnschliff.

Schwerminerale

Schwerminerale sind in den untersuchten Proben selten (Tab. 1). Die opaken Erzminerale bestehen hauptsächlich aus Limonit und Leukoxen.

Turmalin, Zirkon und Rutil bilden die durchsichtigen Schwerminerale. In Aussehen und Gestalt gleichen sie den Schwermineralen des Süntel-Sandsteins (s. 4.3.3), deswegen wird hier auf die Einzelbeschreibung verzichtet.

Bindemittel

Mikroskopisch erkennbare Komponenten des Bindemittels sind Quarz, Brauneisen und Phyllosilikate. Das Bindemittel dieser Proben unterscheidet sich von den vorher beschriebenen Gesteinstypen durch fehlenden Kaolinitgehalt. Die unmittelbare Kornbindung ist hier geringfügig kleiner als beim Süntel-Sandstein, aber größer als beim Obernkirchen-Sandstein, deswegen weist er bessere Spaltzugfestigkeit als dieser auf (Tab. 3). Der Bindemittelanteil beträgt bei Sandsteinen des Typs 4 etwa 4 Vol.-% (Tab. 1, Abb. 3).

Quantitativer Mineralbestand

Die Ergebnisse der Mineralzählungen sind in Abb. 3 und Tab. 1 zusammengefaßt (tabellarisch dargestellte Einzelergebnisse s. CHITSAZIAN 1984).

Gefügeeigenschaften

Die Korngrößenverteilung in diesem Gestein entspricht ungefähr der des Gesteinstyps 3. Sie umfaßt die Fraktion 20 - 1120 μ und

Modaler Mineralbestand in Vol.-%

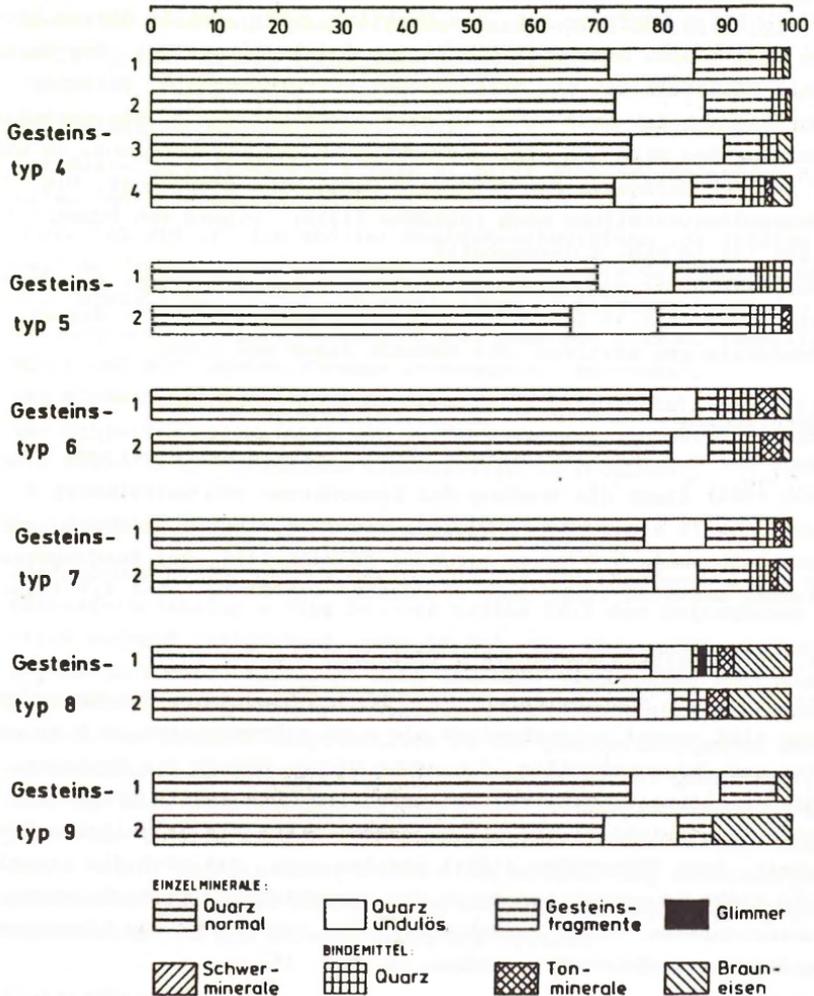


Abb. 3: Quantitative Zusammensetzung der Wealden-Sandsteine Typ 4 - 9

zeigt ein Maximum zwischen 200 und 630 μ , wobei die Fraktion 200 - 356 μ häufiger ist. Die Fraktion $\leq 20 \mu$ ist in dieser Probe etwa gleich beteiligt wie in Typ 3 (etwa 5 Vol.-%). Der Osterwald-Sandstein ist ein feinsandiger Mittelsandstein. Direkter Kornkontakt ist hier nicht so häufig wie bei Typ 3. Die gesteinsaufbauenden Minerale sind ungeschichtet und richtungslos. In Abb. 4 ist der Gefügetyp des Osterwald-Sandsteins gezeichnet. Die Korngrößenverteilung nach FRIEDMAN (1958) anhand von Summenlinien ist in Abb. 5 dargestellt. Der Medianwert des Osterwald-Sandsteins beträgt 280 μ , der Sortierungsgrad 1,15 (Tab. 2). Nach FÜCHTBAUER (1959) ist dieser Sandstein gut sortiert. Die Schiefe liegt bei 1,05.

Kornrundung

Nach den Vergleichstabellen von RUSSELL-TAYLOR und PETTIJOHN (MÜLLER 1964) liegt die Rundung der Komponenten von Gesteinstyp 4 etwa bei 75 % gerundet (rounded) und 20 % schwach gerundet (subrounded) sowie 5 % kantengerundet (subangular). Der Rundungsgrad dieses Gesteins liegt nach FÜCHTBAUER (1977) bei etwa 3,7 (Tab.2).

4.3.5 Nesselberg-Sandstein a (Typ 5)

Die in einem Sandsteinbruch anstehenden Sandsteine des Nesselberges sind sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch in 2 Gruppen (a) und (b) einzuteilen. Die erste Gruppe umfaßt die Gesteine, die grobkörnig, mürbe und hellgrau sind. Die zweite Gruppe besteht aus feinkörnigem, mittelfestem, grau- bis bräunlichem Sandstein. Auch SICKENBERG (1951) stellte fest, daß sich die einzelnen Bänke hauptsächlich durch den verschiedenen Einkieselungsgrad unterscheiden. Diese Sandsteine wurden aus dem SE von Altenhagen gelegenen Steinbruch entnommen (s. Abb. 1).

Makroskopische Beschreibung

Es handelt sich um einen sehr mürben, in der Hand leicht zerbröselnden und stark absandenden Sandstein. Das Gestein weist eine hellgraue bis weiße Farbe auf und besitzt vereinzelt braune

Flecken und Kohlereate. Der Stein ist ein ungeschichteter Mittelsandstein, dessen Hauptanteil aus Quarzkörnern besteht. Das Bindemittel ist, soweit vorhanden, silikatisch.

Mikroskopische Beschreibung

Der Nesselberg-Sandstein a (Typ 5) setzt sich aus folgenden Mineralen und Komponenten zusammen:

Quarz hat wie bei den anderen Wealden-Sandsteinen den größten Anteil an diesem Sandstein. Nach Quarz folgen die Gesteinsfragmente und danach - nur selten und nicht immer in frischem Zustand - Glimmer und Feldspat. Schwerminerale sind mit Zirkon, Turmalin, Rutil und auch opaken Körnern accessorisch vorhanden.

Das Bindemittel war - soweit vorhanden - fast vollständig durch das Schleifen ausgerissen und entfernt worden. So war nur noch ein Teil des quarzitären Bindemittels zu erkennen.

Quarz

Quarzkörner bilden mit ca. 81 Vol.-% die Hauptkomponente des Nesselberg-Sandsteins a (Typ 5). Der größte Teil der Quarzkörner zeigt normale Auslöschung (etwa 68 Vol.-%), doch weist ein beachtlicher Teil (ca. 13 Vol.-%) auch undulöse Auslöschung auf. Die Quarzkörner ähneln in ihren Eigenschaften denen des Typs 4. Der Unterschied besteht hauptsächlich in den Quarzneubildungen und unmittelbaren Kontakten zwischen den Quarzkörnern: Quarzneubildung ist hier zwar vorhanden, tritt aber im Vergleich zu den Typen 3 und 4 stark zurück. Aus diesem Grund hat das Gestein viele freie Poren. Unmittelbarer Kontakt ist selten, die Zwischenräume zwischen benachbarten Körnern sind meist frei. Wegen dieser Eigenschaften ist das Gestein mürbe und locker.

Gesteinsbruchstücke

Gesteinsbruchstücke stehen mit ca. 14 Vol.-% in der Mengenskala an zweiter Stelle (Tab. 1, Abb. 3). Vorherrschend sind Quarzgerölle mit ca. 11 Vol.-% und Kieselschiefer-Gerölle mit etwa 3 Vol.-%. Nicht so häufig, aber in geringer Menge doch vertreten,

sind Fragmente von Sandstein. Einige Quarzitkörner mit ausgeprägter Paralleltexur wurden beobachtet. Sie wurden bei der quantitativen Auszählung den Quarziten zugerechnet. Der Gehalt an Quarzitkörnern ist in dem grobkörnigeren Nesselberg-Sandstein a beträchtlich höher als in dem zweiten, feinförnigeren Typ b vom Nesselberg (s. 4.3.6).

Feldspat

Feldspat ist nur mit sehr wenigen Körnern am Gesteinsaufbau beteiligt. Der Erhaltungszustand der Feldspäte ist schlecht, eine weitergehende Ansprache der Feldspäte daher kaum möglich.

Glimmer

Glimmerminerale kommen nur in sehr geringer Menge vor.

Schwerminerale

Der Gehalt an Schwermineralen ist in den untersuchten Proben insgesamt gering (Tab. 1, Abb. 3). Identifiziert wurden die transparenten und opaken Erzminerale. Die opaken Erzminerale bestehen wie bei den anderen Proben meistens aus Limonit und Leukoxen. Bei den transparenten Schwermineralen kommen am häufigsten Zirkon, Turmalin und Rutil vor.

Zirkon

Zirkone treten sowohl als idiomorphe als auch als abgerundete Individuen, die häufig deutlichen Zonarbau zeigen, auf.

Turmalin

Turmalin wurde in allen Schliffen seltener als Zirkon beobachtet. Er bildet gewöhnlich gerundete bis kantengerundete, vorwiegend braune, grüne und seltener blaue Körner.

Rutil

Rutile sind als hochlichtbrechende braunrote Körner von sehr un-

regelmäßiger, selten prismatischer Gestalt vertreten.

Bindemittel

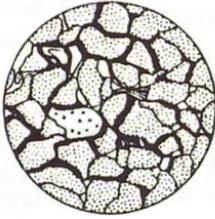
Ein großer Teil des Bindemittels war vermutlich durch den Schleifvorgang herausgerissen. So konnte nur ein Teil des kieseligen Bindemittels und stark untergeordnet, die anderen Bindemitteltypen beobachtet werden. Möglich ist auch, daß von vornherein nur sehr wenig Bindemittel in diesem mürben Gestein vorhanden war. Der Bindemittelanteil beträgt etwa 5 Vol.-%. Die unmittelbaren Kornkontakte sind hier nicht sehr häufig und die mittelbaren Kontakte entsprechend groß. In diesem Gestein sind viele freie Poren vorhanden, deren Anteil nicht prozentual angegeben werden kann, weil es nicht möglich ist, natürliche Poren von solchen, die durch das Schleifen entstanden sind zu unterscheiden. SICKENBERG (1951) nimmt an, daß die Poren ursprünglich fast immer gefüllt waren.

Quantitativer Mineralbestand

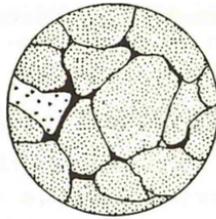
Die Ergebnisse der Mineralzählungen sind in Abb. 3 und Tab. 1 zusammengefaßt (tabellarisch dargestellte Einzelergebnisse s. CHITSAZIAN 1984).

Gefügeeigenschaften

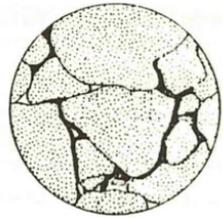
Es handelt sich um feinkörnigen Mittelsandstein mit Korngrößen zwischen 20 und 630 μ . Maxima (43 %) liegen in der Fraktion 200-356 μ und (35 %) 112 - 200 μ . Die gesteinsaufbauenden Minerale bilden ein ungeschichtetes, richtungsloses und lockeres Kornggefüge. Die Verzahnung der Komponenten in diesem Gestein ist sehr gering. Der Gefügetyp des Nesselberg-Sandsteins a ist in Abb. 4, die nach FRIEDMAN (1958) anhand der Summenlinien ermittelte Korngrößenverteilung ist vergleichend in Abb. 5 dargestellt. Der Medianwert des Typs 5 liegt bei 225 μ , der Sortierungsgrad bei 1,34 (Tab. 2). Nach FÜCHTBAUER (1959) ist dieses Gestein gut sortiert. Die Schieferung hat den Wert 0,91.



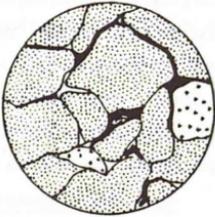
Gesteinstyp 1



Gesteinstyp 2



Gesteinstyp 3



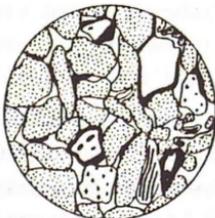
Gesteinstyp 4



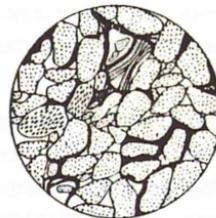
Gesteinstyp 5



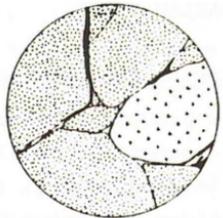
Gesteinstyp 6



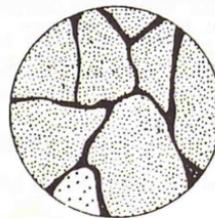
Gesteinstyp 7



Gesteinstyp 8



Gesteinstyp 9
(frisch)



Gesteinstyp 9 (verwittert)

0 3mm



Quarz



Gesteinsbruchstücke



Glimmer



verwitterte Feldspate



Schwerminerale



Bindemittel



offene Porenräume

Kornrundung

Nach den Vergleichstabellen von RUSSEL-TAYLOR und PETTIJOHN (MÜLLER 1964) zeigt der Nesselberg-Sandstein zu ca. 72 Stück-% gerundete (rounded), zu 28 Stück-% schwach gerundete (subrounded) Körner. Der Rundungsgrad liegt nach FÜCHTBAUER (1977) bei ca. 3,7 (Tab.2).

4.3.6 Nesselberg-Sandstein b (Typ 6)

Makroskopische Beschreibung

Die augenfälligste makroskopische Eigenschaft dieses Gesteinstyps ist der Farbwechsel von dem hellgrauen bis weißen Nesselberg-Sandstein a zum grauen bis bräunlichen Nesselberg-Sandstein b. Dieser Sandstein ist dickbankig und feinkörnig und läßt andeutungsweise Schrägschichtung erkennen. Makroskopisch kann man von den gesteinsbildenden Mineralen nur Quarz und eine relativ dicht erscheinende Grundmasse identifizieren. Die kleinen Rostflecken im frischen Bruch deuten auf Brauneisen (Limonit ?) hin. Das Gestein ist mäßig fest und sandet schwach ab. Es ist silikatisch gebunden. Karbonate konnten (HCl-Test) nicht nachgewiesen werden. Der Sandstein hat eine relativ raue Oberfläche und kantigen unregelmäßigen Bruch.

Mikroskopische Beschreibung

Der Nesselberg-Sandstein b besteht überwiegend aus Quarz (bis ca. 87 Vol.-%) und Gesteinsbruchstücken (etwa 3 Vol.-%). In den Porenräumen kommen Kaolinit, selten auch Quarzüberschichtungen, Sericit und Brauneisen vor. Das Bindemittel besteht, sofern es nicht beim Schleifvorgang entfernt wurde, hauptsächlich aus Quarz, Phyllosilikaten und Brauneisen. Vereinzelt, aber häufiger als im Nesselberg-Sandstein a, treten Feldspat und Glimmer auf. Dazu kommen die Schwerminerale Turmalin, Zirkon und Rutil sowie opake Minerale bis zu einem Gehalt von ca. 0,2 Vol.-%. Der Anteil an primären Porenräumen, soweit von den beim Schleifen entstandenen Löchern unterscheidbar, ist groß.

Quarz

Normal und undulös auslöschende Quarzkörner sind die Hauptkomponenten des Nesselberg-Sandsteins b. Der Anteil an undulösen Quarzkörnern beträgt ca. 7 Vol.-% und ist somit um 5 Vol.-% niedriger als im Nesselberg-Sandstein a. Normal auslöschende Quarzkörner sind mit ca. 80 Vol.-% am Gestein beteiligt (Tab. 1, Abb. 3). Die Quarzkörner sind hier wesentlich kleiner als im Nesselberg-Sandstein a. Die , nicht häufigen, Kontakte zwischen den Quarzkörnern sind sowohl flächen- als auch punktförmig. Quarzneubildungen in Porenräumen und Quarzüberwachsungen konnten nur selten beobachtet werden. In einigen Quarzkörnern sind Karbonateinschlüsse erkennbar. Ansonsten haben die Quarzkörner ungefähr die gleichen Eigenschaften wie im Nesselberg-Sandstein a (Typ 5).

Gesteinsbruchstücke

Im feinkörnigen Nesselberg-Sandstein b findet man nur etwa 3 Vol.-% Gesteinsfragmente. Mengenmäßig überwiegt Quarzit mit 2 Vol.-% vor Kieseliefer mit 1 Vol.-%. Andere Gesteinsbruchstücke (Plutonite und Sandstein) sind vorhanden, treten aber nur vereinzelt auf. Sie sind im allgemeinen besser gerundet als die Quarzkörner.

Feldspäte

Feldspatkörner sind im feinkörnigen Nesselberg-Sandstein b öfter vertreten als im grobkörnigen Nesselberg-Sandstein a. Optisch tritt besonders Kalifeldspat in Erscheinung (Bestimmung s. 4.3.1). Der Erhaltungszustand der Kalifeldspäte ist unterschiedlich. Meist sind sie durch beginnende kaolinitische Zersetzung und Ausscheidung von Eisenoxidhydrat-Pigment, gelegentlich auch durch Hämatit-Flitter getrübt oder sie enthalten, der Spaltbarkeit entsprechend, eingeregelt Sericit. Schlecht erhaltene Kalifeldspäte enthalten mehr Sericit und/oder Kaolinit. Neben Kalifeldspat ist in sehr geringen Spuren Plagioklas zugegen. Er entzieht sich (im Dünnschliff) infolge seiner allgemein sehr geringen Korngröße und seines schlechten Erhaltungszustandes der sicheren optischen Diagnose, häufig sogar der optischen Beobachtung. Als Zersetzungsprodukt treten in ihm am häufigsten Sericit (oder vielleicht ein dem Se-

ricit ähnliches Mineral, etwa Paragonit) auf.

Glimmer

Biotit ist mengenmäßig häufiger vorhanden als Muskovit. Beide treten i.d.R. in Form mehr oder weniger verbogener, zuweilen zerbrochener und zerknitterter Täfelchen auf. Die Biotittäfelchen zeigen meist noch deutlichen Pleochroismus von hellbraun nach rotbraun oder dunkelgrün. Sekundär gebildeter Sericit kommt in den Feldspäten vor. Glimmerminerale treten in diesem Sandstein zwar mehr als in Nesselberg-Sandstein a auf, bleiben aber noch unter 0,5 Vol.-%.

Schwerminerale

Schwerminerale kommen nur in Spuren vor (Tab. 1, Abb. 3). Die transparenten Schwerminerale setzen sich überwiegend aus Turmalin, Zirkon und Rutil zusammen. Die opaken Schwerminerale bestehen vorwiegend aus Limonit und Leukoxen.

Turmalin

ist eines der häufigsten Schwerminerale. Sein Anteil ist hier im Gegensatz zum Nesselberg-Sandstein a größer als der des Zirkons. Sonst entspricht er dem Turmalin des Nesselberg-Sandsteins a.

Zirkon

ist meist in den feineren Kornklassen vertreten. Die Körner sind oft kantengerundet bis gerundet. Zonarbau wurde nicht beobachtet.

Rutil

wurde in Nesselberg-Sandstein b beobachtet, allerdings mit stets geringeren Anteilen als Zirkon. Es sind gewöhnlich kurzprismatische oder seltener unregelmäßig begrenzte, gerundete Körner von rotbrauner Eigenfärbung.

Bindemittel

Im Nesselberg-Sandstein b ist die unmittelbare Kornbindung grö-

ber als bei Nesselberg-Sandstein a, aber dominierend ist immer noch die mittelbare Kornbildung. Das Bindemittel besteht, sofern nicht beim Schleifvorgang herausgelöst, aus undeutlich begrenzten kleinen Flittern, Schüppchen und Blättchen von Einzelmineralen bzw. monomineralischen Aggregaten wie detritischem Glimmer, Limonit (Brauneisen?), Quarz, seltener aus sekundärem Quarz. Untergeordnet wurden Umwandlungsprodukte spärlich vorhandener Feldspäte, wie z.B. Kaolinit und Sericit, beobachtet. Der Bindemittelanteil beträgt ca. 8 Vol.-% (Tab. 1, Abb. 3).

Quantitativer Mineralbestand

Die Ergebnisse der Mineralzählungen sind in Abb. 3 und Tab. 1 zusammengefaßt (tabellarisch dargestellte Einzelergebnisse s. CHITSAZIAN 1984).

Gefügeeigenschaften

Nesselberg-Sandstein a und b unterscheiden sich voneinander hauptsächlich durch die Korngröße. Nesselberg-Sandstein a ist grobkörniger, Nesselberg-Sandstein b feinkörniger. Im Nesselberg-Sandstein b. bilden Quarzkörner und Gesteinsbruchstücke im allgemeinen ein richtungslos angeordnetes und ungeschichtetes Mineralgefüge. Der Kornkontakt ist hier häufiger als im Gesteinstyp a, aber nicht so intensiv, daß das Gestein als kompakt angesprochen werden kann. Längliche, aber auch punktförmige Verzahnung ist zu beobachten. Das Gestein ist ein mittelsandiger Feinsandstein (Korngrößenspektrum 20 - 630 μ). Ein deutliches Korngrößenmaximum (ca. 50 %) liegt zwischen 112 und 200 μ . Der Gefügetyp dieses Gesteins ist in Abb. 4 skizziert, die nach FRIEDMAN (1958) anhand der Summenlinien ermittelte Korngrößenverteilung in Abb. 5 dargestellt. Der Medianwert liegt bei 146 μ , der Sortierungsgrad bei 1,38 (Tab. 2). Nach FÜCHTBAUER (1959) ist dieses Gestein gut sortiert. Die Schiefe beträgt 0,77.

Kornrundung

Die Kornform der Minerale $> 20 \mu$ und der Gesteinsbruchstücke zeigt, daß nach RUSSEL-TAYLOR-PETTIJOHN (MÜLLER 1964) 37 Stück-% schwach

gerundet (subrounded), 38 Stück-% gerundet (rounded) und 5 Stück-% gut gerundet (well rounded) sind. Der Rundungsgrad weist nach FUCHTBAUER (1977) eine Größe von ca. 3,5 (Tab. 2) auf.

4.3.7 Universitäts-Hauptgebäude-Sandstein (Typ 7)

Aus Anlaß einer Fassadenrenovierung konnten an der Südseite des Universitäts-Hauptgebäudes Hannover Gesteinsproben entnommen werden. Sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch ist das Material dem Gesteinstyp 6 so ähnlich, daß die Herkunft des Baumaterials aus einem der Nesselberg-Aufschlüsse angenommen werden kann. Aus diesem Grund wurde auf eine Beschreibung dieser Gesteinsproben verzichtet.

4.3.8 Deister-Sandstein a (Typ 8)

Makroskopische Beschreibung

Das Gestein ist ein hellbrauner, dickbankiger und feinkörniger Sandstein. Es ist ungeschichtet und fest. Beim Abreiben weist es keine Absandung auf. Neben Quarz und dicht erscheinender Grundmasse lassen sich kleine Rostflecken (Brauneisen ?) und schwarze Punkte (Glimmer oder Eisenverbindungen) erkennen. Das Gestein ist silikatisch gebunden. Karbonate konnten anhand des HCl-Tests nicht nachgewiesen werden. Der Sandstein besitzt eine relativ rauhe Oberfläche und hat unregelmäßigen und kantigen Bruch. Das Gestein wurde aus dem W Wennigsen gelegenen Steinbruch entnommen (Abb. 1).

Mikroskopische Beschreibung

Beim untersuchten Gestein handelt es sich um Quarzsandstein, der - von Einzelkörnern abgesehen - sehr wenig Feldspat führt. Es besteht zu durchschnittlich 83 Vol.-% aus Quarz. Die Quarzkörner löschen einheitlich oder undulös aus. Gesteinsbruchstücke kommen nur ganz selten vor (ca. 1,9 Vol.-%). Auch detritische Glimmer treten nur ganz vereinzelt auf. Durchsichtige und opake Schwerminerale sind akzessorisch am Gesteinsaufbau beteiligt. Das Bindemittel nimmt ca. 13 Vol.-% ein und besteht hauptsächlich aus

Brauneisen, Quarz, Phyllosilikaten und Kaolinit.

Quarz

Neben ganz sauberen, einheitlich auslöschenden Quarzkörnern gibt es solche mit Einschlüssen von Turmalin, Zirkon, Glimmer und anderen Mineralen, die wegen ihrer Größe nicht mehr bestimmbar sind. Der Anteil an normal auslöschenden Quarzkörnern beträgt ca. 77 Vol.-% (Tab. 1). Ein kleiner Teil der Körner (ca. 6 Vol.-%, Tab. 1) löscht undulös aus. Ganz selten zeigen die Quarzkörner Lösungserscheinungen in Form randlicher, flacher bis tiefer Korrosionsbuchten, so daß hier manchmal nur noch kleine Relikte von Quarzen übrig geblieben sind. Quarzneubildungen sind nicht häufig, aber verbreiteter als im Nesselberg-Sandstein. Kornkontakte sind in Flächen- und Punktform, z.T. auch suturiert vorhanden, aber nicht häufig. Insgesamt sehen die Quarzkörner wie die im Obernkirchen-Sandstein aus (Typ 1, s. 4.3.1).

Gesteinsbruchstücke

Gesteinsbruchstücke kommen ganz selten vor; ihr Anteil beträgt 1,7 Vol.-% (Tab.1). Im Gegensatz zu anderen schon beschriebenen Sandsteinen sind hier Kieselschieferkörner häufiger als Quarzitkörner (Tab.1). Sandstein-Fragmente sind nur in sehr kleiner Menge vertreten.

Feldspat

In quantitativ faßbaren Mengen ist nur Kalifeldspat vorhanden (Bestimmung s. 4.3.1), und zwar etwas mehr als im Obernkirchen-Sandstein. Der Erhaltungszustand der Kalifeldspäte ist sehr unterschiedlich. Meist sind sie infolge beginnender kaolinitischer Zersetzung und Ausscheidung von Eisenhydroxiden getrübt. Andere Umwandlungserscheinungen sind Sericitisierung und eine fragliche, nur untergeordnet auftretende Neubildung von Tonmineralen. Nur vereinzelt konnten kaolinitartige Tonminerale bestimmt werden.

Glimmer

Von den Glimmern sind Biotit und seltener Muskovit vertreten.

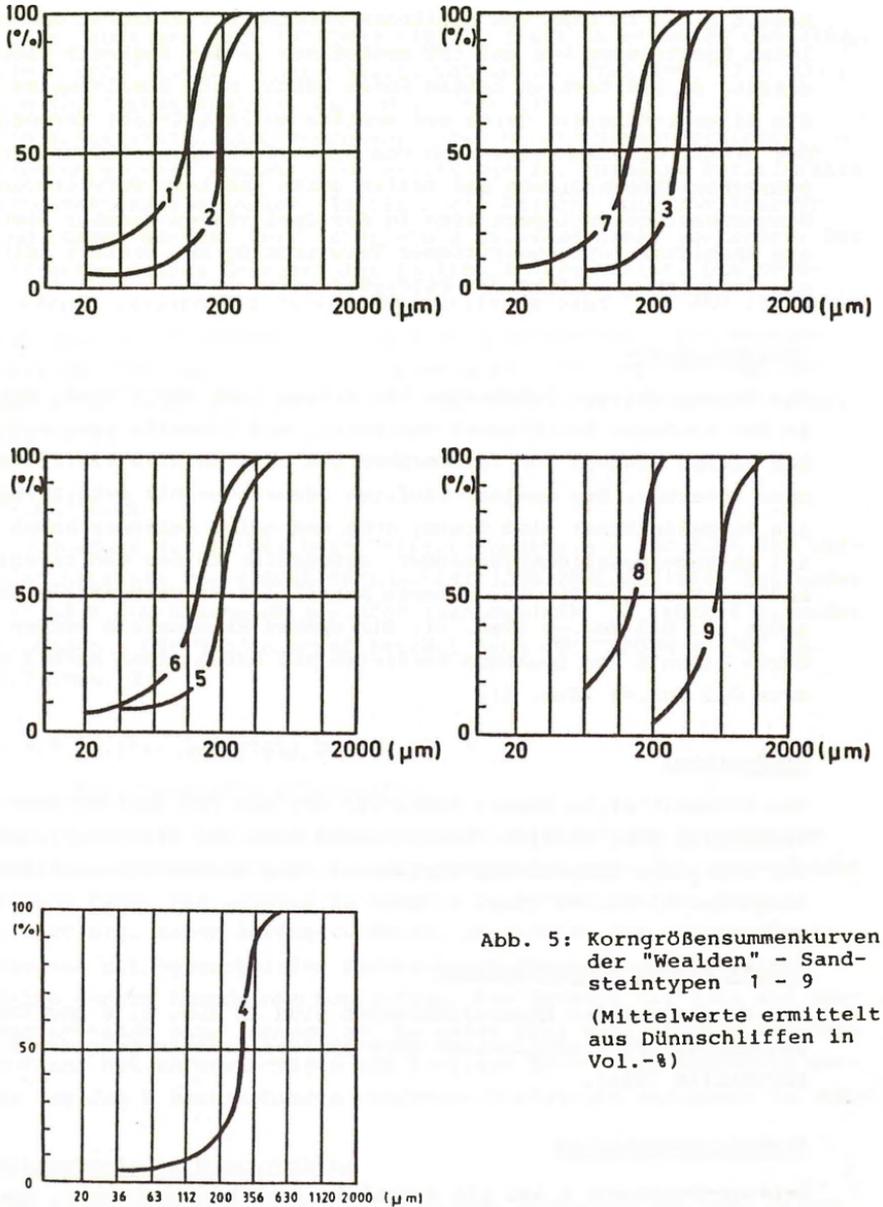


Abb. 5: Korngrößensummenkurven der "Wealden" - Sandsteintypen 1 - 9 (Mittelwerte ermittelt aus Dünnschliffen in Vol.-%)

Biotit liegt in Form von Blättchen-Paketen mit scharfen und parallelen Spaltrissen vor und ist sporadisch in das Sediment eingestreut. Er blättert an beiden Enden leicht auf. Stellenweise sind die Glimmer-Mineralen durch sedimentäre Auflast leicht verbogen. Der Biotit unterscheidet sich vom Muskovit hauptsächlich durch schwachen Pleochroismus und selten durch stärkere Verwitterung. Brauneisenflocken lagern sich in den Spaltrissen mancher Biotite als Anzeichen fortgeschrittener Verwitterung ab. Sericit tritt als Zersetzungsprodukt der Feldspäte auf.

Schwerminerale

Die durchsichtigen Schwerminerale setzen sich aus Zirkon, meist in den feineren Kornklassen vertreten, und Turmalin zusammen. Der Zirkon besteht aus idiomorphen bis abgerundeten Individuen ohne Zonarbau. Die weniger häufigen gerundeten bis eckengerundeten Turmalinkörner sind braun, grün und gelb. Seltener kommt Rutil in Form hochlichtbrechender, braunroter Körner von unregelmäßiger Gestalt vor. Der gesamte Anteil der Schwerminerale beträgt ca. 0,3 Vol.-% (Tab. 1). Die opaken Erzminerale werden durch Limonit und Leukoxen vertreten und haben einen Anteil von etwa 0,3 Vol.-% (Tab. 1).

Bindemittel

Das Bindemittel in diesem Sandstein ist dem des Obernkirchen-Sandsteins sehr ähnlich. Deshalb wird hier auf die Beschreibung der einzelnen Komponenten verzichtet. Der Bindemittelanteil beträgt ca. 13 Vol.-% (Tab. 1, Abb. 3).

Quantitativer Mineralbestand

Die Ergebnisse der Mineralzählungen sind in Abb. 3, 6 und Tab. 1 zusammengefaßt (tabellarisch dargestellte Einzelergebnisse s. CHITSAZIAN 1984).

Gefügeeigenschaften

Deister-Sandstein a ist ein mittelsandiger Feinsandstein. Die Korn-

größe, gemessen nach FRIEDMAN (1958), liegt zwischen 20 und 356 μ . Die Korngrößenverteilung (Abb.5) hat in der Fraktion 112 - 200 μ ein deutliches Maximum (ca. 60 %) (Abb. 3).

Die gesteinsbildenden Komponenten bauen ein ungeschichtetes, richtungsloses, kompaktes Mineralgefüge auf. Direkte Kornkontakte sind selten, sie kommen als Flächen-, Punkt-, auch als Konkav- und Konvex-Kontakt vor. Suturierung ist vereinzelt vorhanden. Der Gefügetyp dieses Gesteins ist in Abb. 4 dargestellt. Die Korngrößenverteilung des Deister-Sandsteins a nach FRIEDMAN (1958) ist anhand von Summenlinien in Abb. 5 dargestellt. Der Medianwert beträgt 146 μ , der Sortierungsgrad 1,36 (Tab. 2). Das Gestein ist nach FÜCHTBAUER (1977) gut sortiert. Die Schieferung liegt bei 0,79.

Kornrundung

Die Rundung der Körner beim Deister-Sandstein a ist nach den Vergleichstabellen von RUSSEL-TAYLOR-PETTIJOHN (MÜLLER 1964) folgende: ca. 58 Stück-% schwach gerundet (subrounded), 36 Stück-% gerundet (rounded). Der Rundungsgrad beträgt nach FÜCHTBAUER (1970) ca. 2,7 (Tab. 2).

4.3.9 Deister-Sandstein b (Typ 9)

Makroskopische Beschreibung

Der augenfälligste makroskopische Unterschied zum Gesteinstyp des Deister-Sandsteins a ist die vermutlich verwitterungsbedingte braune Farbe des Deister-Sandsteins b. Ferner ist das Gestein grobkörnig. Außer eckengerundeten, gerundeten bis gutgerundeten Quarzen mit homoachsialer Überwachsung durch Quarz läßt sich keine andere Komponente beobachten. Das Gestein ist fest und sandet trotzdem sehr schwach ab. Es weist eine sehr raue Oberfläche auf und hat unregelmäßigen und kantigen Bruch. Der Sandstein wurde aus dem S Barsinghausen gelegenen Steinbruch entnommen (s. Abb.1)

Mikroskopische Beschreibung

Der klastische Mineralanteil in diesem Sandstein ist sehr eintö-

nig. Er besteht fast nur aus Quarz und Gesteinsbruchstücken. Quarzkörner beteiligen sich mit ca. 86 Vol.-%, Gesteinsbruchstücke mit ca. 7 Vol.-% am Gesteinsaufbau (Tab. 1, Abb. 3). Feldspäte wurden nicht beobachtet, desgleichen Schwerminerale (bis auf Einzelkörner von Zirkon). Das selten vorhandene Bindemittel besteht hauptsächlich aus Brauneisen, Phyllosilikaten, Kaolinit und Quarz. Angewitterter Kaolinit kommt als Zwickel- und Porenfüllung vor.

Quarz

Der primäre Quarzanteil setzt sich aus verschiedenen Typen detritischer Körner zusammen:

- a) nicht undulös auslöschende Quarze.
Sie sind meist klar und enthalten sehr selten nadelförmige Mikrolithe von Turmalin. Auffallend sind bei den Quarzkörnern dieses Sandsteins wurmförmige Einschlüsse, die wahrscheinlich aus Chlorit bestehen ("Geldrollenchlorit" / Helminthstruktur, TRÖGER 1969).
Nach FOLK (1957) sollen sie typisch für Gangquarze sein. Es gibt einige Quarzkörner, die z.T. pigmentiert sind und/oder isometrisch-runde Karbonateinschlüsse enthalten. Manche Quarze sind von einer sehr feinen opaken Substanz durchstübt oder überzogen und erhalten dadurch eine dunkle Färbung. Stehen Quarze in direktem Kontakt mit Brauneisen, so werden sie nicht selten randlich von Brauneisen "angefressen". Durch Verwitterung sind auch manche Quarzkörner angeätzt. Der Anteil normal auslöschender Quarzkörner beträgt ca. 73 Vol.-% (Tab. 1).
- b) undulös auslöschende Quarze
Sie sind zahlenmäßig seltener vertreten (ca. 13 Vo.-%, s.Tab.1). Ihre Größe entspricht etwa derjenigen der normal auslöschenden Quarze. Quarzneubildung ist hier mäßig vorhanden. Die Quarzkornkontakte sind hier hauptsächlich mittelbar. Unmittelbarer Kornkontakt ist auch vorhanden, und zwar in Punkt- und Flächenform. Suturierung konnte sehr selten beobachtet werden.
- c) kataklastischer Quarz
Die Quarzkörner zeigen felderhafte Auslöschung. Die einzelnen "Felder" sind z.T. unscharf begrenzt und löschen undulös aus. Selten konnte eine Mörtelstruktur beobachtet werden: Große Felder sind von kleinen Bröckchen (Kataklasten) umgeben. Eine eindeutige Unterscheidung zwischen kataklastischen Quarzkörnern und Quarzitkörnern ist nicht immer möglich. Aus diesem Grund wurden die kataklastischen Quarze nicht extra gezählt, zumal sie nur einen sehr geringen Anteil am Gestein ausmachen.

Gesteinsbruchstücke

Quarzitkörner sind mit ca. 7 Vol.-% Hauptgemengteil der Gesteins-

bruchstücke. Es treten folgende Varietäten auf:

1. insgesamt grobkörnige Quarzkristalle
2. insgesamt feinkörnige Quarzkristalle
3. sowohl feinkörnige als auch grobkörnige Quarzkristalle in einem Quarzitkorn

Bei manchen grobkörnigen Quarzitkörnern sind Anzeichen von Verwitterung zu beobachten, sie sehen teilweise trüb aus. Außer Quarziten kommen vereinzelt Bruchstücke von Kieselschiefer und Tonstein vor. Gangquarze treten in geringer Menge auf. Sie konnten zum größten Teil nicht von Quarzit-Geröllen unterschieden werden. Nur diejenigen, die Einschlüsse von Chlorit ("Geldrollenchlorit") besaßen, ließen sich nach FOLK (1957) eindeutig als Gangquarz identifizieren. Wegen ihrer Seltenheit und der schwierigen Erkennung sind sie zu den Quarziten gezählt worden.

Feldspat und Glimmer

sind in diesem Gestein nicht vertreten.

Schwerminerale

Durchsichtige und opake Schwerminerale sind hier, bis auf zwei kleine Zirkone, nicht beteiligt.

Bindemittel

Im wesentlichen besteht die intergranulare Zwischenmasse aus Brauneisen. Während in Gesteinsproben, die der Oberflächenverwitterung ausgesetzt waren (Bereiche bis etwa 20 cm), Brauneisen den intergranularen Zwischenraum (ca. 12 Vol.-%) fast vollständig ausfüllt, weisen frische Proben nur ca. 2 Vol.-% Brauneisen auf (Tab. 1, Abb. 3). Zusätzlich treten im frischen Gestein untergeordnet (ca. 1 Vol.-%) Quarz, Kaolinit und Phyllosilikate im Bindemittel auf.

Quantitativer Mineralbestand

Die Ergebnisse der Mineralzählungen sind in Abb. 3 und Tab. 1 zusammengefaßt (tabellarisch dargestellte Einzelergebnisse s. CHITSAZIAN 1984).

Modaler Mineralbestand in Vol.-%

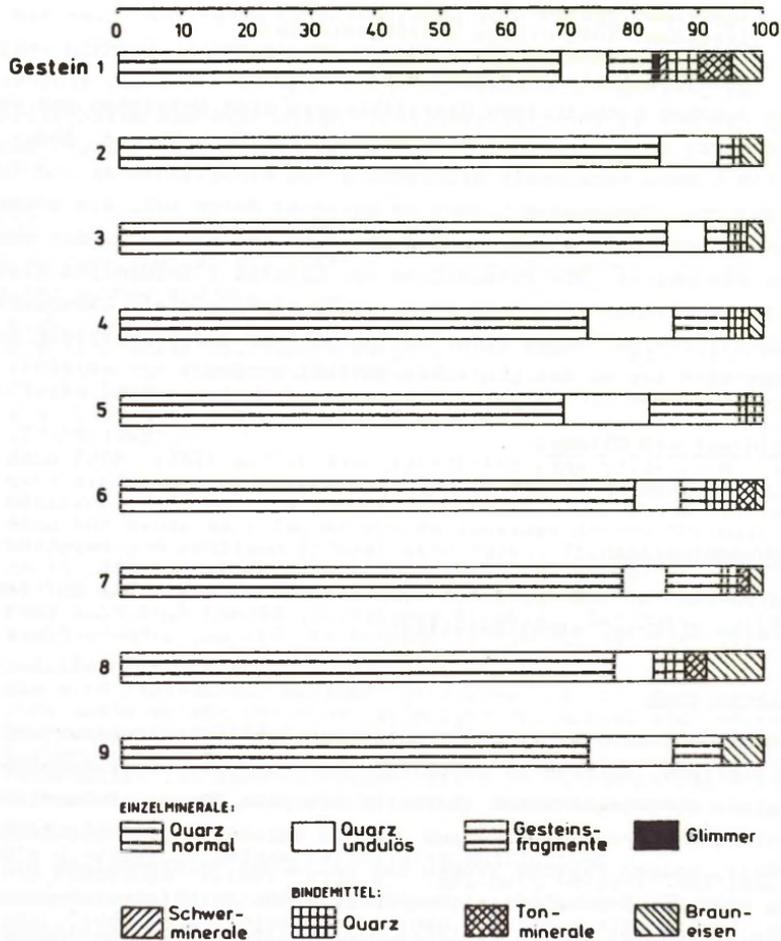


Abb. 6: Mittelwerte der untersuchten Wealden-Sandsteine. Zusammensetzung Typ 1 - 9

Gefügeeigenschaften

Deister-Sandstein b ist ein grobsandiger Mittelsandstein. Die Korngröße, gemessen nach FRIEDMAN (1958), liegt zwischen 20 bis $> 1120 \mu$. Sie zeigt ein deutliches Maximum (ca. 55 %) zwischen 356 und 630μ (s. auch Abb. 5). Das Mineralgefüge ist richtungslos angeordnet und ungeschichtet. Die Komponenten zeigen in diesem Gestein hauptsächlich punktförmige - aber auch längliche Kontakte. Der Gefügetyp des Deister-Sandsteins b ist in Abb. 4 gezeichnet. Der Medianwert der Korngrößenverteilung beträgt ca. 579μ , der Sortierungsgrad 1,24 (Tab. 2). Nach FÜCHTBAUER (1977) ist das Gestein gut sortiert. Die Schiefe liegt bei 0,85.

Kornrundung

Nach den Vergleichstabellen nach RUSSEL-TAYLOR und PETTIJOHN (MÜLLER 1964) zeigt der Deister-Sandstein b folgenden Rundungsgrad der Minerale: ca. 50 Stück-% schwach gerundet (subrounded), ca. 35 Stück-% kantengerundet (subangular), ca. 10 Stück-% gerundet (rounded), 12 Stück-% gut gerundet (well rounded). Der Rundungsgrad beträgt nach FÜCHTBAUER (1970) ca. 2,8 (Tab. 2).

5. BEZIEHUNGEN

ZWISCHEN PALÄOGEOGRAPHIE UND LITHOFAZIES DER SANDSTEINE

Die untersuchten Gesteine wurden als limnisch-brackische Gesteine der Bückeberg-Formation ("Wealden"), Berrias-Stufe der Unterkreide, in einem Deltagebiet der Einbecker Bucht oder Hilsbucht abgelagert, deren paläogeographischer Rahmen die Hildesheimer Halbinsel im Osten und die Rheinische Masse im Süden bilden (Abb. 7). Die für ein Delta typischen Faziesbereiche mit sandigen Rinnensedimenten in sich lateral verlagernden Flußläufen und mit tonig-siltigen Süßwasserseen, in die wiederholt kohlige Lagen eingeschaltet sind, ist bezeichnend für die Ausbildung der Gesteine des Untersuchungsraumes. Der Antransport der sandigen Sedimente erfolgte im wesentlichen aus Süden (GRAUPNER, unveröffentlichter Bericht, 1956; JÜRGENS, 1972). Im proximalen

Abschnitt des Deister-Ästuars, im Osterwald-Nesselberg-Süntel-Gebiet, handelt es sich nach KEMPER (1973) vorwiegend um Sand-Silt-Wechsellagerungen. Dagegen weisen die distalen Abschnitte (Deister, Bückeberge) im wesentlichen tonig-siltige Sedimente mit nur einzelnen Sandsteinschüttungen auf. Die Gesteinsparameter der Wealden-Sandsteine wie Korngröße, Sortierung sowie Art und Gehalt des Bindemittels sind abhängig von der Energie des transportierenden Wassers. In tiefen breiten Rinnen mit schnell fließendem Wasser wurden grobe, gut klassierte Sandsteine mit wenig phyllosilikatischem Bindemittel sedimentiert, in flachen, schmalen Rinnen mit langsam fließendem Wasser schlecht klassierte feinkörnige Sandsteine mit reichlich feinkörnigem Bindemittel. Die Lage zum Liefergebiet (proximal-distal) und zur Küste ist verantwortlich für die Lithofazies der Sandstein-Folgen, da allgemein mit zunehmender Entfernung zum Liefergebiet die Sedimente feinkörniger werden.

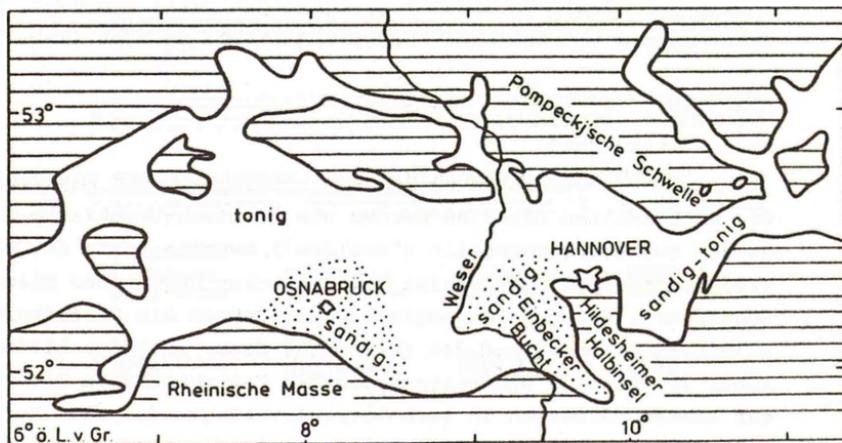


Abb. 7: Nordwestdeutsches Wealdenbecken (nach SCHOTT 1968; verändert). Schraffiert: Festland

Während FALKE (1944) für die Wealden-Sandsteine noch einen "Lieferschwerpunkt" im Osten annahm, kam GRAUPNER (unveröffentlichter Bericht, 1956) aufgrund unterschiedlicher Mächtigkeiten der Sandkörper zu dem Schluß, daß neben dem östlichen "Schüttungskegel" ein westlicher "Schüttungskegel" existiert habe, wobei die Materialanlieferung in beiden Fällen aus dem Süden erfolgt sei: Die untersuchten Sandsteine gehören - sofern eine Zuordnung zu bestimmten Faziesbereichen überhaupt möglich ist - teils einer insgesamt mehr feinkörnigen Westgruppe (Bückeberge und Rehburger Berge), teils einer insgesamt mehr grobkörnigen Ostgruppe (Osterwald, Nesselberg, Süntel und Deister) an. Die typisch unterschiedliche Ausbildung der Proben vom Nesselberg und aus dem Deister könnten auf den sich häufig verzweigenden und mäandrierenden Verlauf der küstennahen Flüsse westlich der Hildesheimer Halbinsel zurückgeführt werden.

6. TECHNOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

An den Wealden-Sandsteinen wurden Roh- und Reindichte, Gesamtporosität gemäß DIN 52102, Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck und unter einem Druck von 150 bar nach DIN 52103 sowie der Sättigungswert gemäß DIN 52113 bestimmt. Weiterhin wurden der Frost-Tau-Wechselversuch nach DIN 52104 und nach Methoden von VOGLER sowie der Kristallisationsversuch nach DIN 52111 durchgeführt.

Als Maß für die Festigkeit wurden Druckfestigkeit nach DIN 52105 und Spaltzugfestigkeit nach DIN 1048 an Würfeln bestimmt. Weiterhin wurde das Saugvermögen der Sandsteine entsprechend dem Vorschlag von WALZ (1957) ermittelt.

Die Ergebnisse der technologischen Untersuchungen sind in Tab.3 zusammengefaßt.

6.1 Physikalisch-technische Untersuchungen

6.1.1 Rohdichte

Die Rohdichte ρ_R eines Gesteines ist der Quotient aus seiner Mas-

Gestein	Typ	σ_{dB} N/mm ²	β_{SZ} N/mm ²	ρ_R g/cm ³	ρ_0 g/cm ³	P %	$W_{g,a}$ Gew.-%	$W_{g,d}$ Gew.-%	S	F-T-W %	Kr. %
Obernkirchen-Sandstein	1	86,67	5,36	2,15	2,64	16,40	5,29	8,86	0,60	0,28	16,0
Rehburger Berge-Sandstein	2	120,07	10,26	2,33	2,61	9,81	3,06	5,23	0,58	0,15	0,3
Süntel-Sandstein	3	90,78	5,77	2,19	2,43	9,88	5,23	8,06	0,65	0,30	6,4
Osterwald-Sandstein	4	77,31	7,64	2,24	2,65	15,00	4,11	7,01	0,59	-	14,1
Nesselberg- a - Sandstein	5	24,60	2,02	2,00	2,65	24,60	8,41	11,77	0,71	-	100,0
Nesselberg- b - Sandstein	6	36,92	2,95	1,97	2,65	26,04	8,77	12,38	0,71	-	49,5
Universitäts-Hauptgebäude-Sandstein	7	40,72	2,58	2,02	2,64	23,49	7,63	12,07	0,63	-	20,2
Deister- a - Sandstein	8	70,30	4,12	2,10	2,35	10,63	5,98	10,34	0,58	0,32	14,0
Deister- b - Sandstein	9	-	-	2,16	2,25	7,50	5,18	8,82	0,59	-	-

Tab. 3: Zusammenstellung der Ergebnisse der physikalisch-technischen Untersuchungen Mittelwerte je Gesteinstyp
Verzeichnis der Parametersymbole: s. S. 103

se - hier Trockenmasse m_{tr} - und seinem Volumen V_R mit Berücksichtigung von etwa vorhandenem Porenraum im Mineralstoff:

$$\rho_R = \frac{m_{tr}}{V_R} \quad [g/cm^3]$$

Die Rohdichte-Bestimmung wurde gemäß DIN 52102 mit Hilfe des Thermometers und abgekochten demineralisierten Wassers als Dichteflüssigkeit durchgeführt.

Als Prüfgut wurden Würfel von der Größe $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ genommen. In Tab. 4 sind die Einzelergebnisse der Rohdichtebestimmung dargestellt.

6.1.2 Reindichte

Die Reindichte eines Gesteins ist definiert als der Quotient aus seiner Trockenmasse m_{tr} und seinem Volumen V_o ausschließlich etwa vorhandenen Porenraums:

$$\rho_o = \frac{m_{tr}}{V_o} \quad [g/cm^3]$$

Die Reindichte wurde gemäß DIN 52102 nach dem Pyknometerverfahren mit gekochtem demineralisiertem Wasser als Dichteflüssigkeit bestimmt. Dazu wurde das Probenmaterial im Backenbrecher zerkleinert. Beim vorgeschriebenen Prüfgut $\leq 0,063 \text{ mm}$ ergaben sich auch bei Wiederholungsprüfungen teilweise kleinere Dichtewerte als bei der Rohdichtebestimmung: Vermutlich konnten die Proben nicht ausreichend entlüftet werden, obwohl die Entlüftung mit einer Wasserstrahlpumpe 24 Stunden lang durchgeführt wurde. Deshalb wurde abweichend von DIN 52102 das Probenmaterial $< 0,2 \text{ mm}$ zur Bestimmung verwendet. Die so gewonnenen Ergebnisse erscheinen vertrauenswürdig, wie SAUER (1978) ebenfalls festgestellt hat. Die Einzelergebnisse sind in Tab. 5 dargestellt.

6.1.3 Gesamtporosität

Die Gesamtporosität P eines Gesteines läßt sich nach DIN 52102 aus Roh- und Reindichte nach der folgenden Gleichung errechnen:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_R}{\rho_o} \right) \cdot 100 \quad [\%]$$

Sie umfaßt den offenen und geschlossenen Porenraum. Die Ergebnisse der Bestimmungen der Gesamtporosität sind in Tab. 3 aufgeführt. Nach der von MOOS & DE QUERVAIN (1967 : 56) aufgestellten Bewertungsskala sind die Wealden-Sandsteine erheblich bis sehr

Gesteinstyp	Einzelwerte					\bar{x}	s
1	2,158	2,123	2,179	2,150	2,153	2,153	0,020
2	2,324	2,321	2,338	2,339	2,319	2,328	0,009
3	2,189	2,201	2,191	2,191	2,185	2,191	0,006
4	2,241	2,239	2,247	2,248	2,222	2,239	0,010
5	1,982	1,988	2,013	2,020	2,010	2,003	0,017
6	1,968	1,972	1,959	1,861	1,993	1,971	0,014
7	2,044	2,015	2,018	2,024	2,015	2,023	0,012
8	2,115	2,098	2,067	2,108	2,098	2,097	0,018
9	2,158	2,155	2,174	-	-	2,162	0,010
Ergebnisse der Rohdichtebestimmung nach DIN 52102 (Maßangabe: g/cm^3)							ρ_R

Tab. 4

Gesteinstyp	Einzelwerte			\bar{x}	s
1	2,644	2,640	2,630	2,638	0,007
2	2,602	2,606	2,623	2,611	0,011
3	2,415	2,422	2,442	2,426	0,014
4	2,644	2,647	2,648	2,646	0,002
5	2,655	2,653	2,655	2,654	0,001
6	2,652	2,653	2,651	2,652	0,011
7	2,644	2,629	2,651	2,641	0,011
8	2,367	2,364	2,331	2,354	0,020
9	2,246	2,278	2,219	2,248	0,029
Ergebnisse der Reindichtebestimmung nach DIN 52 102 (Maßangabe: g/cm^3)					ρ_O

Tab.5

stark porös. Die Ergebnisse der aus Roh- und Reindichte errechneten Gesamtporosität ist nicht immer zuverlässig, da die Fehler der Dichtebestimmung die Porositätswerte direkt beeinflussen. Besonders die Bestimmung der Reindichte unterliegt, wie bereits oben erwähnt, Korngrößeneinflüssen des Prüfgutes (s. 6.1.2).

6.1.4 Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck

Die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck W_a ist die Differenz zwischen der Masse der wassergelagerten Gesteinsprobe $m_{W,a}$ und der getrockneten Probe m_{tr} .

$$W_a = m_{W,a} - m_{tr} \quad [g]$$

Das Maß der Wasseraufnahme wurde gewichtsbezogen in Gew.-% angegeben.

$$W_{g,a} = \frac{W_a}{m_{tr}} \cdot 100 \quad [\text{Gew.}\%]$$

Die Bestimmung der Wasseraufnahme wurde laut DIN 52103 durchgeführt. Die Einzelergebnisse sind aus Tab. 6 zu ersehen.

6.1.5 Wasseraufnahme unter Druck von 150 bar

Bei den Messungen der Wasseraufnahme unter Druck W_d nach vorhergegangenem Entlüften werden auch zusätzlich die Poren erfaßt, die bei der Wasseraufnahme bei Atmosphärendruck wegen der noch eingeschlossenen Luft oder der nicht ausreichend langen Wasserlagerung nicht ermittelt wurden.

Die Wasseraufnahme unter einem Druck von 150 bar W_d ist die Differenz zwischen dem Gewicht der wassergesättigten Proben $m_{W,d}$ und der getrockneten Proben m_{tr} .

$$W_d = m_{W,d} - m_{tr} \quad [g]$$

Die Angabe der Wasseraufnahme erfolgt ebenfalls (s. 6.1.4) gewichtsbezogen nach der Gleichung:

$$W_{g,d} = \frac{W_d}{m_{tr}} \cdot 100 \quad [\text{Gew.}\%]$$

Die Wasseraufnahme unter einem Druck von 150 bar wurde an denselben Proben wie bei der Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck gemäß DIN 52103 bestimmt. Die Einzelwerte sind in Tab. 7 dargestellt.

6.1.6 Sättigungswert

Der Sättigungswert S ist das Verhältnis von Wasseraufnahme unter

Atmosphärendruck W_a zu Wasseraufnahme bei 150 bar Druck W_d .

$$S = \frac{W_a}{W_d} \quad [-]$$

Der Sättigungswert wurde nach DIN 52113 bestimmt. Die Einzelwerte sind in Tab. 8 angeführt.

Nach DIN 52106 sind Gesteine mit weniger als 0,5 Gew.-% Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck verwitterungsresistent. Bei Überschreitung dieses Betrages muß zusätzlich der Sättigungswert herangezogen werden. Bei einem Wert niedriger als 0,75 ist das Gestein verwitterungsbeständig, über 0,9 ist es nicht verwitterungsresistent. Liegen die Sättigungswerte zwischen 0,75 und 0,9 kann das Gestein je nach Verwendungszweck noch brauchbar sein.

Die untersuchten Gesteine weisen Sättigungswerte zwischen 0,58 und 0,71 auf und gelten daher nach Anforderungen der DIN 52106 E als verwitterungsbeständig (s. Tab. 3).

6.1.7 Frost-Tau-Wechsel-Versuch

Der Frost-Tau-Wechsel-Versuch zielt darauf ab, die Beanspruchungen, denen ein Gestein unter natürlichen Verwitterungsbedingungen ausgesetzt ist, zeitlich verkürzt im Labormaßstab nachzuahmen. Die Beurteilung erfolgt überwiegend visuell, doch werden auch meßbare Größen, wie Gewichtsverlust und Festigkeitsänderungen herangezogen.

Die Problematik dieses Versuches besteht darin, die natürlichen Verhältnisse möglichst genau nachzuahmen und zugleich eine wesentliche Zeitverkürzung zu erreichen. Die natürlichen Gegebenheiten beschränken sich nicht nur auf die voneinander abhängigen Umweltfaktoren wie Klima- und Wetterbedingungen, darunter fallen auch Lage und Anordnung der Bausteine im Bauwerk. Da der Grad der Wassersättigung sowie Geschwindigkeit, Häufigkeit und Ausmaß von Temperaturänderungen um den Nullpunkt in der Natur sehr variieren, ist es sehr schwierig (wenn nicht gar unmöglich), die Versuchsbedingungen den natürlichen Verhältnissen genau anzupassen.

Dementsprechend gibt es eine Fülle von Vorschlägen, wie die natürlichen Gegebenheiten am besten nachgeahmt werden können. Hier sollen nur einige besonders markante Verfahren angeführt werden,

Gesteinstyp	Einzelwerte			\bar{x}	s
1	5,214	5,675	4,968	5,286	0,359
2	2,845	3,000	3,328	3,058	0,247
3	5,440	5,009	5,225	5,225	0,216
4	3,982	4,274	4,074	4,110	0,149
5	7,939	8,875	8,405	8,406	0,468
6	8,498	9,076	8,741	8,772	0,290
7	7,558	7,711	7,609	7,626	0,078
8	5,611	5,900	6,423	5,978	0,412
9	5,369	5,241	4,943	5,184	0,219

Ergebnisse der Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck
nach DIN 52103 $w_{g,a}$ (Maßangabe: Gew.-%)

Tab. 6

Gesteinstyp	Einzelwerte			\bar{x}	s
1	8,921	9,594	8,065	8,860	0,766
2	5,021	5,109	5,554	5,228	0,286
3	8,204	7,900	8,062	8,055	0,152
4	6,826	7,185	7,003	7,005	0,180
5	11,277	12,143	11,892	11,771	0,446
6	12,069	12,675	12,381	12,375	0,303
7	11,987	12,191	12,044	12,074	0,105
8	10,021	10,078	10,907	10,335	0,496
9	8,779	8,825	8,861	8,822	0,041

Ergebnisse der Wasseraufnahme unter einem Druck von 150 bar
nach DIN 52103 $w_{g,d}$ (Maßangabe: Gew.-%)

Tab. 7

zumal es in der Literatur umfassende Beschreibungen der angewandten Verfahren gibt (z.B. NARJES 1953; LEHMANN & OHNEMÜLLER 1960; BUTTERWORTH 1964; HARTMANN 1964; DIN 52104).

Befrostung

Für diese Arbeit konnten aus technischen Gründen nur an vier festen Gesteinstypen Frost-Tau-Wechsel-Versuche gemäß DIN 52104 durchgeführt werden. Daher ist es nicht möglich, die Ergebnisse mit denen des Kristallisationsversuchs zu vergleichen. Die Untersuchungen erfolgten in einer Tiefkühltruhe der Firma VÖTSCH vom Typ VLT 02/430/S an jeweils fünf Steinwürfeln eines Gesteinstyps. Das Gerät ist für einen Temperaturbereich von -30°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ ausgelegt. Die Regelgenauigkeit der Temperatur beträgt $+0,75^{\circ}\text{C}$. Die Proben wurden einem 25-maligen Frost-Tau-Wechsel-Zyklus, d.h. abwechselndes Gefrieren bis min. -15°C und Auftauen in destilliertem Wasser bis ca. $+15^{\circ}\text{C}$, unterzogen.

Nach Abschluß der Versuche waren an den Gesteinswürfeln sehr schwache Absplitterungen, aber keine Risse oder sonstige auf die Frostbeanspruchung zurückzuführenden Schäden feststellbar. Die Ergebnisse dieses Versuches sind aus Tab. 9 zu ersehen.

Befrostung mit dem automatischen Gerät

Um die Gesteine unter veränderten Versuchsbedingungen auf ihre Frost-Tau-Wechsel-Eignung zu prüfen, wurden am Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover in Anlehnung an DIN 52104 weitere Versuche durchgeführt. Als Befrostungsgerät diente dabei ein automatisches Frost-Tau-Wechselgerät vom Typ MC 5 mit Programmgeber PG 3 der Firma Colora-Meßtechnik GmbH, 7073 Lorch. Die Proben wurden sowohl mit destilliertem Wasser als auch mit 3 % NaCl-Lösung jeweils 25 Frost-Tau-Wechselperioden zwischen ca. -20°C und $+20^{\circ}\text{C}$ in geschlossenen Plastikbeuteln ausgesetzt.

Die Beurteilung der Frost-Tauwechsel-Beständigkeit ist in Tab. 10 dargestellt.

6.1.8 Kristallisations-Versuch

Der Kristallisations-Versuch ist eine dem Frost-Tau-Wechsel-Versuch in physikalischer Hinsicht vergleichbare Untersuchung des Gesteins. Es ist jedoch deutlich billiger und einfacher in seiner Durchführung. Zusätzlich gestattet er eine wesentlich stärkere Beanspruchung des Materials als die Frost-Tau-Wechsel-Prüfung.

Dabei finden mit Rißbildung, Absanden und Abschuppen (Ablösen kleiner Stoffteile) Zerstörungen statt, wie sie bei Verwitterung von Steinen am Bauwerk häufig anzutreffen sind.

Gesteinstyp	Einzelwerte			\bar{x}	s
1	0,584	0,592	0,616	0,597	0,017
2	0,567	0,587	0,599	0,584	0,016
3	0,663	0,634	0,648	0,648	0,015
4	0,583	0,595	0,582	0,587	0,007
5	0,704	0,731	0,707	0,714	0,015
6	0,704	0,716	0,706	0,709	0,006
7	0,631	0,633	0,632	0,632	0,001
8	0,560	0,585	0,589	0,578	0,016
9	0,612	0,594	0,558	0,588	0,027

Ergebnisse des Sättigungswertes nach DIN 52113, S
(Maßangabe: keine)

Tab. 8

Gesteinstyp	Einzelwerte					\bar{x}	s
1	0,25	0,29	0,26	0,32	0,26	0,28	0,019
2	0,20	0,13	0,24	0,17	0,00	0,15	0,092
3	0,33	0,40	0,22	0,22	0,33	0,30	0,078
4	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-
8	0,33	0,37	0,26	0,27	0,38	0,32	0,055
9	-	-	-	-	-	-	-

Einzelergebnisse der Frost-Tau-Wechsel-Versuche
(Maßangabe: Gew.-%)

Tab. 9

Tab.. 10: Visuelle Beurteilung der Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit nach VOGLER (1976) an den Wealden-Sandsteinen Typ 1 - 9

Gesteins-Typ	In H ₂ O nach 25 Versuchen	In 3% NaCl-Lsg. nach 25 Versuchen
1	Starke Porenvergrößerung nur in Zonen mit höherem Brauneisengehalt. Kanten kaum gerundet.	Vergleichbar mit Versuch H ₂ O. Kanten abgerundet.
2	Kanten kaum gerundet	Vergleichbar mit Versuch H ₂ O
3	Schwache Porenvergrößerung an der Oberfläche bis Einbuchtung an Kanten, Kanten sehr schwach abgerundet	Minimale Porenvergrößerung bis Einbuchtungen an der Oberfläche, mäßige Erosion, Kanten schwach gerundet
4	Kaum Veränderungen, Herauswittern von Zonen mit reichhaltigen Brauneisenverbindungen.	Kanten sehr schwach gerundet, sonst wie Versuch H ₂ O
5	Porenvergrößerung an der Oberfläche, Kanten abgerundet, teilweise Substanzablösung	Vergrößerte Poren bis Einbuchtungen an der Oberfläche, allgemeiner Substanzverlust, an Kanten Substanzablösung, Kanten extrem abgerundet
6	Oberfläche aufgeraut, durch Erosion treten ehemals latente Klüftungen auf, Kanten abgerundet	An den Kanten intensive Aufrauung, Kanten mäßig abgerundet, unterschiedlich intensive Erosion in Klüftzonen
7	Oberflächen mit tieferen Einbuchtungen, Korngruppen herausgelöst, an Kanten und in Klüftzonen Substanzablösung, Kanten abgerundet	Porenvergrößerung bis Einbuchtungen an der Oberfläche, an Kanten und Klüften starke Substanzablösung, Kanten abgerundet
8	Mäßige Porenvergrößerung, schwach unebene Oberfläche besonders in Kantennähe, Kanten schwach abgerundet	Porenvergrößerung mit Tendenz zu Einbuchtungen an der Oberfläche, sehr schwacher Substanzverlust an Kanten, Kanten schwach abgerundet
9	Oberfläche angeraut. Kanten schwach abgerundet.	Oberfläche intensiver angegriffen (angeraut) Tendenz zu Einbuchtungen, Kanten schwach abgerundet

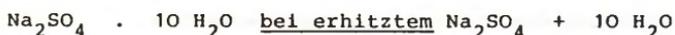
KESSLER & SLIGH (1927) stellten fest, daß bestimmte Kalksteine, die bei Kristallisations-Versuchen nach 30 Wechselln Zerstörungen aufwiesen, zur Erlangung der gleichen Zerstörung 210 bis 300 Frostwechselln ausgesetzt werden mußten. Es fanden sich jedoch auch umgekehrte Verhältnisse.

Nach SCHAFFER (1932) hat der Kristallisations-Versuch eine stärkere Wirkung als der Frost-Tau-Wechsel-Versuch, ohne daß eine allgemeingültige Beziehung zwischen beiden Einwirkungen besteht. Nach seiner Meinung ermöglicht der Kristallisations-Versuch eine bessere Beurteilung der Widerstandsfähigkeit von Bausteinen gegen Sprengkräfte durch Salze. Nach den Versuchen von SCHAFFER (1927) war überdies die Wirkung von Natriumsulfat im Vergleich zu Magnesiumsulfat, Gips, Kaliumsulfat, Kalisalpeter und Natriumthiosulfat stärker.

ORTON (1919) stellte bei umfangreichen Vergleichsversuchen mit Mauerziegeln fest, daß beim Kristallisations-Versuch mit Natriumsulfat die Wirkung von vier Wechselln ebenso groß ist wie die von 25 Frostwechselln.

Ablauf des Kristallisations-Versuchs

Die Kristallisationsprüfung nach DIN 52111 besteht in einer 10-maligen Wiederholung einer Tränkung der Probe mit Natriumsulfatlösung bei ca. 20°C und Trocknung bei 105 - 110°C (Abb. 8). Als Versuchslösung wird gesättigte Natriumsulfatlösung, die durch Auflösen von handelsüblichem Natriumsulfat in destilliertem Wasser bereitet wird, mit Bodenkörper verwendet. Hierzu wurden 670g Na₂SO₄ in 1 l destilliertem Wasser bei 20°C ± 1°C unter ständigem Rühren aufgelöst. Während des Versuchsablaufes herrscht eine konstante Temperatur von 20°C. Ursache für die Zerstörung des Gesteins ist die Eigenschaft des Natriumsulfats (Na₂SO₄), unter Aufnahme von 10 Teilen Wasser bei Temperaturen bis zu 32,7°C mit Volumenvergrößerung zu Glaubersalz zu kristallisieren. Bei höheren Temperaturen wird das Wasser wieder frei:



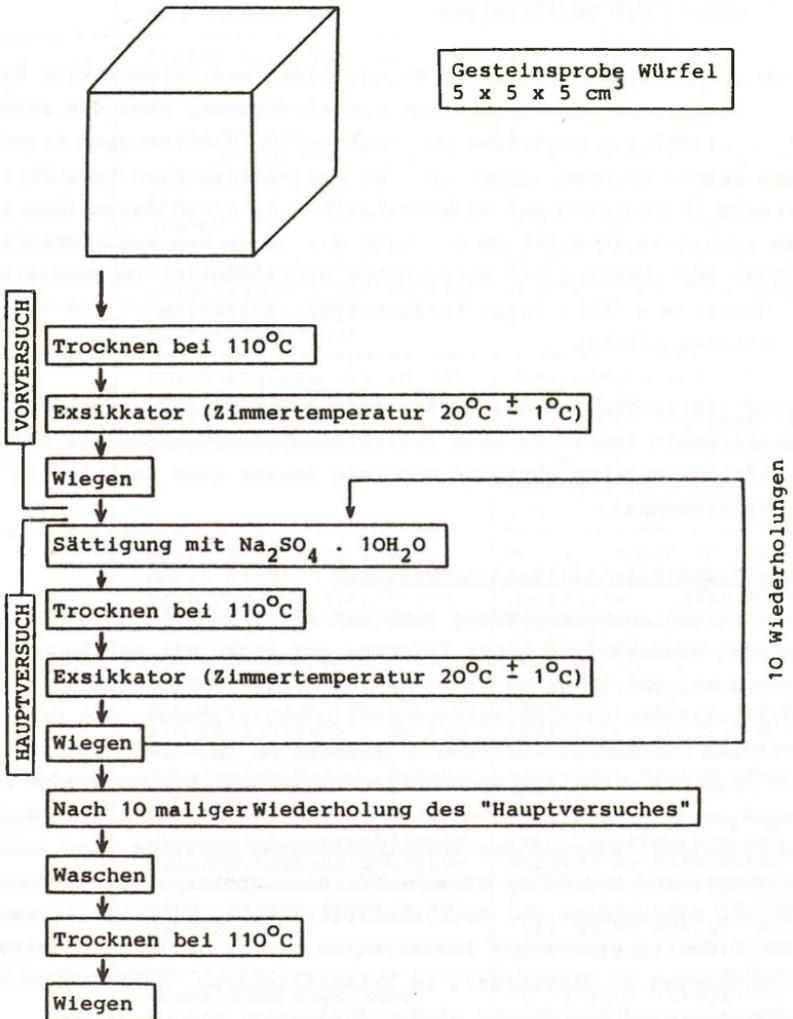


Abb. 8: Durchführung des Kristallisations-Versuches

Der in den Poren aus Glaubersalz durch Verdunsten des Wassers zurückgebliebene Thenardit (Na_2SO_4) nimmt bei erneutem Zutritt von gesättigter Lösung wiederum Wasser auf. Bei neuerlichem Entzug von Wasser aus der gesättigten Lösung kristallisiert zusätzliches Glaubersalz in den Poren aus. Voraussetzung für die damit verbundene Sprengwirkung ist aber, daß die Poren hinreichend mit Salz gefüllt sind und daß das für die Hydratation nötige Wasser von außen eindringen kann.

MORTENSEN (1933) errechnete bei einer Dichte des Na_2SO_4 von rund $2,70 \text{ g/cm}^3$ und des $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ von rund $1,49 \text{ g/cm}^3$ die Raumvermehrung beim Übergang von Na_2SO_4 in $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ zu 308 %, sie ist also weit größer als beim Gefrieren von Wasser.

NACKEN (1928) wies darauf hin, daß auch umgekehrt die beim Erhitzen über $32,7^\circ\text{C}$ durch Aufspalten von $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ in Na_2SO_4 und $10 \text{ H}_2\text{O}$ stattfindende Raumvermehrung eine starke Sprengwirkung ausübt, sofern die Lösung nicht schnell genug aus den Poren entweichen kann.

Im Unterschied zu den Versuchsbedingungen im Labor ist nach MORTENSEN (1933) bei natürlichen Verhältnissen zu beachten, daß die Temperatur des Übergangspunktes durch die Gegenwart anderer Salze erniedrigt wird (z.B. durch NaCl auf $17,9^\circ\text{C}$), aber auch, daß $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ an freier Luft bei 39°C schon in 20 Minuten entwässert werden kann.

OBERMILLER (1927) stellte fest, daß das gesamte Kristallwasser bei $24 - 25^\circ\text{C}$ abgegeben wird, wenn die relative Luftfeuchtigkeit unter 63 % liegt. WALZ (1943) bestätigte diese Feststellungen. Seine Versuche ließen ferner erkennen, daß in feuchter Luft das entwässerte Salz im Laufe der Zeit wieder das ganze Kristallwasser aufnimmt. Dieselben Vorgänge, die im Versuch zur Sprengwirkung führen, können sich also auch unter natürlichen Verhältnissen einstellen.

Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen wurden an jeweils 5 Würfeln ($5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$) aus jedem beprobten Steinbruch gemäß DIN 52111 durchgeführt. Sie wurden dazu nach Bestimmung ihres Trockengewichts in einem verschließbaren Gefäß in die Natriumsulfatlösung eingelagert, wobei die Sandsteinwürfel während der 1. Stunde zu 1/4, während der 2. Stunde zu 1/2 und während der nächsten 2 Stunden zu 3/4 ihrer Höhe in der Lösung standen. Anschließend blieben sie 20 Stunden lang vollständig von der Lösung bedeckt.

Nach insgesamt 24 Stunden wurden die Proben aus der Lösung genommen, abgetropft und 4 Stunden lang bei 105°C - 110°C in einem Trockenschrank gelagert. Danach wurden sie in einem Exsikkator über Chlorkalzium auf 20°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) abgekühlt. Die auf 20°C abgekühlten Würfel wurden bei der zweiten und allen weiteren Tränkungen so in die Natriumsulfatlösung gelegt, daß sie sofort vollständig von der Lösung bedeckt waren.

Die Proben blieben dann bei gleichbleibender Temperatur mind. 16 Stunden lang in der Lösung. Dieses Verfahren wurde bis zur 10-maligen Tränkung der Proben wiederholt. Während des Versuchs und nach Versuchsende erfolgte eine visuelle Beurteilung der Proben (Ergebnisse s. Tab. 11). Außerdem wurde der durch Absanden entstandene Gewichtsverlust ermittelt. Hierzu wurden die Proben zunächst so lange in fließendem Wasser gewaschen, bis nach viertelstündiger Lagerung in destilliertem Wasser in diesem keine oder nur unbedeutende Mengen von Sulfat nachweisbar waren. Der Nachweis erfolgte in schwach salzsaure Lösung mit Bariumchlorid. Die Proben wurden sodann bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C getrocknet. Aus der Gewichts-differenz zum Ausgangsgewicht wurde die Absandung (s. Tab. 3) berechnet. Die Ergebnisse stimmen mit der visuellen Beurteilung gut überein.

6.1.9 Druckfestigkeitsprüfung

Die Druckfestigkeit eines Baustoffes ist definiert als die maximal aufbringbare Druckkraft auf eine Probe je Flächeneinheit. Sie ist von zahlreichen Einflußgrößen abhängig. So sind nach DE QUERVAIN (1967) folgende Materialeigenschaften von ausschlaggebender Bedeutung:

1. Festigkeit der Einzelminerale (Spaltbarkeit und innere Störungen in Mineralbau, wie z.B. Zertrümmerungen, Spannungszustände),
2. Verwitterungsgrad der das Gestein zusammensetzenden Minerale,
3. Kornbindung (Art des Bindemittels, Art der Kornkontakte (Flächen- oder Punktkontakte)),
4. Inhomogenitäten (z.B. regelmäßig auftretende Bindungslücken wie Poren, auch Klüftchen, Haarrisse, Nähte usw.),
5. Korngrößenverteilung,
6. Verteilung und Orientierung der Mineralkomponenten im Ge-

Versuchsablauf
Kristallisations-Versuch Nr.

Geost.-Typ	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
1	--	--	angeraute Oberfläche	geringer Gewichts- verlust	wie 4.	kleine Risse sichtbar, Kanten abge- rundet, geringer Gewichts- verlust	geringer Gewichts- verlust	wie 7.	Kanten weiter abgerundet, Gewichts- verlust	weiterer Gewichts- verlust
2	--	--	--	--	--	gering angeraute Oberfläche	sehr gerin- ger Ge- wichtsverlust	wie 7.	eine Kante schwach abgerundet	geringer Gewichts- verlust
3	--	--	--	--	gering angeraute Oberfläche	angeraute Oberfläche, eine Kante abgerundet	Gewichts- verlust	wie 7.	zwei Kanten abgerundet, Gewichts- verlust	wie 9.
4	--	--	Kanten schwach abgerundet	angeraute Oberfläche, Gewichts- verlust	wie 4.	weiterer Gewichts- verlust, kleine Risse sichtbar	geringe Einbuchtung- en	weiterer Gewichts- verlust, Kanten weiter ab- gerundet	tiefe, läng- liche Ein- buchtungen (evtl. Fej- Schicht, da braune Farbe)	Gewichts- verlust
5	angeraute Oberfläche, Kanten abgerundet	stark angeraute Oberfläche, Gewichts- verlust	Zerfall in Sand und mirbe Sand- steinbrück- chen	weiterer Gewichts- verlust	weiterer Gewichts- verlust, un- ebene Flä- chen	größerer Gewichts- verlust	weiterer Gewichts- verlust	wie 7.	weiterer Gewichts- verlust	weiterer Gewichts- verlust
6	angeraute Oberfläche	stark ange- raute Oberfläche, geringer Gewichts- verlust	Gewichts- verlust	weiterer Gewichts- verlust	Kanten stark abge- rundet, un- ebene Flä- chen	einbuchtung- en verifor- m sich	Oberfläche sehr stark angeraut	wie 7.	weiterer Gewichts- verlust	weiterer Gewichts- verlust
7	--	Gewichts- verlust, Kanten abgerundet	Oberfläche rissig	eine Kante abgerundet, Oberfläche uneben	Gewichts- verlust, Kanten und Einbuchtungen	Einbuchtung- en verifor- m sich	Oberfläche sehr stark angeraut	eine der Proben löst sich in zwei Teile	keine opti- sche Erge- bnisse, weiterer Gewichts- verlust	wie 9.
8	--	--	angeraute Oberfläche	Gewichts- verlust, Kanten abgerundet	weiterer Gewichts- verlust	zwei Kanten abgerundet	auf zwei Flächen kleine Ein- buchtungen	keine opti- sche Verän- derungen	wie 8.	wie 9.

Tab. 11: Veränderung der Gesteinsproben im Verlauf der 10 Kristallisations-Versuche

Material zerfallen, keine weiteren

Keine makroskopisch erkennbaren
Veränderungen zu beobachten

steinskörper in Bezug auf die Beanspruchung und die dabei auftretenden Querdehnungen oder Gleitungen. Von größerer Bedeutung ist dieser Umstand bei den geschieferten Gesteinen, die reich an leicht spaltbaren oder zu inneren Gleitungen neigenden Mineralien (z.B. Glimmern) sind,

7. primär im Gestein vorhandene Spannungszustände.

Bestimmte Versuchsbedingungen können sich wie folgt auswirken: OPPERMANN (1966) stellte nach umfangreichen Untersuchungen an Kalksandsteinen fest, daß deren Druckfestigkeit in allen Fällen mit abnehmendem Feuchtigkeitsgehalt zunahm.

Einfluß auf die Druckfestigkeit hat auch die Form des Prüfkörpers. STINY (1929) und TIMMERS (1973) fanden heraus, daß bei gleichen Druckflächenquerschnitten ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang zwischen Prüfkörperhöhe und ermittelter Druckfestigkeit besteht. BUCHARTZ & SAENGER (1965) bestätigten diesen Befund nach Untersuchungen an Natursteinwürfeln.

Die Prüfung der Druckfestigkeit des in dieser Arbeit untersuchten Wealden-Sandsteins wurde im lufttrockenen Zustand gemäß DIN 52105 vorgenommen.

Die Druckfestigkeitsversuche wurden mit der Druckversuchsmaschine der Firma Mohr und Federhaff AG (Mannheim) mit einer Prüfkraft von 6000 kg in der Amtlichen Materialprüfanstalt für das Bauwesen Hannover durchgeführt.

Die Einzelwerte der Druckfestigkeitsversuche sind in Tab. 12 wiedergegeben.

Nach DIN 52100 beträgt die Mindestdruckfestigkeit für im Bauwesen verwendeten Quarzsandstein 30 N/mm^2 . Dieser Wert wird von allen geprüften Gesteinstypen mit Ausnahme des Nesselberg-Sandsteins a (Typ 5) überschritten. Die Tatsache, daß Nesselberg-Sandstein a trotz seiner geringen Festigkeit verbaut wurde, hängt wohl offensichtlich mit dessen guter Gewinnbarkeit und Bearbeitbarkeit zusammen.

6.1.10 Spaltzugfestigkeit

Um die Zugfestigkeit der Wealden-Sandsteine zu ermitteln, wurde der Spaltzugversuch durchgeführt. Hierbei handelt es sich um ein indirektes Verfahren zur Bestimmung der Zugfestigkeit. Er hat

Gesteins- typ	Einzelwerte	Mittelwert
1	78,74 78,74 95,06 82,01 80,78 86,47 95,32 94,79 84,98	89,81 86,67
2	140,76 124,85 106,08 114,65 112,61 107,11 124,29 112,12 141,53	116,70 120,07
3	89,76 89,35 93,02 91,80 90,17 90,98 90,17 93,43 88,94	90,17 90,78
4	64,46 74,66 93,02 69,77 85,68 87,31 68,95 73,85 84,86	70,58 77,31
5	16,32 24,89 23,66 28,56 25,70 26,52 25,30 23,26 27,72	24,07 24,60
6	33,46 37,94 35,50 38,76 37,13 37,94 39,98 35,90 37,54	35,09 36,92
7	28,56 45,70 42,02 42,84 33,05 41,21 39,98 44,88 42,02	46,92 40,72
8	68,14 72,62 67,32 70,18 71,40 69,77 73,03 68,54 70,55	71,40 70,30

Ergebnisse der Druckversuche nach DIN 52105 (σ_{dB} N/mm²)

Tab. 12

sich besser als der reine Zugversuch bewährt, da letzterer sowohl vom Aufwand bei der Probenvorbereitung als auch von der Qualität der Ergebnisse her nicht zufriedenstellend ist. Auch der Biegungsversuch, wie er früher durchgeführt wurde, eignet sich kaum, eine exakte Aussage über die wirkliche Zugfestigkeit einer Probe zu treffen, da das Prüfergebnis stark von der Querschnittshöhe der Prüfkörper (Balken) und von der Belastungsart und -anordnung abhängt (BONZL 1964).

Die Spaltzugfestigkeitsprüfung wurde in Japan und Brasilien bei der Suche nach einem einfachen und genauen Prüfverfahren entwickelt (AKAZAWA 1937; CARNEIRO 1941). Spätere wichtige Arbeiten wurden von CARNEIRO (1947), CARNEIRO & BARCELLOS (1949), WRIGHT (1952) und ZELGER (1956) veröffentlicht. Inzwischen hat sich das Verfahren nahezu weltweit durchgesetzt. Hierbei können die gleichen Probenformen und die gleichen Prüfmaschinen wie bei der Druckfestigkeitsprüfung verwendet werden.

Versuchsdurchführung

Die Prüfung erfolgte nach DIN 1048, wobei als Probekörper wie beim Druckfestigkeitsverfahren Würfel mit 5 cm Kantenlänge benutzt wurden:

Die Last wird über einen 5 mm breiten Streifen aus Hartfilz (= entsprechend 1/10 der Würfeldurchmesserbreite), der sich als Lastverteilungstreifen sehr gut bewährt hat (BONZEL 1964) aufgebracht (Abb. 9) und bis zum Spalten des Probekörpers gesteigert. Dabei ist die Last so zu steigern, daß die Spaltzugspannung im Probekörper je Sekunde um $0,05 \text{ N/mm}^2$ zunimmt.

Aus der erreichten Höchstlast ergibt sich die Spaltzugfestigkeit.

$$\beta_{SZ} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot b \cdot h} = \frac{0,64 \cdot P}{b \cdot h}$$

- h = Höhe des Prüfkörpers in mm²
- β_{SZ} = Spaltzugfestigkeit in N/mm²
- P = Bruchlast in N
- b = Breite des Prüfkörpers in mm.

Die Versuche wurden mit dem halbautomatischen Drucktester der Amtlichen Materialprüfanstalt für das Bauwesen an der Universität Hannover (Hersteller: Mannheimer Maschinenfabrik Mohr und

Federhaff AG; Prüfkraft 6000 kg) durchgeführt.

Die Einzelwerte der Spaltzugfestigkeitsversuche sind in Tab. 13 zusammengestellt.

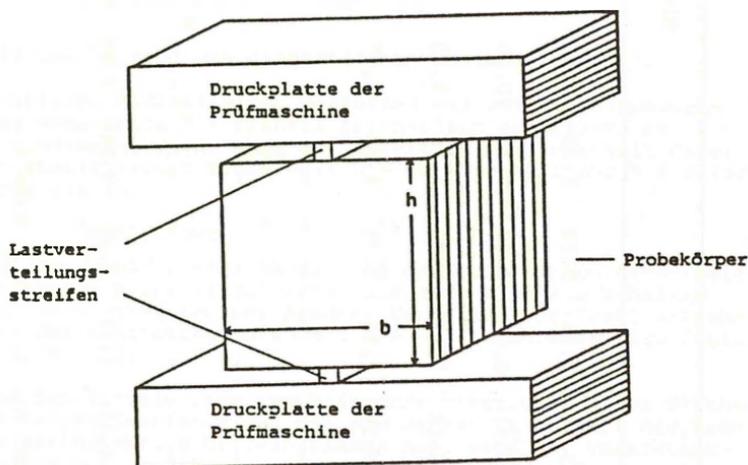


Abb. 9: Versuchsanordnung bei der Spaltzugprüfung

6.2 Statistische Auswertung der Druckversuche und der Spaltzugversuche

Bei allen statistischen Berechnungen wurde von einer Normalverteilung der einzelnen Meßdaten ausgegangen.

Aus einer Anzahl n Einzelmessungen ergeben sich die in Tab. 3 aufgelisteten arithmetischen Mittelwerte \bar{x} nach folgender Gleichung

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{\sum x}{n}$$

Die Streuung der Einzelwerte, auf die aus den Mittelwerten nicht geschlossen werden kann, wird durch die Standardabweichung s nach folgender Gleichung wiedergegeben:

$$s = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Aus dem Verhältnis Standardabweichung zum arithmetischen Mittelwert ergibt sich der Variationskoeffizient v (in %), der ein re-

Gesteins- typ	Einzelwerte															Mittelwert						
1	5,71	4,92	5,30	5,45	5,09	5,40	5,35	5,58	5,20	5,56	5,36	9,06	10,24	11,94	9,93	10,88	9,51	10,38	10,60	9,33	10,84	10,26
3	5,32	5,77	6,43	5,89	5,50	5,62	5,93	6,06	5,36	5,83	5,77	6,56	7,37	9,39	7,04	7,54	7,21	7,96	7,31	8,32	7,65	7,64
5	1,69	2,07	2,28	1,87	2,18	-	-	-	-	-	2,02	2,89	2,97	2,79	3,05	3,07	-	-	-	-	-	2,95
7	3,07	2,28	2,13	2,61	2,82	-	-	-	-	-	2,58	3,33	3,46	5,09	3,66	4,15	4,35	3,43	4,22	4,84	4,63	4,12

Ergebnisse der Spaltzugfestigkeit nach DIN 1048 Bl. 1 (B_{SZ} N/mm²)

latives Streuungsmaß mit dem Mittelwert als Einheit darstellt. Um relative Schwankungen der Meßwerte einzelner Versuchsreihen untereinander festzustellen, kann er als Vergleichsmaßstab benutzt werden.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad [\%]$$

In Tab. 14 und 15 sind die statistischen Werte aufgeführt.

Als theoretische Maßzahl wird, basierend auf der Standardabweichung, das sogenannte 5 %-Fraktile rechnerisch ermittelt. Es gibt die Grenzwerte x_{\min} , x_{\max} an, unterhalb bzw. oberhalb derer mit einer statistischen Sicherheit $S = 90\%$ jeweils nur 5 % aller Einzelwerte liegen.

$$x_{\min}, x_{\max} = \bar{x} \pm ts$$

Die Verteilungszahl t ist abhängig von der geforderten Sicherheit S und der Anzahl n der Einzelwerte. Sie läßt sich aus Tabellen über Signifikanzschranken der Student-Verteilung (t -Test) entnehmen, wobei der Freiheitsgrad $FG = v = n - 1$ angenommen wird (vgl. SACHS 1974: S. 111).

Da der aus den Einzelwerten resultierende Mittelwert \bar{x} der Stichprobe des Teilkollektivs nicht mit dem wahren Mittelwert der Probe des Gesamtkollektivs übereinstimmen muß, wird der Vertrauensbereich q des Mittelwertes ermittelt. Innerhalb der Grenzwerte \bar{x}_{\min} und \bar{x}_{\max} sind die wahren Mittelwerte der Probe mit einer statistischen Sicherheit von 90 % anzutreffen.

$$q = t \cdot s / \sqrt{n}$$

$$\bar{x}_{\min}, \bar{x}_{\max} = \bar{x} \pm ts$$

In Tab. 14 und 15 sind die Ergebnisse aufgelistet, in Abb. 10 und 11 graphisch dargestellt (5 % Fraktile der Einzelwerte und Vertrauensbereiche der Mittelwerte für $S = 90\%$).

Anhand der Vertrauensbereiche läßt sich abschätzen, ob sich zwei Mittelwerte mit einer statistischen Sicherheit signifikant unterscheiden. Wenn die Bereiche sich nicht überlappen, besteht ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte mit der statistischen Sicherheit, mit der die Vertrauensbereiche ermittelt wurden.

Für die Druckfestigkeitsversuche kann aus Abb. 10 entnommen werden, daß sich die Mittelwerte der Proben 2, 4, 5 und 8 mit statistischer Signifikanz voneinander unterscheiden, da sich die Vertrauensbereiche ihrer Mittelwerte nicht überdecken. Die Mittelwerte der Proben 1 und 3 sowie 6 und 7 sind nur mit einer Sicherheit $S < 90\%$ signifikant, da ihre Vertrauensbereiche sich jeweils überschneiden.

Gesteins- typ	\bar{x}	s	v	x_{\min}	x_{\max}	q	\bar{x}_{\min}	\bar{x}_{\max}
1	86,67	6,72	7,75	74,37	98,97	± 3,89	82,78	90,56
2	120,07	12,70	10,58	96,83	143,31	± 7,35	112,72	127,42
3	90,78	1,52	1,67	88,00	93,56	± 0,88	89,90	91,66
4	77,31	9,60	12,42	59,74	94,88	± 5,56	71,75	82,87
5	24,60	3,38	13,74	18,41	30,79	± 1,96	22,91	26,56
6	36,92	1,93	5,23	33,39	40,45	± 1,12	35,80	38,04
7	40,72	5,73	14,07	30,23	51,21	± 3,32	37,40	44,04
8	70,30	1,89	2,69	66,84	73,76	± 1,09	69,21	71,39

Statistische Werte zum Druckversuch (σ_{dB} N/mm²)

Tab. 14

Gesteins- typ	\bar{x}	s	v	x_{\min}	x_{\max}	q	\bar{x}_{\min}	\bar{x}_{\max}
1	5,36	0,24	4,46	4,92	5,79	$\pm 0,14$	5,22	5,50
2	10,26	0,86	8,37	8,69	11,83	$\pm 0,50$	9,76	10,76
3	5,77	0,34	5,84	5,15	6,39	$\pm 0,20$	5,57	5,97
4	7,64	0,78	10,27	6,20	9,07	$\pm 0,50$	7,14	8,14
5	2,02	0,24	11,75	1,51	2,53	$\pm 0,23$	1,79	2,25
6	2,95	0,12	3,89	2,69	3,20	$\pm 0,11$	2,84	3,06
7	2,58	0,39	14,96	1,74	3,40	$\pm 0,37$	2,21	2,95
8	4,12	0,63	15,25	2,97	5,27	$\pm 0,36$	3,76	4,48

Statistische Werte zum Spaltzugfestigkeitsversuch (β Sz N/mm²)

Tab. 15

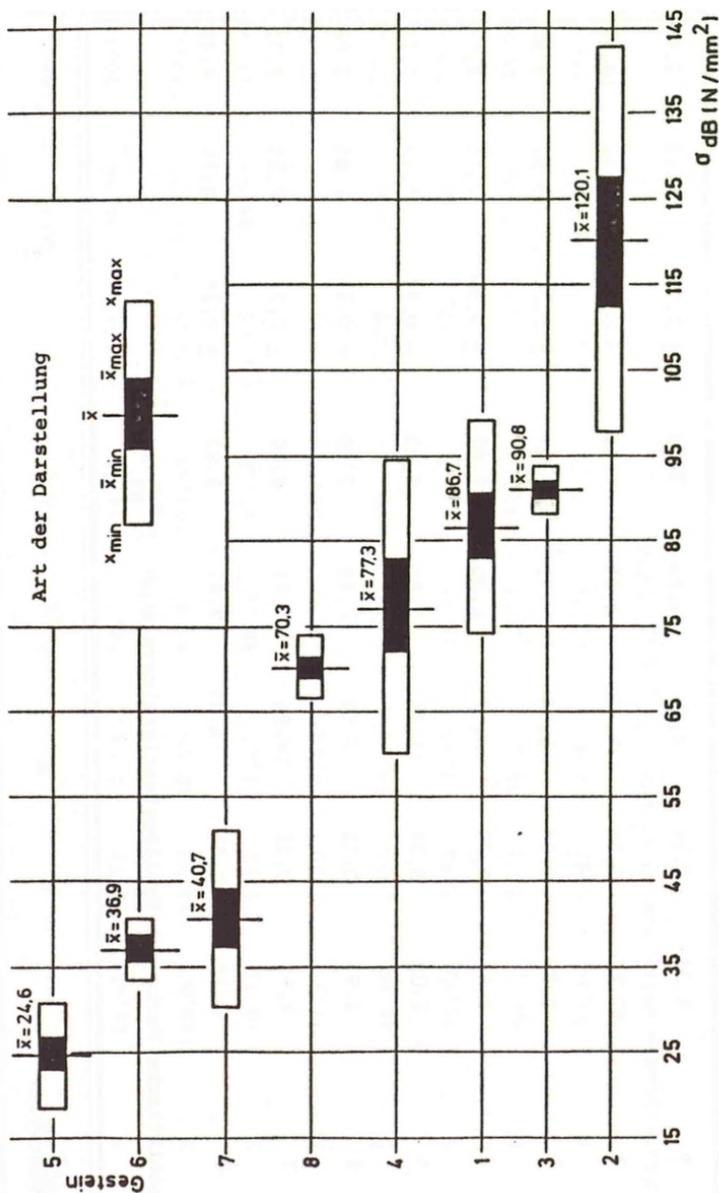


Abb. 10: 5 % Fraktile der Einzelwerte und Vertrauensbereiche für die Mittelwerte der Druckversuche bei $S = 90$ %

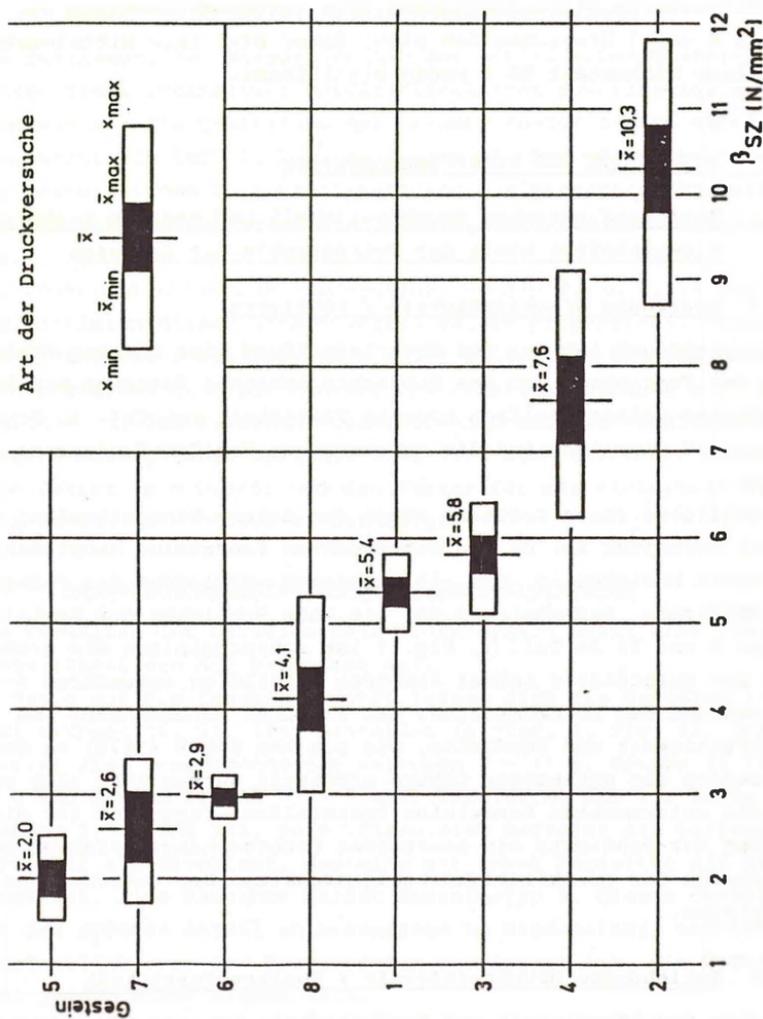


Abb. 11: 5 & Fraktile der Einzelwerte und Vertrauensbereiche für die Mittelwerte der Spaltzugversuche bei $S = 90\%$

Wie aus Abb. 11 für die Spaltzugfestigkeit zu ersehen ist, haben die Proben 1, 2, 3, 4, 5 und 8 statistisch signifikante Mittelwerte mit 90 %iger Sicherheit, da sich die Vertrauensbereiche der Mittelwerte nicht überlappen. Die Vertrauensbereiche der Proben 6 und 7 überschneiden sich, daher sind ihre Mittelwerte bei einer Sicherheit 90 % wenig signifikant.

7. DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE

7.1 Beziehung zwischen Druckfestigkeit und anderen technischen Eigenschaften sowie der Petrographie der Gesteine

7.1.1 Beziehung Druckfestigkeit / Rohdichte

An Natursteinen ist aus der Materialprüfung eine direkte Abhängigkeit der Festigkeit von der Rohdichte bekannt: Gesteine mit höherer Dichte weisen vielfach bessere Festigkeit auf. Taf. 1, Fig. 1 zeigt, daß dies auch auf die untersuchten Wealden-Sandsteine zutrifft.

Die Rohdichte eines Gesteins hängt von seinem Mineralbestand und seiner Porosität ab. Da die untersuchten Sandsteine hauptsächlich aus Quarz bestehen (s. Tab. 1), bestimmt vorwiegend die Porosität die Rohdichte. Entscheidend für die hohe Rohdichte der Gesteinsgruppe I und II in Taf. 1, Fig. 1 ist wahrscheinlich die große Zahl der quantitativ schwer faßbaren Anteile an sekundären Anwachssäumen und Kornkontakten. Ein linearer Zusammenhang von Druckfestigkeit und Rohdichte, wie sie von SAUER (1975) an den Varietäten des Harzburger Gabbro ermittelt wurden läßt sich auch für die untersuchten Sandsteine feststellen. Insgesamt ist die Prüfung der Rohdichte ein geeignetes Untersuchungsverfahren zur Voraussage der Druckfestigkeitseigenschaften der untersuchten Sandsteine.

7.1.2 Beziehungen Druckfestigkeit / Spaltzugfestigkeit

Zwischen Druckfestigkeit und Zugfestigkeit besteht ein guter Zusammenhang (s. Taf. 1, Fig. 2), da für beide Parameter die Kornbindung ausschlaggebend ist. Gesteine mit guten Druckfestigkeits-

werten weisen daher auch gute Spaltzugfestigkeitseigenschaften auf.

7.1.3 Beziehung Druckfestigkeit / Wasseraufnahme

Die Bestimmung der Wasseraufnahme der untersuchten Gesteine erbringt trotz apparativer Unzulänglichkeiten zuverlässigere Ergebnisse als die Ermittlung der Gesamtporositäts- und Sättigungswerte. In Taf. 1, Fig. 3, 4 sind die Druckfestigkeitswerte der Gesteinstypen in Abhängigkeit von den Wasseraufnahmewerten bei Atmosphärendruck bzw. bei 150 bar einzelner Proben aufgetragen.

Der Gesteinstyp 2 mit dem niedrigsten und die Typen 1,3,4 und 8 mit mittleren Wasseraufnahmewerten zeigen proportional bessere Druckfestigkeit. Die Typen 5,6 und 7 weisen bei höheren Wasseraufnahmewerten auch schlechtere Druckfestigkeitswerte auf. Daraus ergibt sich, daß zwischen Wasseraufnahme und Druckfestigkeit eine lineare Abhängigkeit besteht. Dies wird auch durch den Korrelationsfaktor ($r = 0,945$) und den Faktor für die Sicherheit der Korrelation ($s = > 99,9 \%$) bestätigt.

7.1.4 Beziehung Druckfestigkeit / Gesamtporosität

Das Verhalten der Gesteine beim Druckversuch weist eine gewisse Abhängigkeit von der Porosität auf.

In Bezug auf die Gesamtporosität lassen sich die Gesteine in drei Gruppen (I, II, III) einteilen (s. Taf. 1, Fig. 5). Gruppe I weist eine Gesamtporosität zwischen 9 - 11 %, Gruppe II 15 - 17 % und Gruppe III 23 - 27 % auf. Vergleicht man die Werte der Gruppen I, II und III, so erweisen sich Gesteine mit geringer Porosität als druckfest, Gesteine mit hoher Porosität als nicht druckfest. Eine Ausnahme bildet Gesteinstyp 8. Dieses Gestein hat den größten Anteil an Brauneisen im Bindemittel, wodurch offensichtlich zwar das Porenvolumen verringert ist, die Festigkeit jedoch nicht erhöht wird.

7.1.5 Beziehung Druckfestigkeit / Kristallisationsversuch

In Taf. 1, Fig. 7 sind die Druckfestigkeitswerte der Gesteinsty-

pen gegen die Kristallisationswerte aufgetragen. Daraus geht hervor, daß die Druckfestigkeit mit zunehmender Kristallisationsabsplitterung abnimmt. Wie schon in anderen Kapiteln erwähnt, sind höhere Kristallisationsabsplitterung und niedrige Druckfestigkeit abhängig vom Volumen und von der Gestalt des Porenraums sowie dem Anteil an mittelbaren Kornkontakten.

7.1.6 Beziehung Druckfestigkeit Frost-Tau-Wechsel-Versuche

Wie Taf. 1, Fig. 8 zeigt, stehen die Ergebnisse der Frost-Tau-Wechsel-Versuche in direktem Zusammenhang mit der Druckfestigkeit des Gesteins. Aufgrund technischer Schwierigkeiten war es nur möglich, vier Gesteinsproben auf ihre Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit zu untersuchen. Der Korrelationsfaktor ($r = -0,95$) und der Faktor für die Sicherheit der Korrelation ($s = 95\%$) bestätigen, daß ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Versuchsergebnissen besteht.

7.1.7 Beziehung Druckfestigkeit / Mineralbestand

In Taf. 1, Fig. 9 sind die Druckfestigkeitswerte der Sandsteintypen in Abhängigkeit vom Quarzgehalt aufgetragen. Danach enthält zwar Gesteinstyp 5 mit dem schlechtesten Druckfestigkeitswert mehr Quarz als Gesteinstyp 1 mit dem drittbesten Druckfestigkeitswert, doch scheint ansonsten, eine allerdings undeutliche, direkte Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom Quarzgehalt zu bestehen. Die auffällige Abweichung läßt sich wie folgt erklären: Bei der Dünnschliffanfertigung können künstliche Porenräume entstehen, die u.d.M. von im Gestein vorhandenen natürlichen Porenräumen nicht zu unterscheiden sind. Poren, deren Entstehung unklar war, wurden für die quantitative Bestimmung des Mineralbestandes nicht ausgewertet. Dadurch ist der ermittelte Porenanteil zu gering, der Anteil der übrigen Komponenten dagegen zu groß. Insbesondere wird ein zu hoher Quarzgehalt vorgetäuscht.

Aus der Porositätsbestimmung (Tab. 3) ergibt sich, daß bei den Gesteinstypen 5, 6 und 7 um etwa 10 - 15 % höhere Porenanteile bestimmt wurden als bei den Typen 1, 2, 3, 4 und 8. Unterstellt man, daß es sich dabei um natürliche Poren handelt, die bei der

mikroskopischen Auswertung nicht erfaßt werden konnten, so muß der Anteil an Quarz, als der weitaus häufigsten Gesteinskomponente, um diesen Prozentsatz erhöht werden. Dann wird die Abhängigkeit zwischen Quarzgehalt und Druckfestigkeit deutlicher.

Gesteine mit etwa gleichen Bindemittelanteilen (Tab. 1) können sowohl gute als auch schlechte Druckfestigkeitseigenschaften aufweisen. Die mikroskopische Bestimmung der Bindemittelanteile unterlag den gleichen Schwierigkeiten wie die des Quarzanteils. Die Bindemittelanteile lassen daher ebenfalls keinen Rückschluß auf die Druckfestigkeit zu. Alle übrigen Bestandteile sind mengenmäßig unbedeutend und daher ohne Einfluß auf die Gesteinsfestigkeit.

7.1.8 Beziehung Druckfestigkeit / Gefügeeigenschaften

Bei den untersuchten Wealden-Sandsteinen lassen sich drei verschiedene Gefügearten unterscheiden: sie werden nur qualitativ erfaßt:

1. Gesteinstyp 2 und 3 stellen eine Gruppe dar, die sich durch starke Verzahnung und viele unmittelbare Kornkontakte der einzelnen Mineralkörner auszeichnet. Weitergewachsene idiomorphe bis xenomorphe Quarzkörner bilden oft ein sehr intensiv verzahntes Gerüst, dessen geringer Porenanteil durch Bindemittel ausgefüllt wird. Dichtgefügtes Korngerüst und versteifende Wirkung des Bindemittels verleihen den Gesteinen dieses Typs hohe Zähigkeit und gute Festigkeit.
2. Die Gesteinstypen 1,4 und 8 weisen auch Verzahnungen und unmittelbaren Kornkontakt der einzelnen Mineralkomponenten auf, aber nicht so ausgeprägt wie die Gesteinstypen 2 und 3. Die Mineralkörner sind hauptsächlich durch Bindemittel verbunden. Nur wenige Quarzkörner weisen sekundäre Anwachssäume auf. Deswegen ist die Druckfestigkeit niedriger, aber immer noch gut.
3. Bei den Gesteintypen 5,6 und 7 treten Verzahnung und unmittelbare Kornkontakte zwischen Mineralkörnern nur vereinzelt auf. Die Mineralkörner haben überwiegend mittelbaren Kontakt. Der Porenraum ist groß. Diese Anordnung erleichtert die Ausbildung von Scher- und Bruchflächen an den Korngrenzen und ist Ursache für das schlechtere Verhalten dieser Gesteine beim Druckversuch.

Im Gegensatz zu den beschriebenen Eigenschaften läßt sich die Korngrößenverteilung wie deren Medianwert quantitativ beschrei-

ben. Beide Parameter eignen sich deshalb zum Vergleich mit den Meßwerten anderer Gesteinsparameter. Ein Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und mittlerer Korngröße ließ sich nicht erkennen.

7.2 Beziehungen zwischen Spaltzugfestigkeit und anderen technischen Versuchen sowie der Petrographie der Gesteine

Entscheidend für das Verhalten der Gesteine bei den Spaltzugfestigkeitsversuchen ist vor allem Art des Bindemittels sowie Korngröße und Kornrundung. Insgesamt zeigen die Spaltzugfestigkeitswerte der Gesteine zu den Werten der Porosität, der Sättigung und des Kristallisations-Versuches eine ähnlich gute Korrelation wie zu den Druckfestigkeitswerten.

Qualitativ hochwertige Gesteine besitzen Kornbindungen, die eine direkte und gute Verknüpfung der Komponenten gewährleisten. Das Gefüge sollte eine ausreichende Verzahnung und Verstrebung der Bestandteile aufweisen; mögliche Inhomogenitäten, die die Zugfestigkeit des Gesteinsverbandes herabsetzen, sollten fehlen.

Aus Taf. 2, Fig. 2 ist zu entnehmen, daß die Spaltzugfestigkeitswerte mit zunehmender Rohdichte annähernd linear steigen. Die Gesteinstypen 5, 6, und 7 mit ihrem "lockeren" Gefüge besitzen niedrige Spaltzugfestigkeits- und Dichtewerte. Dagegen zeigen Proben 2, 4, 3 und 1 und 8 insgesamt gute Spaltzugfestigkeit. Dieses ist auf gute Kornbindung und Verzahnung der Komponenten zurückzuführen. Die Wasseraufnahmewerte zeigen ebenfalls eine fast lineare Abhängigkeit zu den Spaltzugfestigkeitswerten (Taf. 2, Fig. 5). Aus der Gegenüberstellung beider Versuche ergibt sich ein Korrelationsfaktor von $r = -0,95$ %. Zwischen Porositäts-, Sättigungsgrad-, Kristallisations- und Spaltzugfestigkeitswerten besteht keine eindeutige Abhängigkeit (Taf. 2, Fig. 3, 4).

Der Mineralbestand der untersuchten Gesteine scheint keinen Einfluß auf die Spaltzugfestigkeit zu haben (vgl. 7.1.7).

7.3. Beziehung Gesamtporosität / Kristallisationswerte

Die Werte der Gesamtporosität und der Kristallisations-Versuche zeigen zueinander gute Korrelation, vermutlich weil sie über die vom Porenaufbau abhängigen Größen Saugeigenschaft, Porenanteil und Porendurchmesser miteinander verknüpft sind (Taf. 3, Fig. 2). Gesteinstyp 5 macht hier eine Ausnahme: Trotz eines etwas besseren Gesamtporositätswertes als bei Typ 6 weist er einen wesentlich schlechteren Kristallisationswert auf. Sehr wahrscheinlich ist dies auf sehr lockere Kornbindung zurückzuführen, die so schwach ist, daß das Gestein bereits in der Hand leicht zerbröckelt (vgl. 4.3.5).

7.3.1 Beziehungen Gesamtporosität / Wasseraufnahme

Gesamtporosität und Wasseraufnahme sind positiv korreliert ($r = 0,86$). Lediglich die Gesteinstypen 3 und 8 bilden mit geringen Porositäts-, aber relativ hohen Wasseraufnahmewerten Ausnahmen (Taf. 3, Fig. 1). Die Ursache könnte darin liegen, daß bei der Porosität das Gesamtporenvolumen gemessen wird, während bei der Wasseraufnahme nur die von der Oberfläche erreichbaren offenen Poren mit Wasser gesättigt werden. Generell ist zu vermuten, daß die Proben Hohlräume besitzen, in die Wasser nicht eindringen kann. Proben 3 und 8 könnten einen höheren Anteil an von außen erreichbarem Porenraum enthalten.

Die Bestimmung der Wasseraufnahme führt nur zu annähernd genauen Werten. Das zeige FITZNER (1970), indem er Gesteinsproben bis zur Gewichtskonstanz in Wasser lagerte. Diese Gewichtskonstanz trat erst nach etwa 800 Tagen ein. Zahlreiche Gesteine, die nach 24 Stunden (normale Versuchszeit der Wasseraufnahme nach DIN 52103) deutlich unter der 0,5 %-Grenze lagen, kamen nach etwa 800 Tagen weit über die 0,5 %-Grenze. Wahrscheinlich war die Zeit von 24 Stunden für das Eindringen des Wassers in alle vorhandenen Poren zu kurz. FITZNER stellte außerdem eine Abhängigkeit der Wasseraufnahme von Größe und Gestalt der Probenkörper fest. Er untersuchte kubische Probekörper verschiedener Kantenlänge. Die Unter-

suchungen ergaben, daß Gesteine gleicher petrographischer Beschaffenheit, aber verschiedener Probenkörpergröße unter gleichen Umweltbedingungen verschiedene Wasseraufnahmewerte erzielten, was zu verschiedenen Ergebnissen unter Frostbelastung führte.

7.4. Beziehung zwischen Frost-Tau-Wechsel-Versuchen und anderen technischen Versuchen

Auch zwischen Frost-Tau-Wechsel-Versuchen und anderen technischen Versuchen konnten Beziehungen nachgewiesen werden. Eine besonders starke Abhängigkeit zwischen Frost-Tau-Wechsel-Versuch und Rohdichte zeigen die Gesteinstypen 1, 2, 3, 8, an denen Frost-Tau-Wechsel-Versuche gemacht worden waren. Gesteinstyp 2 erbringt mit höchster Rohdichte einen sehr geringen Absplitterungswert, Typ 8 mit kleinster Rohdichte die höchsten Absplitterungswerte (Taf. 3, Fig. 3). Es bleibt allerdings die Frage, ob eine Auswahl von nur vier Proben aussagekräftige Beurteilungen zuläßt. Ebenfalls besteht eine Beziehung zwischen Wasseraufnahme und Frost-Tau-Wechsel (Taf. 3, Fig. 4). Gesteine mit niedrigen Wasseraufnahmewerten weisen auch niedrige Absplitterungswerte ($r = 0,98$ und $S = > 95 \%$) auf.

Beziehungen zwischen Sättigung, Gesamtporosität und Verhalten im Frostversuch ließen sich nicht nachweisen. Auch zwischen Mineralzusammensetzung und Frostbeständigkeit konnte keine lineare Korrelation festgestellt werden.

8. SAUGVERMÖGEN DER WEALDEN-SANDSTEINE

Als weitere Materialeigenschaft wurde die kapillare Steighöhe für Wasser geprüft. Für diese Untersuchung existieren in der Natursteinprüfung keine standardisierten Versuchsvorschriften. Vergleichbare Versuche wurden unter anderem von WALZ (1967) durchgeführt.

Zur Messung des Saugvermögens von Gesteinen wurden in dieser Arbeit Probewürfel (Seitenlänge 5 cm) 1 cm tief in ein Bad mit

destilliertem Wasser getaucht. Der Wasserspiegel wurde konstant gehalten und 30 Minuten lang der Aufstieg des Kapillarsaumes über den Wasserspiegel beobachtet. Der Anstieg des Kapillarsaumes innerhalb des Prüfkörpers ist nicht gleichmäßig. Deswegen wurden mit einem Bleistiftstrich auf einer Würfelfläche Mittellinien markiert und daran die Höhe des Kapillarsaumes über dem Wasserspiegel abgelesen.

Die Gesteinstypen 1 und 8 weisen bedeutend niedrigere kapillare Steighöhen auf als die anderen Gesteinstypen (s. Abb. 12).

Probe 2 besitzt eine noch niedrigere kapillare Steighöhe als die Proben 1 und 8. Ursache dafür ist möglicherweise die feste Verwachsung der Quarzkörper in dieser Probe, die das Stützgerüst der Sandsteine bilden.

GRUNERT (1971) untersuchte bei vergleichbarer Versuchsanordnung einen grobkörnigen Sandstein mit mittelbarem Kornkontakt und hohem Anteil an Quarzverwachsungen, also ein festeres Gestein, und einen feinkörnigen Sandstein mit tonigem Bindemittel. Dabei beobachtete er im feiner körnigen Sandstein eine bedeutend niedrigere kapillare Steighöhe als im grobkörnigen Sandstein. Als Erklärung hierfür gab er an, daß die Quarzkörner, die das Stützgerüst der Sandsteine bilden, fest miteinander verwachsen sind, während das tonige Zwischenmittel teilweise die Zwischenräume und Kornzwickele ausfüllt. Beim Durchfeuchten quillt die tonige Substanz und dichtet den Porenraum des Gesteins ab. Außerdem umgeben sich Tonpartikel mit einer Hydrathülle und halten so das Wasser fest.

Aus seinen Versuchsergebnissen schloß GRUNERT folgendes für die Verwitterungsbeständigkeit von Werk-Sandstein:

In Sandsteinen mit geringer kapillarer Steighöhe, die stauender Nässe ausgesetzt sind, konzentriert sich das gesamte Wasserangebot auf ein engbegrenztes Gesteinsvolumen. Da der Porenraum vollständig ausgefüllt ist, wird deswegen bei Frost das Gestein gesprengt. In einem Sandstein mit großer kapillarer Steighöhe ver-

teilt sich das gleiche Wasserangebot auf ein größeres Gesteinsvolumen. Der Porenraum wird unvollständig mit Wasser gefüllt, das Material hält auch bei Frost stand. Für GRUNERT lag die Schlußfolgerung nahe, daß alle Sandsteine mit Feinkornanteil und tonigem Bindemittel im Bereich aufsteigender Nässe verwitterungsgefährdet sind. Im Gegensatz dazu weist der in dieser Arbeit untersuchte Wealden-Sandstein Überwiegend Quarzverwachsungen und somit gute Kornbindung auf. Da wenig toniges Bindemittel vorhanden ist, entsteht bei Wasseraufnahme keine größere Behinderung des kapillaren Wasseraufstieges durch Quellung.

Die kapillare Steighöhe der untersuchten feinkörnigen Wealden-Sandsteine mit wenig tonigem Bindemittel ist höher als die kapillare Steighöhe in den von GRUNERT bearbeiteten feinkörnigen Sandsteinen mit viel tonigem Bindemittel.

Auch für die feinkörnigen Wealden-Sandsteine besteht daher bei stauender Nässe keine große Frostsprengungsgefahr, weil anzunehmen ist, daß hier, wie bei den grobkörnigen Sandsteinen, die Poren nicht vollständig gefüllt sind.

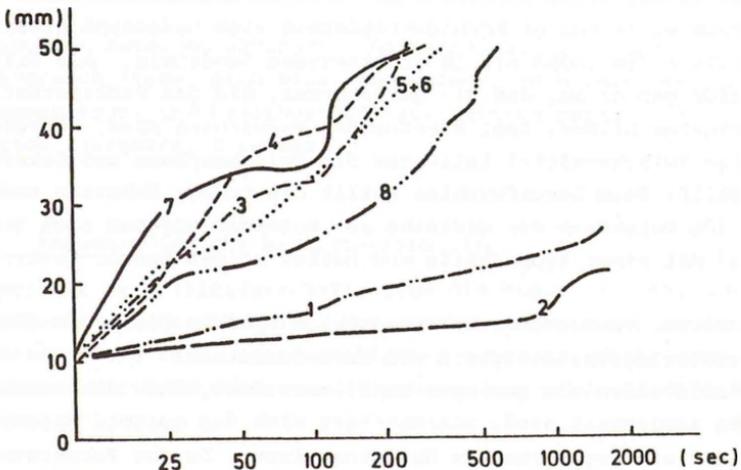


Abb. 12: Graphische Darstellung des kapillaren Wasseraufstieges in Abhängigkeit von der Zeit an Sandsteinwürfeln

9. BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN WEALDEN-SANDSTEINE

Gemäß dem wichtigsten Gefügemerkmal (Kornbindung) und den technischen Eigenschaften (Druckfestigkeit; Spaltzugfestigkeit; Gesamtporosität; und Sättigungswert) der untersuchten Wealden-Sandsteine wurden die Gesteinsproben nach ihrer Brauchbarkeit als Werkstein auf Tab. 16 dargestellt und bewertet.

Die Reihenfolge der Gesteinstypen richtet sich vor allem nach den Druckfestigkeitswerten.

Gest.-Typ	Beurteilung	Druckfestigkeit (N/mm ²)	Spaltzugfestigkeit (N/mm ²)	Gesamtporosität (%)	Sättigungswert (-)	Visuelle Beurteilung der Kornbindung
2	sehr gut	120,1	10,3	9,8	0,58	flächenhaft, z.T. punktförmig verzahnt; selten schwach suturiert
3	gut	91,8	5,8	9,9	0,65	flächenhaft und punktförmig verzahnt
1	gut	87,7	5,4	16,4	0,60	punktförmig, z.T. flächenhaft verzahnt
4	gut	77,3	7,6	15,0	0,59	punktförmig, sehr selten flächenhaft verzahnt
8	gut	70,3	4,1	10,6	0,58	punktförmig, sehr selten flächenhaft verzahnt
6	befriedigend	36,9	3,0	26,0	0,71	sehr selten punktförmig flächenhaft verzahnt
5	unbrauchbar	24,6	2,0	24,6	0,71	sehr selten punktförmig verzahnt

Tab. 16: Beurteilung der untersuchten Wealden-Sandsteine nach deren wichtigsten gesteintechnischen und petrographischen Eigenschaften

10. ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN

- AKAZAWA, T. (1953): Méthode pour l'essai de traction des bétons.- RILEM-Bulletin, 16: 13-23; Paris.
- BLATT, H. (1967): Original characteristics of clastic quartz grains.- J. sedim. Petrol., 37: 401-424; Tulsa.
- BONZEL, J. (1963): Über die Biegezugfestigkeit des Betons; - Beton, 13(4): 179-182; 13(5): 227-232; Düsseldorf (Betonverlag).
- " (1964): Über die Spaltzugfestigkeit des Betons. Beton-techn. Ber. 3: 108-114; 4:150-157; Düsseldorf (Betonverlag).
- BUCHARTZ, H. & SAENGER, G. (1963): Der Einfluß der Probengröße und Probenform auf die Ergebnisse der Prüfung von Naturgesteinen auf Druckfestigkeit.- Der Straßenbau, 16, (22. Jg.), 149 S.; Berlin.
- BUTTERWORTH, B. (1964): The Frost Resistance of Bricks and Tiles. A Review. - J. brit. ceram. Soc.; 1(2): 203-236; Shelton.
- CARNEIRO, F. (1947): Une nouvelle méthode d'essai pour déterminer la résistance à la traction du béton.- Paris Reunion des Laborat. d'Essai de Matériaux; 237-249; Paris.
- CARNEIRO, F. & BARCELLOS, A. (1949): Résistance à la Tractions de Bétons. - Broschüre d. Institut National de Technologie; 142 - 148; Rio de Janeiro.
- CAROZZI, A.-V. (1960): Microscopic Sedimentary Petrography.-485 S.; New York-London (J.Wiley Sons).
- CHITSATZIAN, H.-A. (1977): Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Gesteinsaufbau und technologischen Eigenschaften an Basalten. - Unveröff.Dipl.-Arb. techn. Univ. Hannover; 57 S; Hannover.
- EISSELE, K. (1957): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Buntsandstein des Nordschwarzwaldes.-Jh.geol. Landes-Amt Baden-Württemberg; 2: 69-117; Freiburg
- FITZNER, B. (1970): Die Prüfung der Frostbeständigkeit von Naturstein.-Geol. Mitt., 10: 205-296, 38 Abb., 12 Tab., 3 Taf.; Aachen.
- FOLK, R. (1951): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. - J. Geol., 62: 344-359; Chicago.
- FRIEDMAN, G.M. (1958): Determination of sieve-size distribution from thin section data for sedimentary petrological studies. - J. Geol., 66 (4): 394-416; Chicago.
- FÜCHTBAUER, H. (1959): Zur Nomenklatur der Semimentgesteine.- Erdöl u. Kohle, 12: 605-613; Hamburg.

- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): Sedimente und Sedimentgesteine in : Sedimentpetrologie, II, (3. Aufl.: 384 S., 341 Abb., 70 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- GRAUPNER, A. (1952): Nutzbare Sandsteine und Schiefertone im Wealden von Hannover. - Z. deutsch. geol. Ges., 103: 406-408, 2 Tab.; Hannover.
- GRUNERT, S. (1972): Ein Beitrag zur Bewertung von Sandsteinen für bautechnische Zwecke. - Wiss. Z. Hochsch. Architekt.u.Bauwes., 18: 365-368; Weimar.
- GRUPE, O. (1933): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarter deutscher Länder, Blatt Stadt-hagen. - 330. Lief.: 50 S.; Berlin. - (heut.Blatt-Nr. 3621).
- " (1933): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarter deutscher Länder, Blatt Bücke-berg, - 330 Lief.: 69 S.; Berlin. - (heut. Blatt-Nr. 3720)
- HARTMANN, E. (1964): Frostprüfverfahren von Beton.- Beton, 14 (12): 543-549; Düsseldorf.
- HEALD, M.-T. (1950): Authigenesis in West Virginia sandstones. - J.Geol., 58: 624-633; Chicago.
- HEGAZI, M.-E. (1970): Lithologische Untersuchungen im Unteren und Mittleren Wealden im SE-Teil des Süntel. - Un-veröffl. Dipl.-Arb. techn. Hochschule Hannover; 87 S.; Hannover.
- HENNINGSSEN, D. (1977): Petrographische Untersuchungen als Hilfs-mittel zur Beurteilung des Verschleißverhaltens von Straßenbaumaterial. - Gießener geol. Schr.; 12: 109-122; Gießen.
- HENNINGSSEN, D., HOPPE, F. & VOGLER, H. (1978): Beziehungen zwi-schen Gesteinsausbildung und Frostverhalten bei Sandsteinsplitten aus Nordrhein-Westfalen. - Die Na-turstein-Industrie, 1978(6): 13-18; Baden-Baden.
- HIRSCHWALD, D.J. (1908): Die Prüfung der natürlichen Baustoffe auf ihre Wetterfestigkeit. - 675 S.; Berlin (W.Ernst & Sohn).
- " (1910): Bautechnische Gesteinsuntersuchungen. - Mitt. mineral. geol. Inst. kgl. techn. Hochsch. Berlin; 457 S.; Berlin.
- " (1911): Bautechnische Gesteinsuntersuchungen. - Mitt. mineral. geol. Inst. kgl. techn. Hochsch. Berlin 2; 187 S.; Berlin.
- " (1912): Handbuch der bautechnischen Gesteins-prüfung. - 923 S.; Berlin (Bornträger).
- HOPPE, F. (1978): Beziehungen zwischen Gesteinsausbildung und Frostverhalten von Splitt, untersucht an Grauwacke-Sandsteinen des Bergischen Landes. - Unveröffl.Dipl.-Arb. techn. Univ. Hannover; 61 S.; Hannover.

- HOPPE, W. (1926-1927): Beiträge zur Geologie und Petrographie des Buntsandsteins im Odenwald. - Notizbl. Ver. Erdk. u. hess. geol. Landesamt zu Darmstadt; II Petrographie; 1.: Die Struktur des Buntsandsteins und ihre Beziehungen zur Einkieselung und Bleichung 5. Folge, 9:79-103; 2.: Die Gemengteile des Buntsandsteins und der Gesteine der einzelnen Buntsandsteinstufen - 5. Folge, 10: 55-105; Darmstadt.
- HORN, D. (1965): Diagnose und Porosität des Doggerbeta-Hauptsandsteins in den Ölfeldern Plön-Ost und Preetz.- Erdöl u. Kohle, 18: 249-255; Hamburg.
- JÜRGENS, U. (1972): Sedimentologie der Wealdensandsteine im Hannoverischen Bergland (NW-Deutschland).- Diss. Univ. Hamburg; 164 S., 34 Abb., 19 Taf., 12 Tab.:Hamburg.
- KEMPER, E. (1973): Das Berrias (tiefe Unterkreide) in NW-Deutschland. Geol.Jb. A9: 47-67, 2 Tab.; Hannover.
- KESSLER, D.W. & SLIGH, W.H. (1927): Physical Properties of the Principal Commercial Limestones Used for Building Construction in the United States.- Technol. Paper Bureau of Standards (Vol.21) Nr. 349: 543-545; Washington.
- KÖSTER, E. (1964): Granulometrische und morphometrische Meßmethoden an Mineralkörnern, Steinen und sonstigen Stoffen. - 336 S.; Stuttgart (Enke).
- LEHMANN, H. & OHNEMÜLLER, W. (1960): Die Bestimmung der Frostempfindlichkeit poröser keramischer Werkstoffe mit Hilfe physikalischer Meßgrößen. - Tonind.-Ztg., 84 (Nr. 19): 457 - 471; Goslar.
- MAASS, U.-W. (1980): Gesteinstechnische und petrographische Untersuchungen an Graniten des Bayerischen Waldes.-Unveröffl. Dipl.-Arb. Univ. Hannover; 55 S.; Hannover.
- MORTENSEN, H. (1933): Die Salzsprengung und ihre Bedeutung für die regionalklimatische Gliederung der Wüsten. - Petermanns Mitteilungen aus Justus Perthes geographischer Anstalt, 79, (D): 130 S.; Gotha.
- MÜLLER, G. (1964): Methoden der Sedimentuntersuchung. - 303 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- NACKEN, (1928): Bericht über neuere Untersuchungen.-Zement, 17; 1236 S.; Charlottenburg.
- NARJES, A. (1953): Über die Frostbeständigkeit von Kalksandsteinen. - Unveröffl. Dipl.-Arb. techn. Hochschule Karlsruhe; 545 S.; Karlsruhe.
- OBERMILLER (1927): Die Entwässerung von kristallisiertem Natriumsulfat bei gewöhnlicher Temperatur. - Angew.Chemie, 40 (1927): 755 S.-109 (1924); 154 S.; Leipzig.
- OPPERMANN, H.-U. (1966): Die Einflüsse der Prüfkörperfeuchtigkeit auf die Steindruckfestigkeit.- Prüf- und Forschungslab. Bundesverb.Kalksandsindustrie e.V.; 37 S.; Hannover.

- ORTON, A. (1919): A Study of the proposed A.S.T.M. Tentative Specification for Building Brick and a Correlation of their Requirements with Sodium-Sulfate Treatment and Actual Freezing. - Proc. amer. Soc. test. Mat., 19 (I); 268. S.; Philadelphia.
- PETTIJOHN, F.-J. (1957): Sedimentary Rocks. - 718 S.; New York.
- QUERVAIN DE, F. (1967): Technische Gesteinskunde. - 2. Aufl.; 261 S.; Basel-Stuttgart (Birkhäuser).
- REINSCH, D. & DJAMOUS, F. (1973): Schlagfestigkeit von Gesteinsplitten. - Naturstein-Ind., 9 (11): 9-12; Offenbach.
- ROSENFELD, U. (1966): Lithostratigraphische Untersuchungen in Sandstein - Folge I: Einige Arbeitsmethoden. - N.Jb. Geol.Paläont., Mh., 1966(6): 352-373; Stuttgart.
- SACHS, L. (1974): Angewandte Statistik. - 545 S.; Berlin (Springer)
- SAUER, V. (1976): Beziehungen zwischen Gesteinsausbildung und Schlagzertrümmerungswerten an Split, untersucht an verschiedenen Gesteinen des Harzburger Gabbros. - Naturstein Ind., 12, (5):15-24; Offenbach.
- " (1978): Beziehung zwischen Mineralbestand, Gefüge und technischen Eigenschaften von gebrochenen Natursteinen. Diss.Univ.Hannover; 144 S.; Hannover.
- SCHAFFER, (1932): The Weathering of Natural Building Stones.- Building Research., Spec. Rep., 18:184-199; London.
- SCHNEIDERHÖHN, P. (1953): Untersuchungen zur Siebanalyse von Sanden zur Darstellung ihrer Ergebnisse.- N.Jb.Mineral., Abh., 85:141-202; Stuttgart.
- SCHULTZE, K.-H.(1970): Untersuchung über die Abhängigkeit der Trockenrohichte, Wasseraufnahme und Schotter Schlagfestigkeit von petrographischen Eigenschaften der Gesteine des Korallenoolith im Weser-Gebirge.-Naturstein-Ind., 6 (6):2-10; Offenbach.
- SCRUTON, P.C.(1950): The Petrography and environment of deposition of the Warner, Little Cabins an Hartshorne Sandstone in north-eastern Oklahoma.-Amer.J.Sci., 248:408-426; New Haven.
- SICKENBERG, O. (1951): Geologie und Lagerstätten Niedersachsens. - Die Lagerstätten und ihre Bewirtschaftung, I.Abt., 5: 318 S.; Bremen-Horn (Walter Dorn).
- STINY, J. (1929): Technische Gesteinskunde für Bauingenieure, Kulturtechniker, Land- und Forstwirte sowie für Steinbruchbesitzer und Steinbruchtechniker.- 550 S.; Wien.
- STÖCKE (1935): Mineralogisch-petrographische Gesichtspunkte bei der Prüfung von Straßenbaugesteinen.-Steinind.u.Strassenbau, 38-41.
- TIMMERS, H.J. (1973): De besppoling van de druksterkte van banksteen.-Techn.Centrum voor.de grofkerm.Ind."Klein Kera-miek", Nr. 7:

- TRASK, P.D. (1932): Origin and environment of source sediments of Petroleum. - 62 S.; Houston / Texas (Gulf Publ.).
- WALZ, K. (1943): Über Salzanreicherungen und Ausblühungen bei Ziegelmauerwerk. - Fortschr.u.Forsch.Bauwes.; B,3; 91 S.; Berlin.
- WIEDEN, P. & KAPPEL, F. (1973): Untersuchungen an Gesteinsmaterialien hinsichtlich Abriebverhalten und Widerstandsfähigkeit gegen Polieren. - Bundesmin. Bauten und Technik, Bundesstraßenverw. (Hrsg.); Straßenforschung, 2: 84 S.; Wien.
- WRIGHT, P.J.F. (1952): Comments on an indirect tensile test on concrete cylinders.-Mag. concr.Research, 7(20) 217 S.; London.
- ZELGER, C. (1956): Ein neues Verfahren zur Bestimmung der Betonzugfestigkeit. - Beton u. Stahlbeton. 6: 139-140; Berlin (Wilhelm Ernst & Sohn).

Verwendete bzw. berücksichtigte Normen

- DIN 1048 Bl. 1 Prüfverfahren für Beton. Frischbeton, Festbeton gesondert hergestellter Probekörper, Januar 1972
- DIN 4022 Bl. 1 Baugrund und Grundwasser. Benennen und Beschreiben von Bodenarten und Fels, Schichtenverzeichnis für Untersuchungen und Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben. Juli 1971.
- DIN 52100 Prüfung von Naturstein. Richtlinien zur Prüfung und Auswahl von Naturstein 1949
- DIN 52101 Prüfung von Naturstein. Probennahme. September 1965.
- DIN 52102 Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Dichte; Rohdichte, Reindichte, Dichtigkeitsgrad, Gesamtporosität. September 1965.
- DIN 52103 Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Wasseraufnahme. November 1972.
- DIN 52104 Prüfung von Naturstein. Frost-Tau-Wechsel-Versuch. Mai 1976.
- DIN 52105 Prüfung von Naturstein. Druckversuch. August 1965.
- DIN 52106 Prüfung von Naturstein. Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit. November 1972.
- DIN 52111 Prüfung von Naturstein. Kristallisationsversuch. Mai 1956.
- DIN 52113 Prüfung von Naturstein. Bestimmung des Sättigungswertes. März 1965.

Verzeichnis der wichtigsten Symbole

Bxy	(%)	= Bestimmtheitsmaß ($Bxy = r^2$)
F-T-W	(%)	= Frost-Tau-Wechselversuch
Kr.	(%)	= Kristallisationsversuch
Md.	()	= Medianwert ($=d_{50}$)
n		= Anzahl der Meßwerte (-paare)
p	(%)	= Gesamtporosität
q		= Vertrauensbereich von \bar{x}
r		= Korrelationskoeffizient
s		= Standardabweichung
S	(-)	= Sättigungswert
S	(%)	= statistische Sicherheit
v	(%)	= Variationskoeffizient
\bar{v}	(%)	= durchschnittlicher Variationskoeffizient
$W_{g,a}$	(Gew.-%)	= Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck
$W_{g,d}$	(Gew.-%)	= Wasseraufnahme unter Druck von 150 bar
x		= Einzelwerte
\bar{x}		= arithmetischer Mittelwert
x_{\min}, x_{\max}		= Grenzen der 5%-Fraktile
$\bar{x}_{\min}, \bar{x}_{\max}$		= Grenzen des Vertrauensbereichs von \bar{x}
β_{SZ}	(N/mm ²)	= Spaltzugfestigkeit
σ_{dB}	(N/mm ²)	= Druckfestigkeit
v		= Freiheitsgrade (=FG)
ρ_O	(g/cm ³)	= Reindichte
ρ_R	(g/cm ³)	= Rohdichte

MITTEILUNGEN AUS DEM GEOLOGISCHEN INSTITUT
DER UNIVERSITÄT HANNOVER

- 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 von Osterode/Harz. - MICHAEL, E.: Mikroplankton und Sporomorphe aus dem NW-deutschen Barrême. - 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 bei Lüneburg. - RICHTER, K.: Konnektierungsmöglichkeiten niedersächsischer 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 5: VIERHUFF, H.: Untersuchungen zur Stratigraphie und Genese der Sandlößvorkommen in Niedersachsen. - 100 S., 36 Abb., 1967. DM 5.-
- Heft 6: LOOK, E.-R.: Geologisch-stratigraphische Untersuchungen in Sedimenten der Elster- und Saale-Eiszeit (Pleistozän) am Elm, östlich Braunschweig. - 108 S., 18 Abb., 4 Tab., 27 Taf., 1968. vergriffen
- Heft 7: SCHÜTT, G.: Die cromerzeitlichen Bären aus der Einhornhöhle bei Scharzfeld. - 121 S., 3 Abb., 32 Tab., 6 Taf., 1968. vergriffen
- Heft 8: Sonderheft zum 65. Geb.-Tag von K. RICHTER mit Beitr. von J.-D. BECKER-PLATEN, H. BERNHARD, J.-P. GROETZNER, H.-U. HARK, H. HILTERMANN, 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 9: ZEINO-MAHMALAT, H.: Die Geologie der Mittelrättschichten von Velpke (nördl. Helmstedt). - PAPE, Hg.: Die Malmschichten vom Langenberg bei Oker (nördl. Harzvorland). - 134 S., 21 Abb., 1 Tab., 16 Taf., 1970. vergriffen

- Heft 10: Sonderheft zum 70. Geb.-Tag 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 saaleiszeitlicher Ablagerungen (Pleistozän) im Südwestteil des Uelzener Beckens (Nordost-Niedersachsens). - 76 S., 20 Abb., 7 Tab., 2 Taf., 1972. DM 5.-
- Heft 12: PREUSS, H.: Gliederung und Zusammensetzung der Weserterrassenkörper bei Bodenfelde (mit einer geologischen Kartierung). - RAUSCH, M.: Der "Dropstein-Laminat" von Bögerhof und seine Zuordnung zu den Drenthezeitlichen Ablagerungen des Wesertales bei Rinteln. - 86 S., 6 Tab., 4 Taf., 1975. DM 9.90
- Heft 13: (Unterkreideheft). - GEORGI, K.-H.: Mikrofaunistische Untersuchungen d. Hils sandstein-Region (Apt/Alb) im Raum Salzgitter-Goslar. - SEILER, W.C.: Mikropaläont. Untersuchungen z. stratigraph. Einstufung des Hils sandsteins (Unterkreide) in der Hils mulde (Südniedersachsens). - HEINEMANN, B.: Lateritische Verwitterungsböden aus Hils-Sandstein (Unterkreide) und Dogger-tonen im Harzvorland bei Goslar. - 152 S., 7 Taf., 24 Abb., 2 Tab., 1976. DM 11.-
- Heft 14: RAUSCH, M.: Fluß-, Schmelzwasser- und Solifluktionsablagerungen im Terrassengebiet der Leine und der Innerste - ein Beitrag zur pleistozänen Flußgeschichte Südniedersachsens. - 84 S., 16 Abb., 4 Tab., 1 Taf., 1977. vergriffen
- Heft 15: KRÜGER, S.: Zur Taxonomie und Systematik isolierter Schwammskleren mit Beispielen aus der Unter-Kreide Ostniedersachsens. - DENEKE, E.: Ein Profil von den Ornaten-Schichten (Callovium-Dogger) bis zum unteren Korallenoolith (Oxfordium-Malm) im Grubenfeld "Konrad", Salzgitter-Bleckenstedt (Ostniedersachsens). - HENNINGSEN, D.: Schwermineral-Untersuchungen in quartärzeitlichen Sanden nordwestlich von Hannover. - 146 S., 3 Taf., 1978. DM 11.50
- Heft 16: FISCHER, U.: Der Schichtaufbau des 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: SNEHOTTA, 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 (Haute-rivium - Aptium) im Eisenerz-Tagebau "Morgenstern" N Goslar (SE Niedersachsen). - 222 S., 11 Taf., 1979. DM 25.-
- Heft 18: MAUTHE, F.: Probleme und Risiken bei der geplanten Einlagerung radioaktiver Abfälle in einen nord-westdeutschen 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 20: APPEL, D.: Petrographie und Genese der Sandsteine des Unter- und Mittelrätts im nördlichen Harzvorland (Ostniedersachsen). - 133 S., 18 Abb., 6 Tab., 4 Taf., 1981. DM 20.-
- Heft 21: KÖTHE, A.: Kalkiges Nannoplankton aus dem Unter-Hauterivium bis Unter-Barrémium 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 quartärzeitlicher Sande Niedersachsens. - 81 S., 19 Abb., 6 Tab., 1 Taf., 1982. DM 7.-
- Heft 23: KREUSCH, J.: Stratigraphisch-fazielle Untersuchungen an Dogger- und Malm-zeitlichen Ablagerungen im Raum Wolfsburg (Ost-Niedersachsen). - MEYER, Th.: Schichtaufbau und Biostratigraphie der Cenoman-Turon-Vorkommen in der Hilsmulde bei Kaierde (Niedersächsisches 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

Die angegebenen Preise sind Selbstkostenpreise, daher
Rabattgewährung nicht möglich.

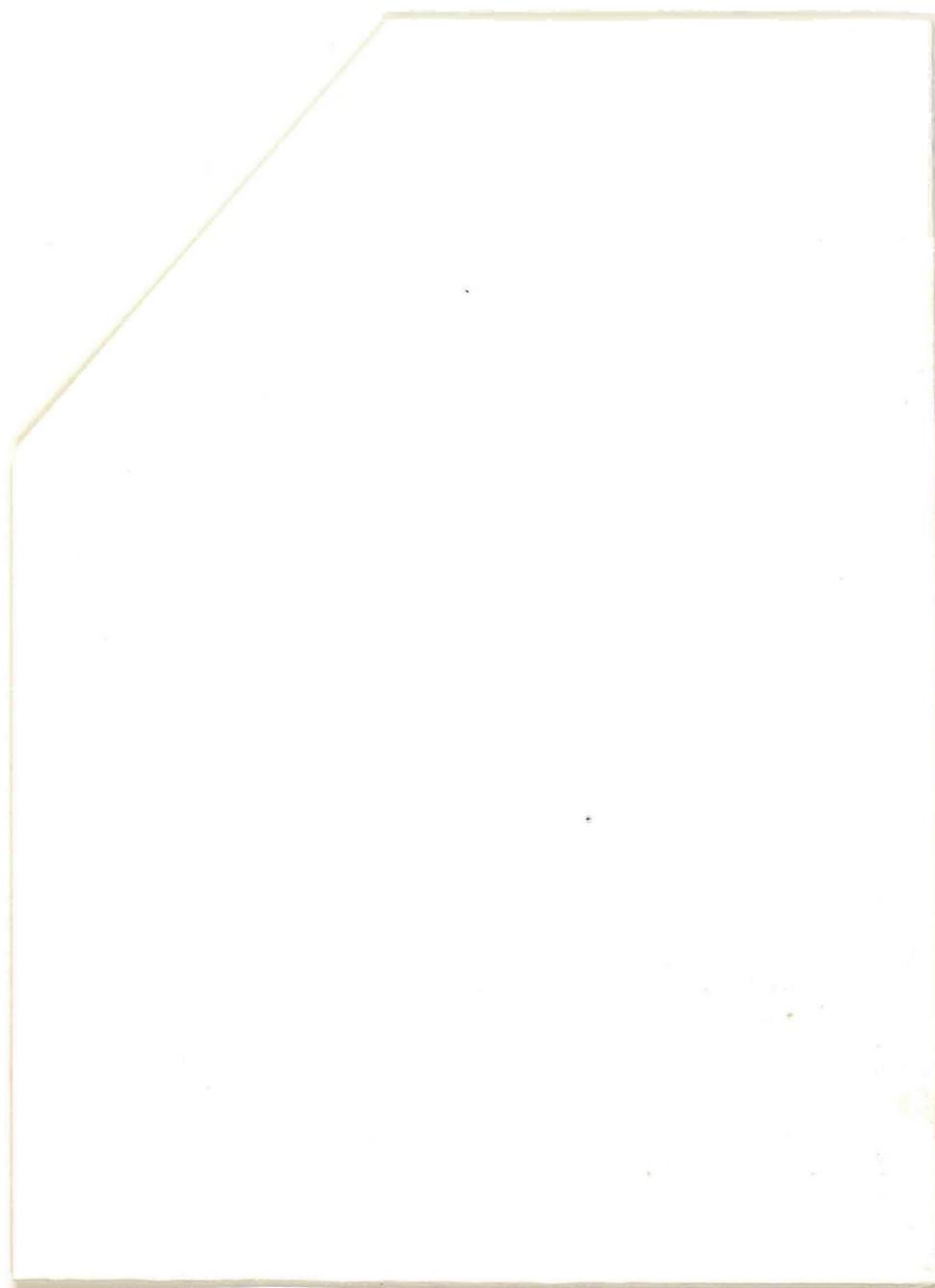
Anfrage nach Bezugsmöglichkeiten bei:

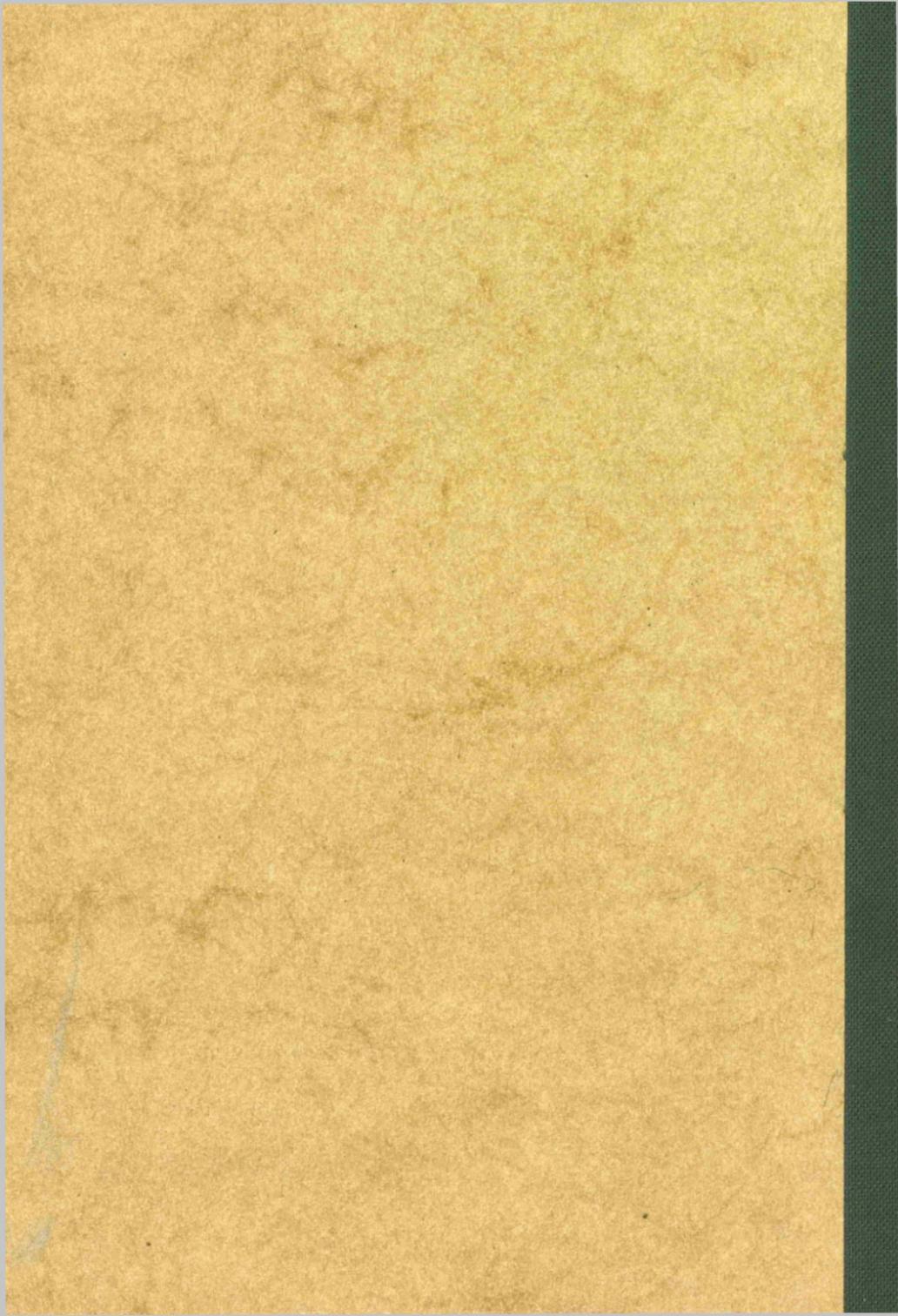
Institut für Geologie und Paläontologie
der Universität Hannover,
Callinstr. 30, D - 3000 Hannover 1

Lebenslauf

- 31.12.1944 geboren in Shiraz/Iran als Sohn der Eheleute
Abdol Ali und Kobra Chitsazian
- 1951 - 1958 Besuch der Volksschule in Sarghan
- 1959 - 1967 Besuch des Gymnasiums in Marwdasht
- 1967 Abiturprüfung
- 1967 - 1969 Ableistung des Wehrdienstes
- 1971 - 1972 Besuch des Studienkollegs
- 1972 - 1978 Studium der Geologie und Paläontologie an der
Universität Hannover
- 1978 Diplomhauptprüfung
- 1978 Beginn des Promotionsstudiums am Geologischen
Institut der Universität Hannover.

3 Tafeln





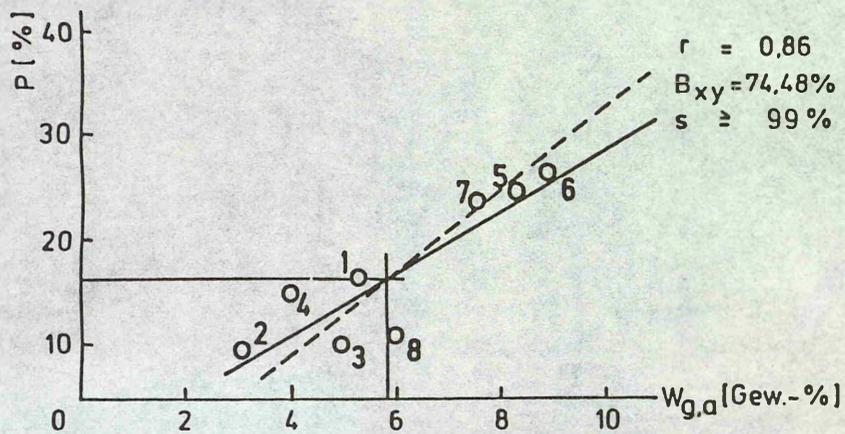


Fig. 1: Lineare Korrelation zwischen Gesamtporosität (P) und Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck ($W_{g,a}$)

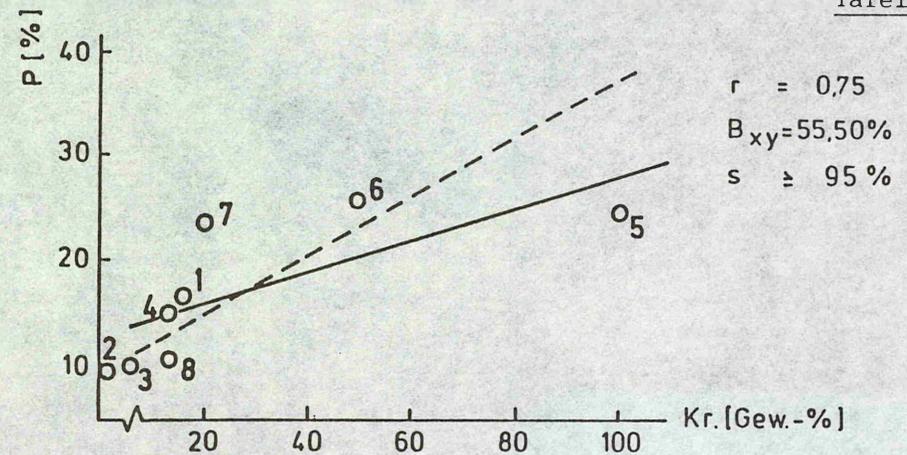


Fig. 2: Lineare Korrelation zwischen Gesamtporosität (P) und Ergebnissen des Kristallisationsversuchs (Kr.)

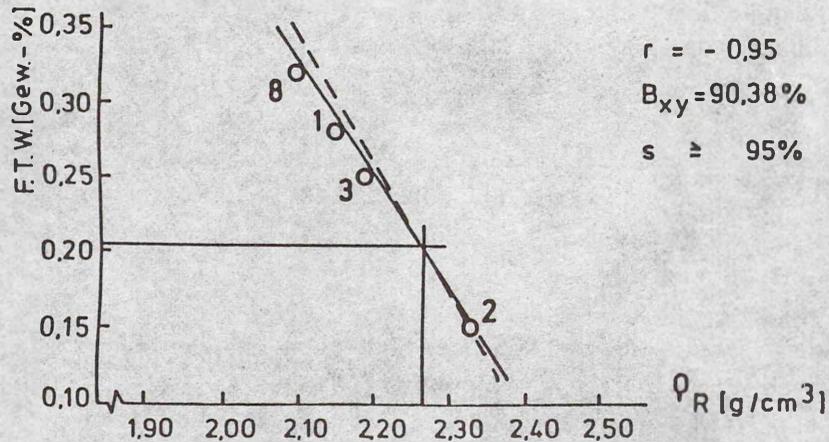


Fig. 3: Lineare Korrelation zwischen den Ergebnissen des Frost-Tau-Wechsel-Versuchs (F-T-W) und Rohdichte (ρ_R)

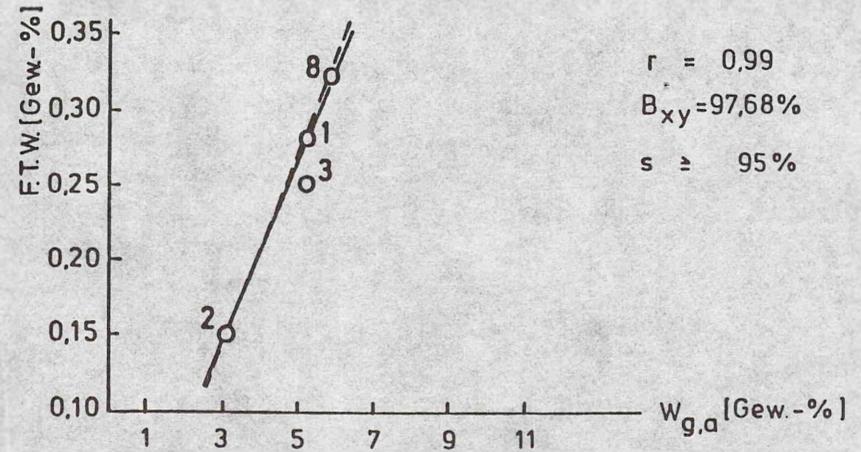


Fig. 4: Lineare Korrelation zwischen den Ergebnissen des Frost-Tau-Wechsel-Versuchs (F-T-W) und der Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck ($W_{g,a}$)

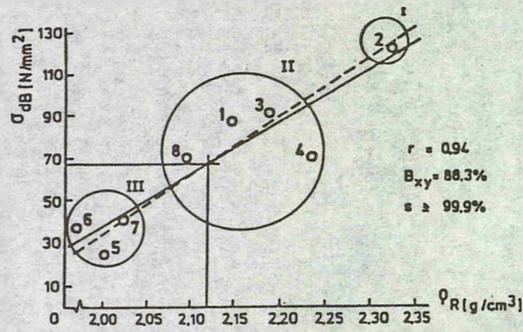


Fig. 1: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und Rohdichte (ρ_R) Gruppen I-III

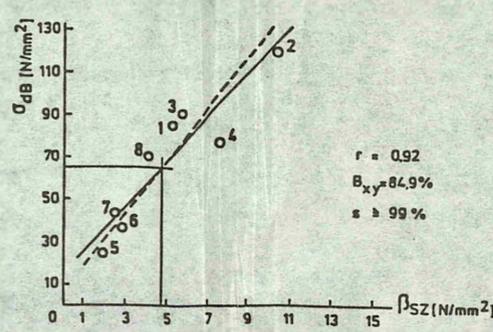


Fig. 2: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und Spaltzugfestigkeit (f_{SZ})

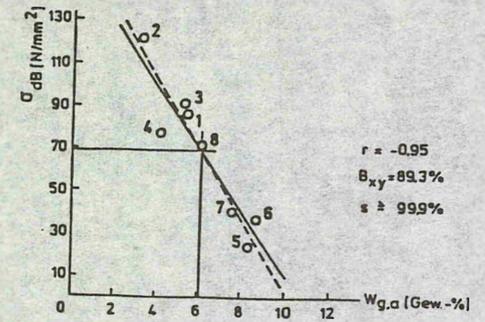


Fig. 3: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck ($W_{g,a}$)

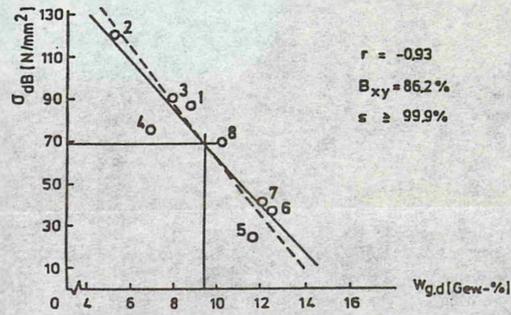


Fig. 4: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und Wasseraufnahme unter Druck von 150 bar ($W_{g,d}$)

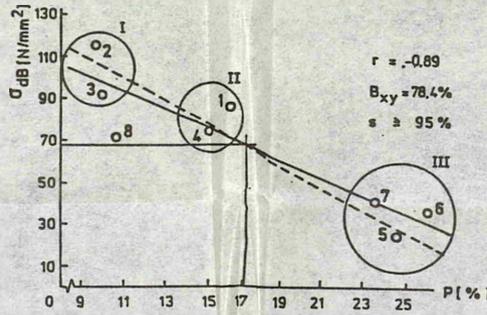


Fig. 5: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und Gesamtporosität (P) Gruppen I-III

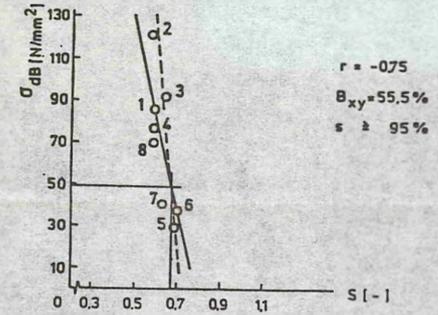


Fig. 6: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und Sättigungswerten (S)

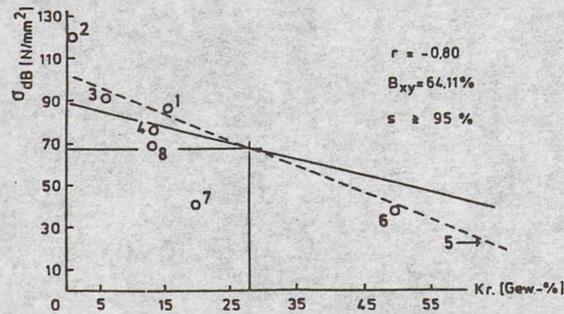


Fig. 7: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und Ergebnissen des Kristallisationsversuchs (Kr.)

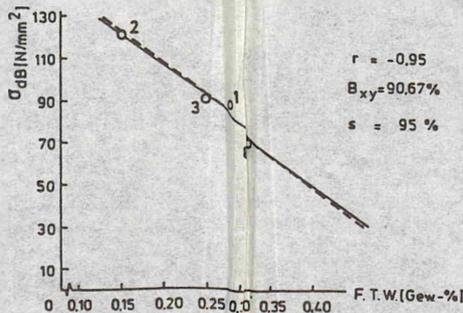


Fig. 8: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und den Ergebnissen des Frost-Tau-Wechselversuchs (F-T-W)

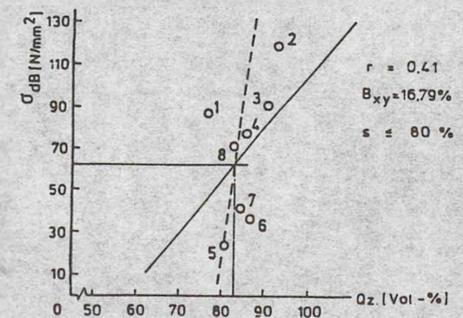


Fig. 9: Lineare Korrelation zwischen Druckfestigkeit (σ_{dB}) und Quarzgehalt (Qz.)

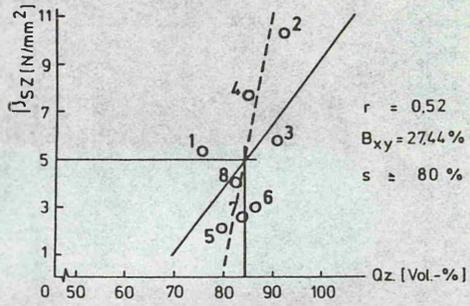


Fig. 1: Lineare Korrelation zwischen Spaltzugfestigkeit (β_{SZ}) und Quarzgehalt (Qz.)

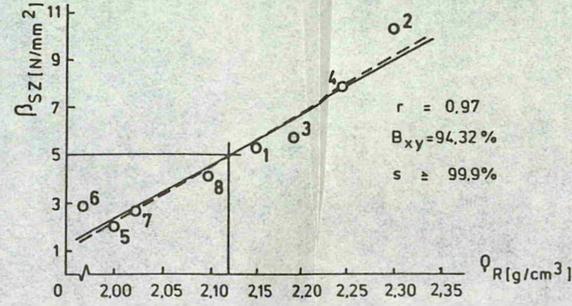


Fig. 2: Lineare Korrelation zwischen Spaltzugfestigkeit (β_{SZ}) und Rohdichte (ρ_R)

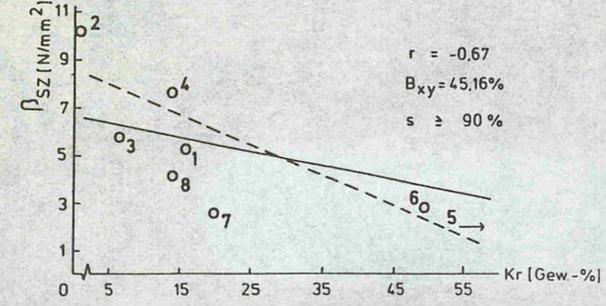


Fig. 3: Lineare Korrelation zwischen Spaltzugfestigkeit (β_{SZ}) und Ergebnissen des Kristallisationsversuchs (Kr.)

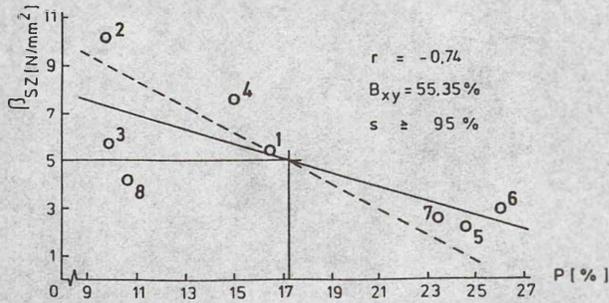


Fig. 4: Lineare Korrelation zwischen Spaltzugfestigkeit (β_{SZ}) und Gesamtporosität (P)

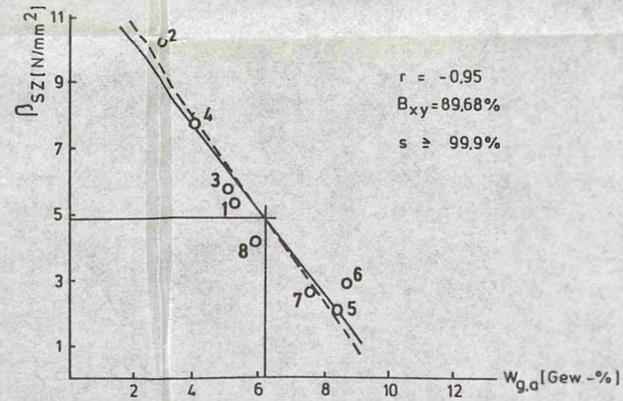


Fig. 5: Lineare Korrelation zwischen Spaltzugfestigkeit (β_{SZ}) und Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck ($W_{g,a}$)