

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
GEOTECHNISCHE SERIE
KLEINERE MITTEILUNGEN

Nr. 1

Petrographische Untersuchungen
an Schotter- und Pflasterstein-
materialien

**I. Sandsteine und Echinodermenbrekzien
der Gargasienstufe (Mittlere Kreide) der
helvetischen Kalkvoralpen**

von

F. de Quervain

Separatabdruck aus
„Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen“
Band XI, Heft 2, 1931

Petrographische Untersuchungen an Schotter- und Pflastersteinmaterialien

I. Sandsteine und Echinodermenbrekzien der Gar- gasienstufe (Mittlere Kreide) der helvetischen Kalk- voralpen

von *F. de Quervain*¹⁾

INHALTSVERZEICHNIS

I. Geographisch-geologischer Überblick	184
A. Rheintal	185
B. Vierwaldstätterseegebiet	191
II. Die petrographischen Verhältnisse	194
A. Die einzelnen Mineralien und deren Eigenschaften	195
a) Detritische Mineralien	195
b) Neugebildete Mineralien	196
B. Die petrographischen Typen	202
C. Beurteilung der technischen Eigenschaften	217
D. Verwendung und Eignung	221
E. Bemerkungen über Entstehung und Diagenese.	222
Literaturverzeichnis	225

ÜBERSICHT

Die Arbeit befasst sich mit den als Strassenbaustoffen wichtigen Sandsteinen und Echinodermenbrekzien der helvetischen mittleren Kreide der östlichen Schweiz. Das Hauptgewicht wird auf eine genaue petrographische Erfassung der verschiedenen Gesteinsvarietäten und auf die Beziehungen der Petrographie mit den vorliegenden technischen Eigenschaften gelegt. In einem gewissen Umfang ist es bei diesen Gesteinen möglich, aus der Petrographie die Eigenschaften zu bestimmen.

EINLEITUNG

Die nachstehenden Untersuchungen wurden im Auftrage der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft ausgeführt, als Beitrag einer wissenschaftlichen Durch-

¹⁾ Veröffentlicht mit Bewilligung der geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft als „Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotechnische Serie, kleinere Mitteilungen, Nr. 1“.

forschung der einheimischen Strassenbaustoffe. Sie umfassen daher im allgemeinen nur Material, das praktisch verwertet wird, oder sonst wichtige Anhaltspunkte für praktische Zwecke liefert. Da die Gebiete der fraglichen Gesteinsvorkommen geologisch-stratigraphisch (ARNOLD HEIM 14, A. BUXTORF 7) schon sehr eingehend beschrieben und kartographisch aufgenommen worden sind, werden hier die geologischen Verhältnisse nur so beschrieben, wie das für eine Einführung nötig ist. Der Hauptteil der Arbeit liegt in der petrographischen Untersuchung und in dem Vergleich der Resultate mit den vorliegenden technischen Bestimmungen.

Die Laboratoriumsarbeiten wurden im mineralogisch-petrographischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule ausgeführt, in dem auch das Untersuchungsmaterial deponiert ist.

Für mancherlei Mitteilungen, Überlassung von Prüfergebnissen und für die Erlaubnis von Untersuchungen in ihren Steinbrüchen sei den Besitzern, den Herren H. RÜESCH, St. Gallen; F. CERNIC, Brunnen; J. SPILLER, Alpnachstad, und der Basaltsteingesellschaft Buchs A.-G. bestens gedankt.

I. Geographisch-geologischer Überblick

Die Verbreitung der harten Sandsteine und Echinodermenbrekzien ist ganz roh auf dem Übersichtskärtchen (Fig. 1) dargestellt worden. Die Verbreitung ist entsprechend der grossen Ausdehnung der Säntis-Drusbergdecke in der Ostschweiz ziemlich gross; doch kommen für praktische Gewinnung nur wenige Punkte in Betracht, einerseits weil die nutzbaren Schichten vielerorts von ganz geringer Mächtigkeit sind und andererseits weil sie sich nur an wenigen Stellen in günstiger Verkehrslage befinden. Weitaus am günstigsten liegen die Verhältnisse im Rheintal zwischen Sevelen und Grabs, wo die in den ganzen Schweizeralpen überhaupt konstatierte grösste Mächtigkeit mit günstiger Verkehrslage zusammentrifft. Allerdings ist hier die Lage an der Landesgrenze mit der relativ langen Bahnstrecke selbst nach der nordöstlichen Schweiz etwas weniger vorteilhaft als anderswo. Auch am Vierwaldstättersee treten die hier allerdings viel weniger mächtigen Schichten an einigen Stellen in günstiger Verkehrslage auf und ermöglichen einen Abbau. Alle übrigen Vorkommen, besonders in der Drusberggruppe, Churfirstengruppe und in der Säntisgruppe, weiter am Thunersee, im Kandergebiet und in der Westschweiz sind durchaus ungünstig und dürften kaum für

grösseren Abbau in Betracht kommen (1, 3, 8, 10, 12, 13, 16, 17, 18, 21, 22). Es werden demnach hier nur die Verhältnisse von Rheintal und Vierwaldstättersee näher behandelt.

A. RHEINTAL

An den Hängen, die sich von der Alvierkette gegen das Rheintal zwischen Sevelen und Grabs senken, nimmt die mittlere Kreide einen sehr grossen Teil ein (Fig. 2). Sie besitzt eine grosse Mächtigkeit und ist sehr reich gegliedert. Die gesamten stratigraphischen,

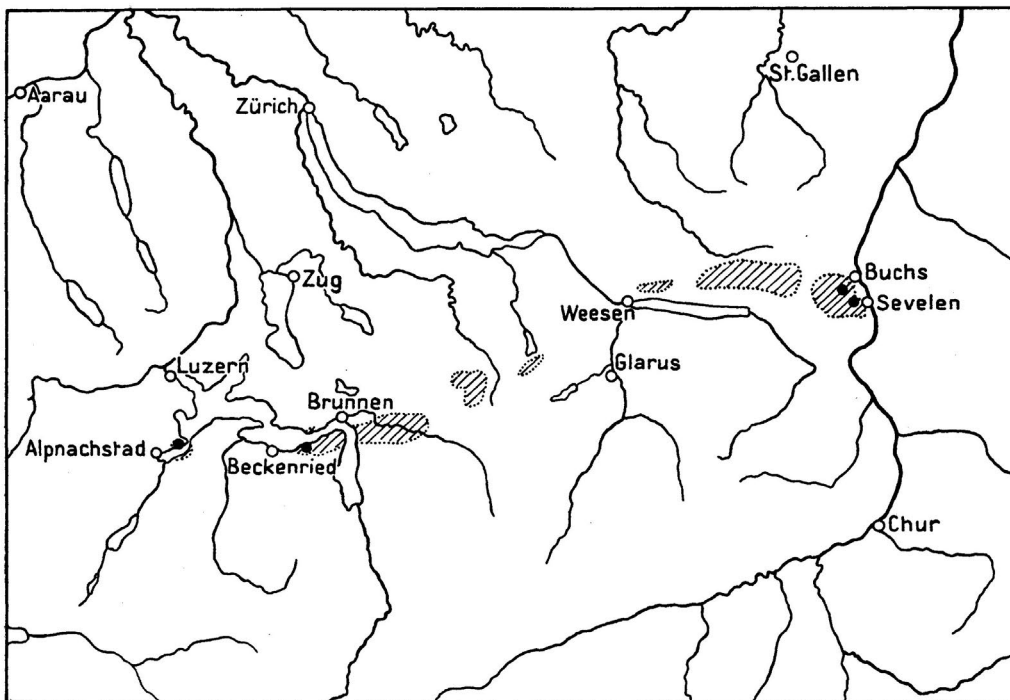


Fig. 1. Übersichtsskizze der wichtigsten Vorkommen der mittleren Kreide in der östlichen Schweiz. Punkte = Ausbeutestellen.

paläontologischen und teilweise auch lithologischen Verhältnisse der vielen einzelnen Horizonte sind für das ganze Gebiet von ARNOLD HEIM (14) eingehend untersucht und beschrieben worden. Zur allgemeinen Orientierung über die Schichtfolge und Fazies soll im folgenden ein vollständiges Profil wiedergegeben werden, obschon nur wenige Lagen als Strassenbaumaterial in Betracht kommen. In Talnähe im Gebiet der Steinbrüche bieten sich zur Aufnahme des vollständigen Profils infolge ungünstiger Schichtlage und starker Verwachsung Schwierigkeiten, zudem ist hier die ganze Gruppe schon weniger vollständig ausgebildet, so dass die Wiedergabe des Profils von Sisizalp-Rosswies westlich Margelkopf (nördliche Alviergruppe)

nach der Darstellung von ARNOLD HEIM auch am Platze ist, trotz der faziell schon ziemlich stark abweichenden Verhältnisse.

Von unten nach oben folgen sich (siehe Fig. 3):

1. = oberer Schrattenkalk, blaugrau, massig.
2. = 1,2 m grobknorriger Schrattenkalk. — Übergang in
3. = 0,2 m Fossilbank, dichter grauer Schrattenkalk, von knorrigen Grünsandschlieren durchzogen. Viele Fossilien. — Scharfe Grenze
4. = 0,8 m schwarze Mergelschiefer. — Übergang innerhalb 2 dm in
5. = zirka 25 m Grünsandstein, feinkörnig, dunkelbraungrau in Bänken von 0,5 bis 1 m mit schiefrigen Zwischenlagen (Gamerschichten).
6. = Massiger, oben quarzitischer Grünsandstein (Brisandstein), 14 m.
7. = zirka 5 m Echinodermenbrekzie, zum Teil auch sandig, schwer von 6. abtrennbar. — Scharfe Grenze
8. = 0,5 m? Grünsandbank, rostig verwittert (Durchschlägischicht).
9. = zirka 11 m feinstkörniger Glaukonitsandstein, obere 4 m besonders kompakt (Niederischichten).
10. = 2,5 m ähnlich 9., jedoch kalkhaltig.
11. = 1,5 bis 2 m feinkörniger, grünsandiger, inwendig grauer Kalk (Twirrenschichten). — Übergang in
12. = knolliger Kalk mit Grünsandschlieren 0,9 m, reich an Fossilien (Lochwald-Fossilschicht). — Übergang in
13. = zirka 16 m Knollenschichten, bräunlich angewittert. Übergang sehr allmählich in
14. = 1 m bräunlich angewitterter Kalk mit viel Glaukonitkörnern und Grünsandschlieren (Turrilitenschichten). — Übergang allmählich in
15. = 1,5 m dichter grauer Kalk, bräunlich angewittert (Überturrilitenschichten). — Übergang in
16. = dichter grauer unterer Seewerkalk.

Die Zahl der einzelnen Lagen, die zum Teil allerdings nur paläontologische Bedeutung als Fossilhorizonte besitzen, ist also ziemlich gross. Für die vorliegenden Untersuchungen sind in Berücksichtigung gezogen worden die Schichten 5, 6, 7 und teilweise auch noch 9 und 10 oder die Gamser-, Brisi- und Niederischichten. Im Gebiet des Profils scheint diese Gruppe zusammen 50 bis 60 m mächtig zu sein, sie nimmt jedenfalls den grösseren Teil der mittleren Kreide ein. Die Gamerschichten scheinen in dieser Region indessen sehr reichliche mergelige Zwischenlagen zu besitzen, die sich für praktische Verwendung ungünstig auswirken. Gegen Osten in Richtung des Rheintales erleiden diese Schichten schon recht erhebliche Faziesunterschiede, wie dies vor allem aus den allerdings sehr lückenhaften Aufschlüssen in den Steinbrüchen von Grabs, Buchserberg und Gampion bei Räfis hervorgeht. Besser noch als in den Steinbrüchen selbst, lässt sich die Ausbildung der Schichten in der Nähe des Talbodens an einem Waldsträsschen nordwestlich Unter-Räfis studieren, an einer Stelle,

an der schon ARNOLD HEIM ein Profil aufgenommen hat. Von unten nach oben ergibt sich die nachstehende Schichtfolge:

1. Gamerschichten, sehr mächtig, wahrscheinlich über 60 m, untere Grenze nicht aufgeschlossen, obere Grenze ebenfalls auf 1 bis 2 m unsicher. Die Schichtgruppe lässt sich unterteilen in:

a) Schwarze Sandsteine mit vielen welligen bis flaserigen „Ton“häuten, zäh, matter schwarzer Bruch, gebankt, relativ kalkreich. Mächtigkeit über 40 m (mindestens $\frac{2}{3}$ der Gruppe).

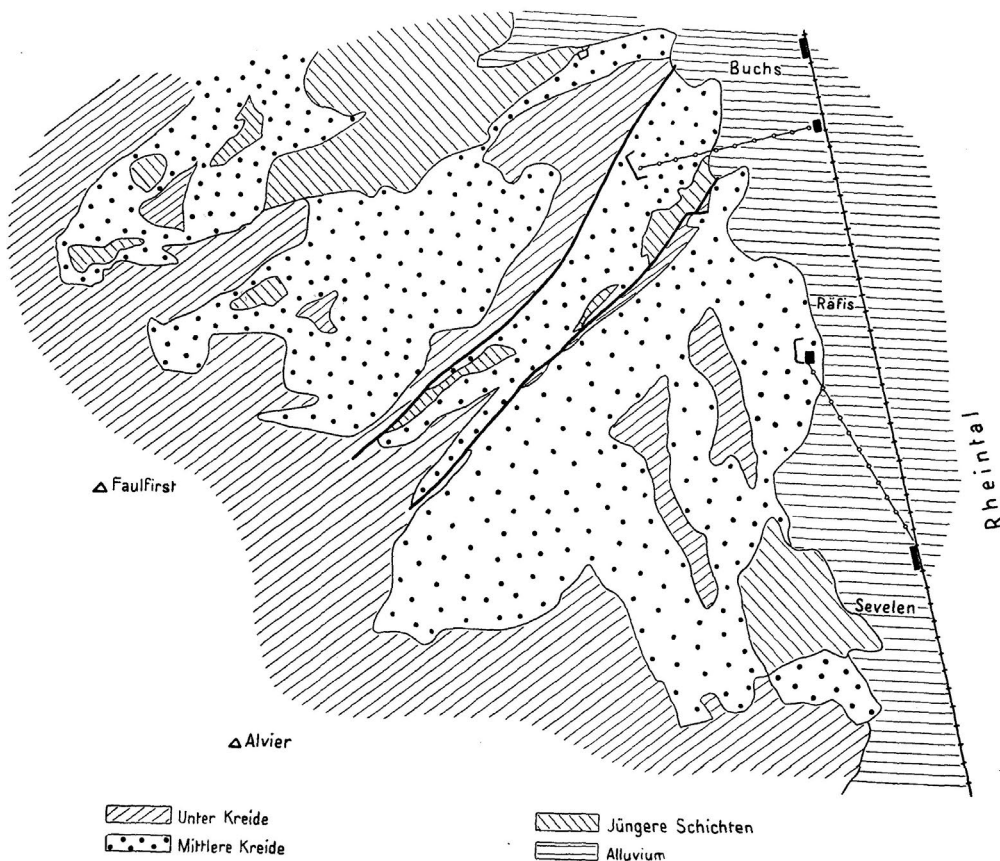


Fig. 2. Verbreitung der mittleren Kreide im Alvier-Rheintalgebiet. Maßstab 1:75 000 (nach Arn. Heim in Spezialkarte 80).

b) Schwarzer sandiger Kalkstein, sehr fein gekörnt mit mattem Bruch, makroskopisch ähnlich den Niederischichten, leicht geschiefert. Mächtigkeit 1 bis 2 m.

c) Sandstein, meist tiefschwarz, ähnlich a), aber mit viel weniger Tonflasern, die zudem nach oben stark abnehmen. Nach oben immer quarzreicher und stark fettglänzend, massig, zäh. Mächtigkeit 15 bis 20 m. Erinnert schon stark an Brisisandstein, in den er wahrscheinlich ohne scharfe Grenze übergeht.

2. Brisischichten. Sandstein ähnlich der obersten Partie der Gamerschichten, oft aber heller grau, meist mit sehr deutlicher feiner Schichtung (wenige mm breit), relativ grobkörnig, oben mit Echinodermenresten.

3. Niederisichten, sehr feinkörniger Sandstein, dunkelgrau, feiner als Brisi- und Gamserschichten, matter Bruch, fast kalkfrei. Mächtigkeit um 12 m.

4. Lochwaldschicht. Glaukonitischer Kalk mit schwarzen unregelmässigen Steinkernen. Mächtigkeit 0,4 m.

5. Knollenschichten in typischer Ausbildung (über 30 m).

Die wichtigsten Veränderungen gegenüber dem vorigen Profil bestehen demnach in der viel mächtigeren Ausbildung der Gamerschichten und besonders auch in der quarzreichen massigen Ausbildung der oberen Partie dieser Schichten, ferner in dem starken Zurücktreten der Brisi-Echinodermenbrekzie, die kaum noch als selbst-

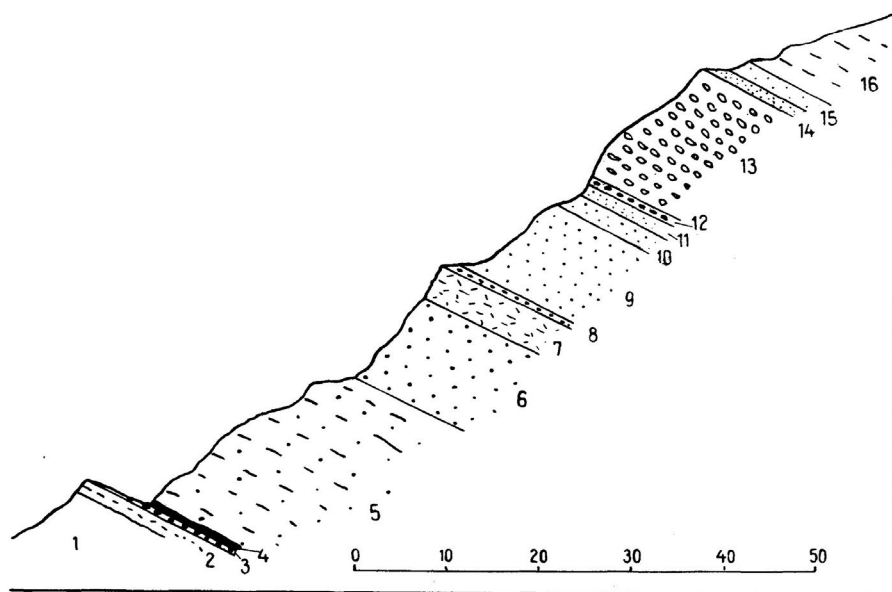


Fig. 3. Profil der mittleren Kreide auf Sisizalp-Rosswies (Alviergruppe) nach Arnold Heim. Siehe Erläuterung im Text.

ständige Schicht ausgeschieden werden kann, wenn sie auch in keinem der Aufschlüsse ganz fehlt. Weiter scheinen hier die Twirrenschichten und andere unbedeutende Fossilhorizonte zu fehlen. Der Gault kann hier eine Gesamtmächtigkeit von ca. 120 m erreichen, wovon gegen 30 m aus sehr quarzreichen massigen Sandsteinen, weitere 50 m ebenfalls noch aus zähen Sandsteinen, zum Teil aber mit geringeren Quarz- und grösserem Karbonat-, Glaukonit- und Tongehalt bestehen.

Das linksrheinische Gehänge zwischen Sevelen und Grabs gehört ganz der Säntis-Alvierdecke an, die hier als relativ wenig verfaltete Platte mit gleicher Neigung wie das Gehänge (durchschnittlich 20 bis 25°) gegen Osten abfällt¹⁾ und unter die ostalpinen Decken

¹⁾ Siehe geologische Spezialkarte Nr. 80 (Alviergruppe) der geologischen Kommission.

untertaucht, die das Gebirge rechts der Rheintalebene bilden. Dieses gleichmässige Absinken von Gesteinsschichten und Hang bewirkt, dass auf einem relativ grossen Gebiet von der Gipfelzone bis zum Talgrund die Oberfläche grossenteils von der gleichen Gesteinsgruppe, und zwar gerade von der mittleren Kreide, eingenommen wird (Fig. 2, 4, 5).

Die natürliche Grenze des Vorkommens bildet im Osten die Rheinebene; im Süden stechen die Schichten teils infolge Abbiegung des Tales nach Westen, teils infolge veränderten Gebirgsbaues in die Luft. Ebenfalls in die Luft stösst die Formation gegen Südwesten, während sie gegen Norden und Nordwesten in Talnähe von jüngerem Flysch und mächtigen Glazialablagerungen bedeckt wird und erst in

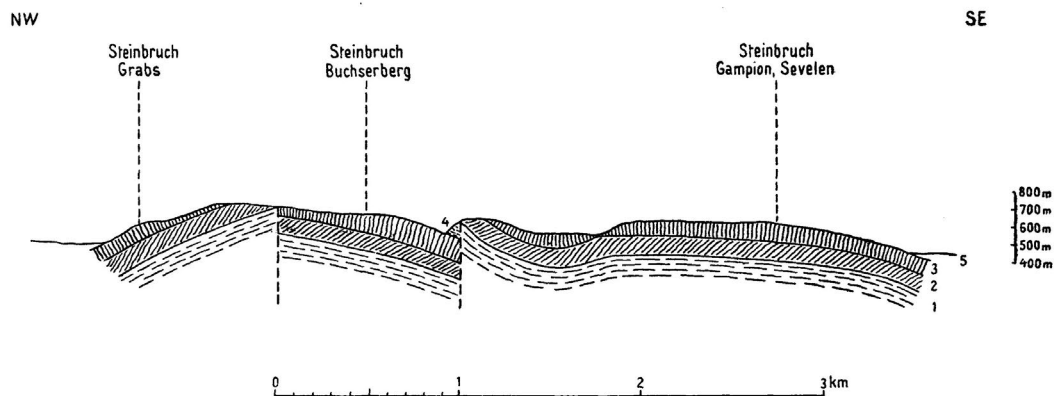


Fig. 4. Querprofil durch das Rheintalvorkommen. 1 = Drusbergschichten, 2 = oberer Schrattenkalk, 3 = mittlere Kreide, 4 = Seewerkalk, 5 = Alluvium.

der Churfirstengruppe in grösserer Mächtigkeit wieder zu Tage tritt, hier aber in schon stark in ungünstigem Sinne veränderter Ausbildung, ganz abgesehen von der entlegenen Lage. In der eigentlichen Säntisgruppe sind die mittleren Kreideschichten weniger mächtig und zudem infolge des weit komplizierteren Baues kaum irgendwo in solcher Menge günstig aufgeschlossen, dass ein grösserer Betrieb in Frage käme.

Im einzelnen wird der Bau des Rheintalvorkommens etwas kompliziert durch zahlreiche Brüche, welche die absinkende Platte in einzelne Schollen auflösen. In Talnähe erlangen nur zwei SW—NE verlaufende Brüche grössere Bedeutung (Fig. 2 und 4). Die einzelnen Schollen sind aber nur wenig verstellt und als Ganzes für den Abbau nicht ungünstiger gelagert.

Gegenwärtig sind im Rheintal zwei grosse Steinbrüche im Betrieb: ein Bruch bei Gampion, westlich Ober-Räfis (Gemeinde Sevelen) und einer im Buchser Buchwald am Buchserberg (Ge-

meinde Buchs). In der ersteren Anlage sind besonders die Brisischichten, nur im tiefsten Horizont die obersten Teile der Gamerschichten, aufgeschlossen. Der Buchserbruch baut dagegen weit vorwiegend die Gesteine der oberen Gamerschichten ab (Partie über der Kalkschieferlage des Profils, Seite 187. Nur im äussersten Norden der Anlage treten die Brisischichten zutage. Diese beiden Steinbrüche sind Grossbetriebe mit grossen Brech- und Sortieranlagen und eigener Verbindung mit den Bundesbahnstationen. Sie wurden erst in den letzten Jahren angelegt: Buchs 1925/26, Sevelen 1927. Ein kleiner Steinbruch bei Egeten (Gemeinde Grabs) ist zurzeit verlassen. Er besitzt ungünstige Abtransport- und Deponieverhältnisse.

Die Klüftung des Rheintaler Vorkommens. Die Klüftbildung ist im Rheintal sehr wichtig; sie bedingt sogar zum Teil

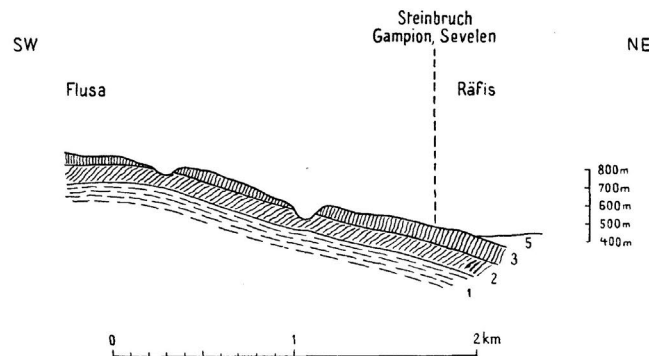


Fig. 5. Längsprofil beim Stienbruch Sevelen. Bezeichnungen wie bei Fig. 4.

den Verwendungszweck. Wie im Vorigen dargetan, verlaufen die Hauptverwerfungen des Gebietes SW—NE. Sie teilen das Gebiet in drei Schollen, die man als Scholle von Grabs, Buchs und Sevelen bezeichnen kann (Fig. 4). Zahllose kleinere Störungslinien verlaufen nun im Gebiet der Steinbrüche mehr oder weniger quer zu diesen Hauptbrüchen. Teils sind es nur einzelne Verwerfungen, meist aber ganze Büschel von Klüften, die ungefähr NW—SE verlaufen. Viele dieser Klüftbüschel setzen sich wiederum aus zwei Klüftsystemen zusammen, die sich unter einem sehr spitzen Winkel kreuzen und somit einen Zerfall des Gesteins in spitze Rhomboeder veranlassen. Die Klüfte sind oft oberflächlich durch die Wasserzirkulation etwas erweitert worden. Die Wände sind durch Limonit meist braun gefärbt. Die Klüfte sind aber durchaus nicht nur Oberflächenbildungen, sie reichen in die Tiefen, nur sind sie hier weniger auffallend, da sie zum Teil mit Calcit verheilt oder von einer grünen glaukonitähnlichen Masse erfüllt sind (Fig. 1, Taf. II). Befinden sich Klüftsysteme unter

Stellen, an denen sich Wasser ansammelt, das nicht rasch oberflächlich abfliessen kann, so bahnt sich das Wasser einen Weg längs den Klüften in die Tiefe und kann eine sehr weit unter die Oberfläche reichende Verwitterung und Lockerung besonders der glaukonitreichen Gesteine bewirken. Auf die Struktur der Gesteinspartien zwischen den Klüften hat die Klüftung keinen Einfluss. Sie wirkt sich im Steinbruchbetrieb nachteilig aus durch die Vermehrung des Abraums (Stiche) und durch Verminderung der speziell zur Verarbeitung zu Pflastersteinen notwendigen grösseren gesunden Blöcke. Andererseits erleichtert die Klüftung auch wieder in dem sehr harten Material für die Schottergewinnung das Herausbrechen der Gesteinsmassen; sie hat den Sprengschüssen gewissermassen vorgearbeitet.

Die starke Kluftbildung muss als eine Folge der *t e k t o n i s c h e n* *B e w e g u n g e n* bei der Faltung, speziell des Absinkens der Säntisdecke, gegen das Rheintal betrachtet werden. Die harten Sandsteine, obwohl in der Einzelprobe von sehr grosser Zähigkeit, wirkten als Ganzes doch als eine relativ spröde Platte. Die häufig unter spitzem Winkel sich kreuzenden Kluftsysteme legen einen Vergleich mit den durch Torsion einer Glasplatte entstehenden Rissen nahe.

B. VIERWALDSTÄTTERSEEGBIET.

Im Gebiet um den Vierwaldstättersee sind die Vorkommen der mittleren Kreide gegenüber dem Rheintal sehr beschränkt. Es liegt dies an der bedeutend geringeren Mächtigkeit, an dem sehr wechselvollen Gebirgsbau und auch an der eine Entblössung der Schichten in guter Verkehrslage wenig günstigen Oberflächengestaltung.

Folgende Vorkommen der mittleren Kreide sind am Vierwaldstättersee in der Talregion zu erwähnen: Unteres Muotatal, Terrasse von Morschach, Seelisberg, Seeufer östlich Beckenried bis Umgebung von Emmeten, Seeufer östlich Gersau, Obere Nase, Bürgenstock an verschiedenen Stellen, Südhang Lopperberg und Pilatus, Rotzberg und Muetterschwandenberg. Die Vorkommen gehören drei verschiedenen Teildecken der oberen helvetischen Deckengruppe an: Die Drusbergdecke bildet mit flachliegenden Stirnfalten die Berge südöstlich Brunnen, quert hier den See und baut auch die Gruppe des Zingelberges und der Bauen auf. Muetterschwandenberg, Bürgenstock und teilweise auch Rigihochfluh gehören einer tieferen, stark von Brüchen zerstückelten Decke an, die gewöhnlich als Bürgenstockdecke bezeichnet wird. Wiederum tiefer liegt die Pilatusdecke mit der ganzen Pilatusgruppe, dem durch einen deutlichen Querbruch da-

von abgetrennten Lopperberg, ferner dem grössten Teil des Vitznauerstockes und der nördlichen Rigihoehfluh. Zur genaueren Beurteilung der Vorkommen und ihrer Lagerung ist ein genaueres Studium der Spezialkarten der Geologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft Nr. 27, 29 und 66 und der dazu gehörenden Profile unbedingt notwendig. Es ergibt sich daraus mühelos ein weit klareres Bild als durch lange Beschreibung gewonnen werden könnte, weshalb hier darauf verzichtet wird.

Die stratigraphischen Verhältnisse der mittleren Kreide liegen am Vierwaldstättersee relativ einfach. Vor allem findet sich nicht die grosse Zahl der einzelnen Horizonte wie im Rheintal. Dann ändert sich weder die Mächtigkeit noch die Ausbildung in wesentlicher Weise, weder innerhalb einer tektonischen Einheit im ganzen Gebiet, noch von einer Einheit zur andern. Die Mächtigkeit ist allgemein gering, sie beträgt meist nur um 20 bis 30 m, die zudem grossenteils nur teilweise nutzbar sind. Die Profile lassen die Verhältnisse an verschiedenen Stellen des Gebietes am besten überblicken.

Stratigraphische Profile durch die mittlere Kreide am Vierwaldstättersee (nach A. BUXTORF, P. ARBENZ, G. NIETHAMMER und nach eigenen Beobachtungen) lauten wie folgt:

Drusbergdecke

Tobel des Stoosbaches

	Seewerkalk
wenige m	Knollenschichten
1 m	zäher Glaukonitsandstein
1 m	Mergel
20 m	Echinodermenbrekzie
	Schrattenskalk

Ingenbohl

	Seewerkalk
10 m	Knollenschichten + Concentricusschicht
2 m	Grünsandstein
20 m	Echinodermenbrekzie mit Spatkalk und schwarzen Schiefereinlagen

Rieselten, östlich Beckenried

um 10 m	Knollenschichten
12—15 m	Echinodermenbrekzie + Glaukonitkalksandstein
2 m	grobe Echinodermenbrekzie
1—2 m	schwarze glaukonitreiche Schiefer
	Schrattenskalk

B ü r g e n s t o c k d e c k e

Rigihochfluh bei Gersau

	Seewerkalk
wenige m	Turrilitenschichten
10—15 m	Knollenschichten
1 m	Concentricusschichten (Kalke mit reicher Fauna)
10—15 m	Echinodermenbrekzien, teils sandig oder kieselig
	Schrattenkalk

B ü r g e n s t o c k

	Seewerkalk
wenige dm	Turrilitenschichten, sandig bis kalkig
10—15 m	Knollenschichten
wenige m	Mergelschiefer, etwas sandig
1 m	Concentricusschichten glauk. bis spät. Kalk
20 m	Echinodermenbrekzie, oft sandig und glaukonitisch
wenige m	Grünsand (fehlt teilw.)
	Schrattenkalk

P i l a t u s d e c k e

Lopperberg

	Knollenschichten
ca. 4 m	vorwiegend Sandstein
ca. 5 m	„ Echinodermenbrekzie
ca. 5 m	Sandstein + Echinodermenbrekzie
	Schrattenkalk

Die Schichtfolge ist somit durchwegs sehr reduziert; es finden sich eigentlich nur die Knollenschichten in gleicher Ausbildung wie im Rheintal wieder. Allgemein wird die Echinodermenbrekzie mit den glaukonitischen Sandsteinen als oberes Gargasien und damit als Äquivalent von Brisisandstein und Brisi-Echinodermenbrekzie gehalten. Die für den Osten so typischen Gamser- und Niederischichten fehlen hier ganz oder sind an einigen Stellen nur durch ganz unbedeutende glaukonitische Sande oder Mergel vertreten. Als Strassenbaumaterial kommt hier bloss die 12 bis 20 m mächtige Echinodermenschicht mit Sandsteineinlagerungen in Betracht.

Im Vierwaldstätterseegebiet sind zur Zeit zwei Steinbrüche im Betrieb. Der eine befindet sich am Seeufer östlich Beckenried (westlich der Bezeichnung Rieselten der Siegfriedkarte Nr. 381). Das Profil und die Lage der Schichten ist aus Fig. 6 ersichtlich. Der Steinbruch geniesst besonders in Bezug auf Abraum die Vorteile der direkten Lage am See. Die beiden benachbarten Anlagen wurden schon vor längerer Zeit (1894 und 1903) eröffnet und lieferten früher auch

vorwiegend Mauersteine. Der Steinbruch ist bereits im Bausteinbande beschrieben. Der andere Steinbruch liegt an der Südseite des Lopperberges, direkt an der Strasse Stansstad-Alpnachstad (Fig. 7). Das Vorkommen gestattet keine sehr grosse Anlage. Eröffnet wurde der Bruch 1923.

Im Steinbruch Rozloch, der vorwiegend Kieselkalk ausbeutet, sind die Gargasiensandsteine in geringem Masse aufgeschlossen.

Auch im Vierwaldstätterseegebiet ist die Kluftbildung in den Sandsteinen und Echinodermenbrekzien sehr erheblich.

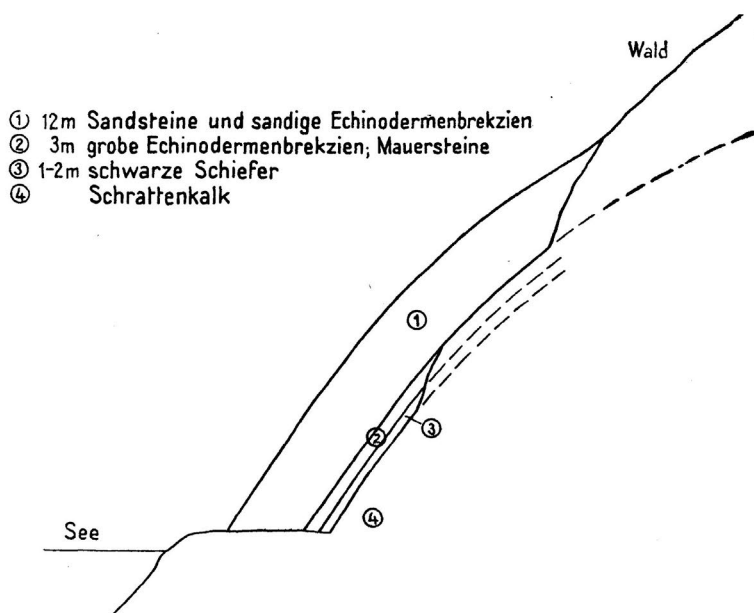


Fig. 6. Profil im Steinbruch Beckenried.

II. Die petrographischen Verhältnisse

Untersuchungen von Dünnschliffen von Gesteinen des Gargasien und Albien der Ostschweiz sind besonders von ARNOLD HEIM und JAN SCHOC veröffentlicht worden. Der erstere unterzog in seiner Monographie alle Stufen dieser Gruppe einer Durchsicht hinsichtlich der Gesteinsbeschaffenheit. Viele der hier mitgeteilten Befunde sind auch in den von diesen Autoren studierten Proben schon festgestellt worden. Sie werden hier wiederholt, da sie von wesentlich anderen Gesichtspunkten und in anderem Zusammenhang erwähnt werden.

Das untersuchte Material entstammt dem Zweck entsprechend fast ausschliesslich aus den vorerwähnten Steinbrüchen oder deren unmittelbaren Umgebung. In erster Linie natürlich wurde das an der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt untersuchte Material verarbeitet. Es war leider nur in vereinzelt Fällen möglich, die Proben

aus genau festgelegten Horizonten zu entnehmen; denn einerseits fehlen besonders bei den Gamerschichten infolge der massigen Ausbildung Bezugspunkte, die eine exakte Orientierung ermöglichen. Ein störender Umstand liegt auch darin, dass bei dem grossen Materialabbau der Rheintalerbrüche die Aufschlüsse sich rasch verändern. Im ganzen wurden etwa 70—80 Dünnschliffe der Brisi- und Gamerschichten geprüft, womit wohl die ganze Variation erfasst wurde.

Nach einer Beschreibung der Einzelminerale, folgt die Unterscheidung der verschiedenen petrographischen Varietäten in verschiedenen Gruppen ohne Rücksicht auf spezielle Stufenzugehörigkeit. Mit den petrographischen Verhältnissen werden auch die Befunde der

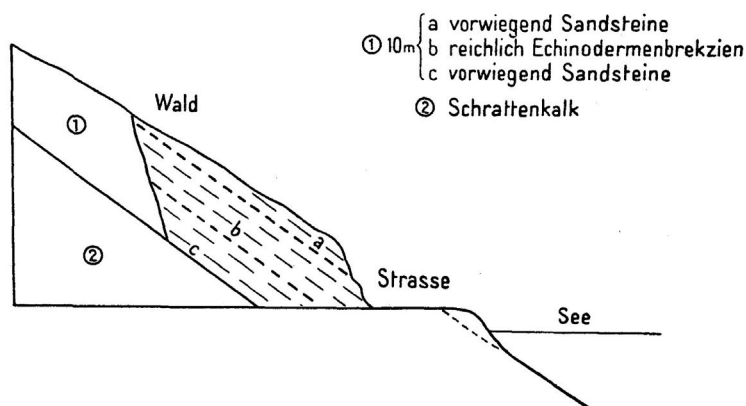


Fig. 7. Profil im Steinbruch Lopperberg.

technischen Prüfungen diskutiert; Vergleiche mit ähnlichen Gesteinen schliessen sich an.

A. DIE EINZELNEN MINERALIEN UND DEREN EIGENSCHAFTEN

a) Detritische Mineralien

Quarz. Wie bei allen normalen Sandsteinen ist der Quarz der weitaus wichtigste detritische Bestandteil, alle andern sind ihm gegenüber völlig belanglos. Mineralogisch bietet er wenig Besonderes. Oft sind die Körner stark undulös; sehr schön kann man bisweilen die Böhmsche Streifung beobachten. Mehrfach sind Reihen von Einschlüssen nach Art derjenigen der Tiefengesteinsquarze vorhanden. Die Grösse der Quarzkörner variiert relativ wenig. Körner mit mehr als 1 mm Durchmesser werden kaum gefunden; weitaus die Hauptmasse bleibt unter 0,5 mm mit Häufung bei 0,15 bis 0,3 mm bei den Gamser- und Brisischichten und bei 0,03—0,06 bei den Niederschichten. Die Form der Körner zeigt insofern einige Gesetzmässigkeit.

keit, als die grösseren im allgemeinen eher isometrisch und oft etwas gerundet, die kleineren mehr eckig und ohne charakteristische Form sind. Vorzugsweise enthalten die quarzreicheren Gesteine grössere Körner als die quarzärmeren, was zum Teil darauf beruht, dass in den ersteren die ursprünglichen Körner häufig sekundär umwachsen sind. Quarzkörner, die in Calcit eingebettet sind, erscheinen meist mehr oder weniger korrodiert. Diese Erscheinung kann so weit gehen, dass von den Quarzkörnern nur noch Skelette übrig bleiben. Bisweilen zeigen die Quarzkörner Eindrücke an den Berührungsstellen von zwei Körnern.

Weitere Mineralien. Im Dünnschliff wurden von anderen detritischen Mineralien immer nur ganz vereinzelt Biotit, Muskovit, Mikroklin, Plagioklas, Orthoklas, Zirkon, Turmalin, Rutil, Magnetit, Granat, Apatit gefunden. In einem Konzentrat der schweren Mineralien von 100 gr Gestein (kalkreicher Sandstein der Gruppe IV von Beckenried) wurden Zirkon und Turmalin in grosser Zahl, ersterer in gedrunghenen Säulchen mit pyramidalen Enden, letzterer in Prismen ohne Endflächen gefunden. Vereinzelt wurde Granat, grüne Hornblende, Magnetit festgestellt.

Bemerkt sei noch, dass nach allen Beobachtungen die Mineralien Turmalin und Zirkon nur wenig seltener sind als die Feldspäte, ein Anzeichen des weiten Transportes des detritischen Materials, der die am Ursprung ja weit häufigeren (100—1000 mal) Feldspäte infolge ihrer geringeren Widerstandsfähigkeit schon grossenteils zum Verschwinden brachte. Eventuell könnte auch an tertiäre Lagerstätten dieser Mineralien gedacht werden.

b) Neugebildete Mineralien

Als Mineralien, die sich im Verlaufe des Absatzes und der diagenetischen Prozesse bildeten, kommen in Betracht: Glaukonit, „tonige Substanzen“, Calcit, Quarz und Kieselsubstanz, Limonit, Pyrit und Markasit. Wichtig sind vor allem Glaukonit, Ton, Calcit und Quarz.

Glaukonit. Der Glaukonit ist einer der charakteristischen Bestandteile. Er fehlt selten ganz; in einigen Quarziten und Kalksandsteinen ist er nur untergeordnet. In quarzreichen Gesteinen passt er sich den vorhandenen Hohlräumen an, tritt also als Kontakt- oder Porenzement auf; in quarzarmen Gesteinen, wo er in seinem Wachstum nicht beengt wurde, bildet er wie gewöhnlich rundliche Körner. Der Glaukonit setzt sich im frischen Zustand fast immer aus sehr

feinen Schüppchen oder Fasern zusammen, teils sind diese wirr durcheinandergelagert, teils zeigen sie deutlich einheitlich orientierte Anordnung, in welchem Falle ein leichter Pleochroismus zu erkennen ist. Eine Probe der Niederisichten zeigte Körner mit anscheinend vollkommen parallel orientierten Glaukonitfasern, so dass diese als einheitlicher Glaukonitkristall erscheinen (kristallisierter Glaukonit nach A. HEIM). Meist setzt sich das Glaukonitkorn nur aus dieser Substanz zusammen. Der ganz frische Glaukonit hat eine grüne bis blaugrüne Farbe. Bei beginnender Umwandlung wird die Farbe olivgrün bis braungrün, wobei sich auch die Struktur verwischt. In einigen Proben wurde ein Ausbleichen der grünen Farbe beobachtet. Als Einschlüsse zeigt der frische Glaukonit zuweilen ganz kleine rundliche Pyrit- oder Markasitaggregate und nicht selten farblose rundliche Gebilde eines isotropen Minerals von niedrigerer Lichtbrechung als der Glaukonit. Der Glaukonit wandelt sich unter dem Einfluss der Atmosphärien sehr rasch um; frisches Material, das im Freien lagert, zeigt schon nach wenigen Monaten oberflächlich eine leichte Bräunung. Bei der Verwitterung wird der Glaukonit vollständig von Limonit durchsetzt. Über die Beziehungen der Glaukonitsubstanz zur Tonsubstanz wird weiter unten die Rede sein. Eine Durchsetzung der Glaukonitsubstanz mit feinem Calcit, wie sie JAN SCHOO aus der Kreide des Walenseegebietes beschreibt, wurde nicht als regelmässige typische Erscheinung festgestellt.

„Tonige Substanzen“. Die meisten Gesteine enthalten im Bindemittel braune, grünliche, oft mit Eisenhydroxyd und Calcit durchsetzte Substanzen, die bei schwacher Vergrößerung isotrop erscheinen. Auf alle Fälle ist diese Substanz von der Korngrösse von Peliten und soll, trotzdem sie zum Teil zweifellos noch erkennbar kristallin ist, doch als tonige Substanz bezeichnet werden. Diese tonigen Substanzen sind im Dünnschliff meist schwer genauer zu beschreiben. In bedeutsamer Menge kommen jedenfalls zwei verschiedene Varietäten vor, die im folgenden mit I und II auseinandergehalten werden.

„Tonsubstanz“ I. Die Tonsubstanz I kommt bei vielen Sandsteinen im Bindemittel vor. Bei schwacher Vergrößerung erscheint sie in reinem Zustande als hellbräunlichgrüne Masse mit Andeutung von körniger Struktur. Bei gekreuzten Nikols ist kaum eine Aufhellung wahrnehmbar. In der Regel enthält diese Tonmasse eine Menge Einlagerungen von Calcitschüppchen und Limonitsubstanz; in letzterm Falle ist sie natürlich braun getrübt und zu weiteren Untersuchungen wenig geeignet. Bei stärkerer Vergrößerung möglichst

reiner und zudem dünner Partien, wie sie in einigen Proben sehr schön vorliegen, zeigt sich, dass die Tonsubstanz in erster Linie aus kurzen Fasern zusammengesetzt ist. Diese Fasern haben eine Länge, die sich um 0,005 bis 0,008 mm und eine Breite, die sich um 0,001 bis 0,002 mm bewegt. Die Lichtbrechung ist $>$ Quarz. In der Regel sind die Fasern wirr durcheinandergelagert. Am besten sind sie am Rande einer Tonpartie zu studieren, wo sie beim Schleifprozess oft etwas von der Hauptmasse losgelöst wurden und auf diese Weise nicht in grösserer Menge aufeinander gelagert sind, oder da, wo die Fasern als lückenhaftes Kontaktzement auftreten. In den Fig. 2 u. 3, Taf. II ist versucht worden, die Fasern im Bilde festzuhalten. Oft scheint es, dass ausser den Fasern auch Gebilde mit mehr rundlichen Formen am Aufbau der tonigen Masse beteiligt sind. Bei den Fasern handelt es sich zweifellos um das kristallisierte Produkt einer ursprünglichen Tonsubstanz, dessen sichere Identifizierung mit den zahlreich beschriebenen ähnlichen Substanzen mangels genauerer optischer oder chemischer Kennzeichnung nicht möglich ist. So konnte eine sichere Beziehung mit keinem der von HIRSCHWALD eingehend untersuchten und gezeichneten Sandsteinzemente vorwiegend deutscher Sandsteine gefunden werden. Am ehesten vergleichbar ist die Fasersubstanz wohl mit den von HIRSCHWALD (15) unter Typ V und Typ VI beschriebenen Zementen. HIRSCHWALD beschreibt diese Typen folgendermassen: „Typ V. Längliche, mehr oder weniger gebogene Mikrolithe, dicht aneinandergewachsen, blaugrau polarisierend, auch im gewöhnlichen Licht deutlich abgegrenzt. Typ VI. Im gewöhnlichen Licht scheinbar homogene Substanz, die im polarisierten Licht eine verschwommene rundliche Körnung mit ungleichmässiger Interferenzfarbe zeigt.“ Über die Natur dieser Substanzen finden sich keine weiteren Angaben.

Bezüglich der Beziehungen der Tonsubstanz I zum Glaukonit, mit welchem sie fast stets zusammen vorkommt, sei folgendes bemerkt. In vielen Proben sind die beiden Bindemittelsubstanzen deutlich voneinander abgegrenzt; sie lösen sich gewissermassen gegenseitig ab. In andern Schliffen wurde dagegen eine zum Teil enge Verknüpfung von der Fasersubstanz und Glaukonit beobachtet. Mehrfach wurde gefunden, dass Glaukonitkörner von der Fasersubstanz umrandet werden und diese gelegentlich auf Rissen in den Glaukonit eindringt. In einigen Fällen waren auch Glaukonit und die Tonsubstanz unregelmässig durcheinandergewachsen, doch so, dass beide Substanzen sich noch scharf voneinander abheben. Nur selten wurde dagegen beobachtet, dass die gegenseitigen Beziehungen derart enge waren, dass man im Zweifel über die Natur der Substanz blieb, indem die Masse

sich teils wie Glaukonit (z. B. Anordnung und Feinheit der Schüppchen), teils wie die Fasersubstanz (Lichtbrechung, Farbe) verhält.

„Tonsubstanz“ II. Viel seltener als eigentliches Bindemittel, hauptsächlich als Hauptbestandteil von Schmitzen und grösseren Einschlüssen, tritt eine völlig isotrope Masse ohne charakteristische Struktur auf. Sie ist von heller oder dunkler brauner Farbe, enthält meist viele Einschlüsse von Calcit und Limonit und stellt wohl noch eine kolloide, wahrscheinlich allophanartige Tonmasse dar. In dem verwertbaren Material spielt sie, da sie in den Hauptgesteinen untergeordnet vorkommt, nur eine unwichtige Rolle.

Ausser diesen beiden deutlich definierbaren „Tonvarietäten“ birgt das Bindemittel vieler Gesteine in kleinen Mengen kryptokristalline bis erdig „amorphe“ (allgemein pelitische) Partien

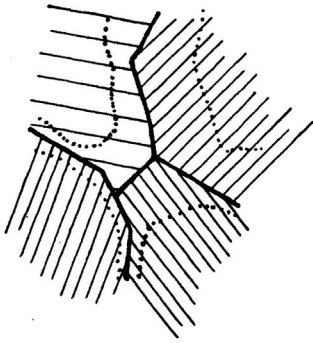


Fig. 8. Quarzkörner (punktiert) mit gleich-orientierten Umwachsungszonen (Brisisandstein, Sevelen)

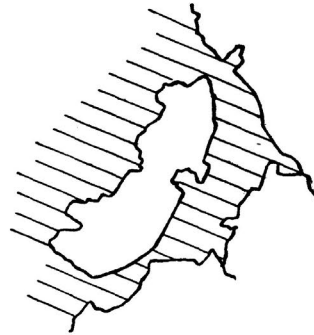


Fig. 9. Korrodierte Quarz in Calcit. (Brisisandstein, Steinbruch Grabs).

verschiedener Art. So finden sich z. B. nicht selten Poren mit Substanzen erfüllt, die auch mit der Ölimmersion 1/12 sich nur als ein Gemisch verschiedener feinsten Partikel erweisen, wobei die Hauptmasse, anscheinend hell gefärbt, in verwaschenen Partien etwas aufhellt (bei gekreuzten Nikols). Sie ist voller Einschlüsse, unter denen grössere schwarze kugelige Gebilde hervortreten. Bei diesen handelt es sich jedenfalls um Pyrit. In einigen Fällen sind auch ganz deutlich helle faserige Ausscheidungen zu erkennen, die als Kieselsubstanz anzusprechen sind. Für die Gesteinsbeurteilung sind alle diese Substanzen kaum von Belang.

Quarz und Kieselsubstanz (Chalcedon). Feingranulierter, nicht mit detritischen Körnern orientierter Quarz ist als Bindemittelsubstanz in den verschiedensten Gesteinsgruppen verbreitet, allerdings meist nur in Mengen von sekundärer Bedeutung. Die Quarzsubstanz ist entweder rein, oder in einigen Gesteinen recht häufig von Glaukonitpartikeln oder von den oben beschriebenen

Fasern (Tonsubstanz I) durchsetzt. Zum Teil mögen die letzteren jedoch erst beim Schleifprozess auf die Quarzmasse verschleppt worden sein.

Sehr wichtig als Zement ist Quarz bei vielen sehr quarzreichen Sandsteinen, wo er in gleicher Orientierung wie das Korn, dieses umwachsen hat. Die Umwachsungszonen verschiedener Körner stossen meist mit glatter Kontaktfläche aneinander und erzeugen so eine völlig lückenlose reine Quarzbindung. Die Grenze zwischen ursprünglichem Korn ist oft nur an einer durch Einschlüsse getrübbten Zone kenntlich. Der sekundäre Quarz ist meist sehr rein. Eine Quarzumrandung von kristallographisch gleich orientiertem Quarz um detritische Quarzkörner ist bekanntlich in Sandsteinen der verschiedensten Formationen eine sehr verbreitete Erscheinung. Tritt diese Erscheinung allein und überall auf, so resultieren reine Quarzite oder Quarzitsandsteine¹⁾, die von den metamorphen Quarziten sich dadurch unterscheiden, dass die detritischen Quarzkörner keine Umkristallisation erfahren haben.

Kieselsubstanz. Im allgemeinen ist eine Verkieselung bei den Sandsteinen und sandigen Kalken der Gamser- und Brisigruppe nur selten und in untergeordnetem Masse zu beobachten. So findet sie sich etwa in den Sandsteinen in Form strahliger Aggregate an Stelle der andern Zemente. In einem Falle nur fand sich im Untersuchungsmaterial eine sandige Echinodermenbrekzie, die eine starke Verkieselung aufwies. Die Kieselsubstanz trat zum Teil als Skelett, zum Teil in grösseren Massen mit sehr schönen Sphärolithen auf. Auf die Festigkeit der meisten Gesteine kann die kieselige Bindung nur einen ganz geringen Einfluss ausüben. Wichtig dagegen ist das Kieselzement bei den Niederischichten, wo es in „amorpher“ bis schwach kristalliner Form mit verschiedenen Einlagerungen als Zwischenmasse bedeutsam ist.

Limonit. Eisenhydroxyde fehlen natürlich selten ganz, sind aber in kompaktem frischem Gestein höchstens in geringer Menge den tonigen Bindemitteln beigemischt. Sehr wichtig werden limonitische Substanzen bei verwitterten Gesteinen, besonders als Produkt des Glaukonits. Sehr starke Limonitbildung tritt meist in der Nähe der Klüfte auf, in denen Wasser zirkuliert. Wellige Limonitschnüre sind gewöhnlich ein Anzeichen beginnender Verwitterung (nicht zu verwechseln mit Tonschmitzen).

¹⁾ Kristallsandstein nach ROSENBUSCH.

Pyrit und Markasit. Der Pyrit ist ein konstanter Bestandteil der Sandsteine. Er tritt fast stets in kugeligen Gebilden auf, die sich gerne in Glaukonit oder gewissen Tonsubstanzen oder in Fossilresten zu Gruppen häufen. Diese Kugeln sind meist sehr klein ($< 0,02$ mm). In den meisten Gesteinen dürfte der Einfluss des Pyrites unwesentlich sein. Nur vereinzelt, am häufigsten in sehr glaukonitreichen, etwas schiefrigen Lagen, wurden besonders in Buchs und Sevelen auch grössere Pyritkugeln bis zu mehreren cm Durchmesser gefunden.

Calcit. Calcit ist in allen untersuchten Gesteinen zugegen, in einigen Sandsteinen nur sehr spärlich, in andern als wichtigste

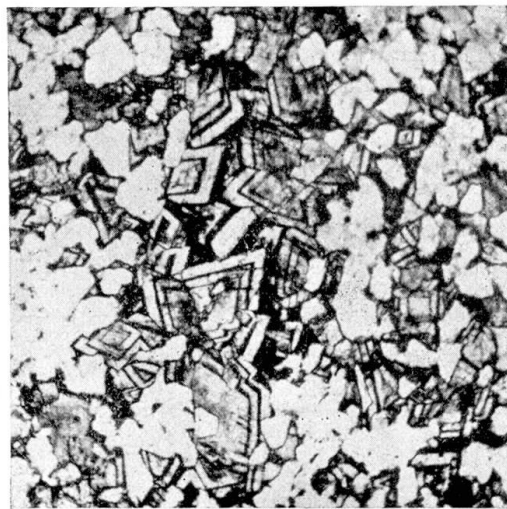


Fig. 10. Kalksandstein mit beginnender Verwitterung. Sehr deutlich treten die Calcitrhomboeder durch die Limonitumrandung sowie das Eindringen des Limonits auf Spaltflächen hervor. Steinbruch Sevelen. Vergr. ca. $30\times$

Bindemittelsubstanz. In den kalkigen Echinodermenbrekzien ist er natürlich der wichtigste Bestandteil. Er tritt von kryptokristalliner bis zu makrokristalliner Ausbildung auf. Charakteristisch ist besonders, dass der Calcit in vielen Sandsteinen weniger als Bindemittelsubstanz auftritt, als vielmehr in Form idiomorpher rhomboedrischer Kristalle, die allerdings im Wachstum oft von den Sandkörnern etwas behindert wurden. Die Grösse dieser Kristalle ist gewöhnlich etwa gleich der der detritischen Quarzkörner, so dass der Calcit sich mehr wie die körnigen Bestandteile verhält. Sehr schön tritt die idiomorphe Ausbildungsweise des Calcites bei leichter Verwitterung hervor (siehe Fig. 10). Bisweilen sind diese Calcitkristalle (besonders im Zentrum) mit feinsten kryptokristallinen Calcitpartikeln anderer Orientierung erfüllt.

Organische Substanz. Fast alle untersuchten Proben enthalten in geringer (wenige Zehntels—1 %) Menge organische Substanz beigemengt, die eine der Ursachen der dunklen Färbung ist. Sie lässt sich ausser im Dünnschliff leicht in den Rückständen beim Auflösen der Gesteine in Salzsäure nachweisen. Es handelt sich danach um schwarze Flocken einer wohl kohligen Substanz.

Serizit. Als Seltenheit wurden in Poren vermischt mit der Fasersubstanz und mit Glaukonit scheinbar neugebildete Serizit-schüppchen gefunden. Von der Fasersubstanz unterscheiden sie sich deutlich durch grössere Dimensionen, durch die Form und die bedeutend höhere Doppelbrechung.

Kaolinit. In den Kieselpartien der Niedriggesteine lagern häufig stark doppelbrechende Schüppchen, die ohne Zweifel Kaolinit entsprechen.

B. DIE PETROGRAPHISCHEN TYPEN

Gruppe I: Quarzitisches Sandsteine mit Kornbindung weit vorwiegend durch orientierten Quarz, Porenzement calcitisch oder glaukonitisch

Quarzitisches Sandsteine sind im Handstück von heller bis dunkler grauer Farbe, oft mit einem Stich ins Grünliche oder Bläuliche. Meist ist parallel der Schichtfläche eine feine Bänderung erkennbar, derart, dass hellere und dunklere Lagen von meist nur wenigen mm bis cm abwechseln. Auf frischer Bruchfläche haben diese Gesteine deutlichen Fettglanz; der Bruch ist splittrig bis muschelrig mit rauher Oberfläche.

Unter dem Mikroskop besteht das auffälligste Merkmal in der vorherrschend lückenlosen Verwachsung der Quarzkörner. Die einzelnen Körner sind von gleich orientiertem Quarz umwachsen und bilden so grössere Individuen, die oft mit glatter Fläche aneinandertossen. Die Grenze zwischen ursprünglichem Korn und der Umwachsungszone ist in manchen Fällen gut kenntlich an einem durch Einschlüsse getrübten Streifen. Ursprünglich waren die Quarzkörner meist etwas gerundet. Als Porenzement treten Quarz und Glaukonit, einzeln oder zusammen, auf. Der Calcit bildet meist idiomorphe Rhomboeder von der Grösse der Quarzkörner. Die makroskopisch deutliche feine Bänderung wird in erster Linie durch den etwas wechselnden Glaukonitgehalt der einzelnen Schichten erzeugt. Sie ist im Schliff weit weniger deutlich, da schon eine sehr geringe Vermehrung des Glaukonites eine dunklere Färbung des Handstückes bewirkt.

Zu der Gruppe der quarzitischen Gesteine wurden die Formen gerechnet, deren Quarzgehalt über 80 % beträgt. Als obere Grenze der untersuchten Proben dürfte ein Quarzgehalt von 90 bis 95 % angesehen werden. Die Grösse der vorwiegend isometrischen Körner bewegt sich meist zwischen 2 und 4 mm; sie ist durchschnittlich grösser als bei den quarzärmern Typen. Die Strukturverhältnisse dieser Gesteine sind in Fig. 11 skizziert worden, siehe auch Fig. 1, Taf. I.

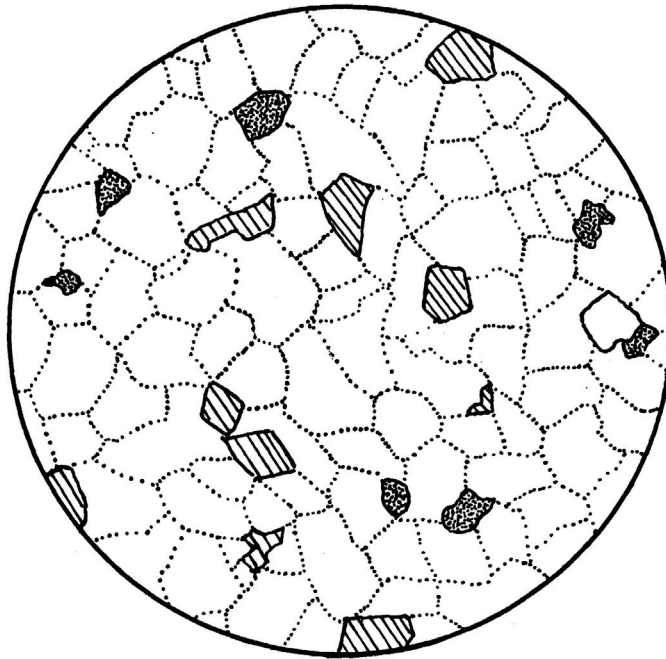


Fig. 11. Struktur der Gruppe I. Calcitkristalle = schraffiert, Glaukonit = punktiert, Quarz = weiss, punktierte Linie deutet auf unmittelbare Kornverwachsung. Brisischichten Steinbruch Sevelen. Vergr. 40×

An einer typischen Probe wurden die folgenden quantitativen Bestimmungen ausgeführt:

Bindungszahl	5 bis 6 (meist 5 oder 6)
Bindungsmass (BM)	0,88
Zahl der Körner mit BM = 1	42 %
Grösse der Körner (Mittel)	0,3 mm
Hauptvariation	0,2 bis 0,4 mm
Extreme (selten)	0,1 und 0,5 mm
Menge des Bindemittels (Porenzement) ca. 12 %, wovon $\frac{3}{4}$ Calcit.	

Von einer weiteren Probe wurde eine vollständige Analyse ausgeführt (Analyse Nr. 1, Tabelle I). Das Gestein leitet infolge des geringeren Quarzgehaltes schon zu den Gesteinen der nächsten Gruppe über. Im Schliff wurde etwa 80 % Quarz, 15 % Glaukonit und

3 bis 4 % Calcit bestimmt. Die Werte der Analyse stehen mit diesem Befund völlig im Einklang. Da das eisenreiche Silikat, Glaukonit, im Bindemittel vorwiegt, sind naturgemäss die Werte von Fe-Oxyden und MgO relativ hoch.

Von den quarzitischen Sandsteinen liegen keine technischen Untersuchungen vor. Verschiedene vergleichende qualitative Prüfungen deuten jedoch darauf hin, dass die Gesteine dieser Gruppe eine bedeutend geringere Druckfestigkeit und auch Zähigkeit aufweisen als die der zwei folgenden Gruppen. So lassen sich zum Beispiel die quarzitischen Sandsteine in der Achatsschale weit leichter zerdrücken und zu Pulver zerreiben als die andern. Eine Diskussion darüber wird später erfolgen.

Die Gesteine der Gruppe I kommen nur untergeordnet im Steinbruch Sevelen in der Brisischicht vor.

Gruppe II: Sandsteine mit teilweiser Bindung durch orientierten Quarz, teilweiser Bindung durch calcitisches, glaukonitisches oder toniges Kontakt- und Porenzement.

Entsprechend des grösseren Bindemittelgehaltes ist die Farbe bei den Gesteinen dieser Gruppe im Handstück dunkler als bei den vorigen. Sie wechselt von graugrün zu schwärzlichgrün; oft ist deutlich ein bläulicher Ton vorhanden. Bei scharfem Zusehen sind meist noch von blossem Auge die quarzreicheren Partien von den bindemittelreicheren durch die hellere Farbe zu unterscheiden. Streifung durch feine Schichtung ist auch hier verbreitet; oft weder am Handstück noch im Dünnschliff, dagegen ganz auffallend an geschliffenen Flächen (Fig. 4, Taf. II) sichtbar. Der Bruch ist splittrig mit rauher Bruchfläche und typisch fettig-öligem Glanz.

Im Dünnschliff zeigt sich, dass auch bei dieser Gruppe ein Teil der Quarzkörner von gleich orientiertem Quarz umwachsen ist, und auf diese Weise eine direkte quarzige Kornbindung erzeugt wird. Häufig aber treten Lücken in dieser direkten Kornbindung auf, die mit dem Bindemittel erfüllt sind. Vielfach tritt zwischen den einzelnen Körnern auch eine ganz schmale lückenhafte Zone von Bindemitteln auf. Es sieht so aus, wie wenn die Körner an den Verwachsungsflächen verunreinigt wären. Dieses beginnende Kontaktzement scheint teils aus Glaukonit, teils aus den Fasern der Tonsubstanz I zu bestehen. Nach der Art des Bindemittels können unterschieden werden: Gesteine mit vorwiegend glaukonitischem Bindemittel und Gesteine mit gemischtem tonig-glaukonitisch-calcitischem Bindemittel. Ge-

steine mit weit vorwiegend nur tonigem oder tonigem und calcitischem Bindemittel lagen im Untersuchungsmaterial nicht vor.

In Fig. 3, Taf. II sind die Verbandsverhältnisse eines speziell glaukonitreichen Gesteins dieser Gruppe skizziert. Die Quarzkörner sind noch alle unter sich direkt verbunden. In grösseren Poren tritt reichlich Glaukonit und vereinzelt Calcit auf. Calcit bildet wie gewöhnlich vorwiegend idiomorphe rhomboedrische Einzelkristalle. Ein eigentliches Kontaktzement ist in diesem Falle noch spärlich.

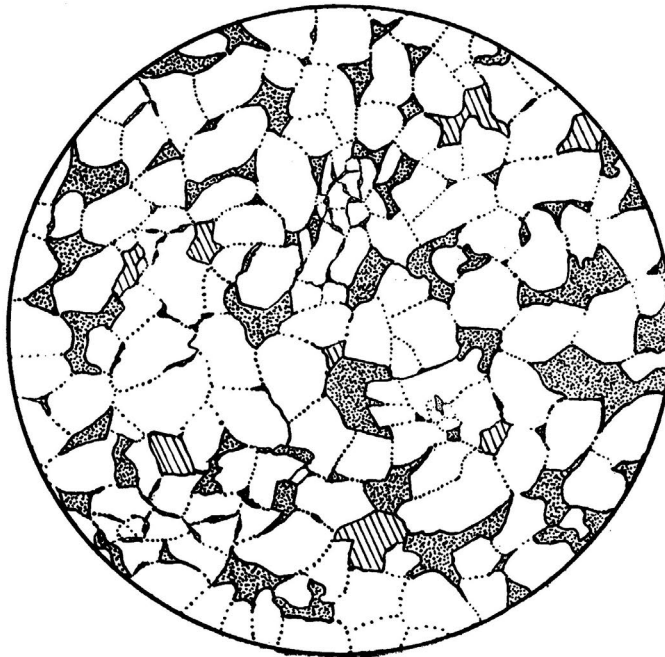


Fig. 12. Strukturform der Gruppe II. Bezeichnungen wie bei Fig. 11. Relativ glaukonitreiche Form. Brisischichten Steinbruch Sevelen. Vergr. 40 ×

Die quantitativen Werte eines solchen glaukonitreichen Gesteines sind z. B.:

Bindungszahl	4,0 (meist 3—5)
Bindungsmass (BM)	0,55
Körner mit BM = 1	wenige %
Grösse der Körner (Mittel)	0,25 mm
Hauptvariation	0,2 bis 0,3 mm (Max. 0,5 mm)
Bindemittel	um 25 %

Die Körner sind vorwiegend isometrisch, oft deutlich gerundet.

In vielen Fällen ist das Bindemittel sehr raschem Wechsel unterworfen, meist sogar innerhalb eines Dünnschliffes. Gewisse Partien sind vorwiegend glaukonitisch wie bei Fig. 12; in andern Partien tritt Tonsubstanz zu Glaukonit und ebenso finden sich Teile, die fast rein calcitisch sind. Nicht selten umfassen grosse einheitliche Calcit-

kristalle viele Poren. Auch der Quarzgehalt ist in diesen Gesteinen oft innerhalb des kleinsten Raumes grossen Schwankungen unterworfen, ohne dass der Gesteinscharakter als Ganzes sich veränderte. Recht häufig ist hier die direkte Quarzbindung durch ganz feine Glaukonit- oder Tonpartikel unterbrochen (Fig. 2 u. 4, Taf. I). Die makroskopisch wahrnehmbare, im Schliff nur mühsam erkennbare Schichtung beruht einerseits auf abwechselnd etwas quarzreicheren und quarzärmeren Lagen, ferner in heterogener Verteilung besonders des Glaukonits und schliesslich auch im Wechsel des Bindemittels. Bisweilen ist zudem infolge Verwitterungsvorgängen der Glaukonit in den einzelnen Lagen etwas verschieden gefärbt.

Pyrit tritt in ganz kleinen rundlichen Gebilden im allgemeinen in geringen Mengen auf, kann aber doch gelegentlich sich beträchtlich anhäufen.

Die Sandsteine, bei denen eine direkte Quarzverwachsung noch wichtig ist, enthalten um 70 % oder darüber Quarzkörner. Eine chemische Analyse wurde nicht ausgeführt; der Chemismus wird sich leicht aus dem mikroskopischen Befund ableiten lassen.

Von den Sandsteinen dieser Gruppe liegen vereinzelte Daten von technischen Prüfungen¹⁾ an Gesteinen vor, die gleichzeitig mikroskopisch untersucht worden sind.

¹⁾ Bemerkungen zu den Prüfungen der Festigkeitseigenschaften:

1. Die statischen Würfeldruckfestigkeiten werden in kg cm^{-2} angegeben. In der Regel wird sie an der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (E. M. P. A.) an Würfeln von 7 cm Kantenlänge ausgeführt. Falls die Gesteine ganz fehlerfrei sind, spielt das genaue Innehalten dieser Dimensionen bei sehr feinkörnigen Gesteinen wie bei den vorliegenden keine grosse Rolle. Ausgeführt werden diese Bestimmungen nach 28 tägiger Trocknung (trocken), nach 28 tägiger Wasserlagerung (nass) und nach 25 maliger Frostwirkung im Wasser gesättigten Zustande (nach Frost).

2. Die Zähigkeit kann angegeben werden als spezifische Schlagarbeit, welche erforderlich war, um den Steinwürfel (7 cm Kantenlänge) durch ein Fallgewicht von 50 kg durch wiederholtes Schlagen, zuerst aus 1 cm Fallhöhe und sodann aus jeweils um 1 cm vergrösserten Fallhöhen, zum Bruch (erstmaligen Zerspalten) zu bringen. Die spezifische Schlagarbeit hat somit die Dimension $= \text{cm kg cm}^{-3}$. In der Regel wird dieses Ergebnis noch durch die Druckfestigkeit dividiert; da beide von der gleichen Dimension sind, resultiert eine dimensionslose Grösse, die als Zähigkeitsfaktor bezeichnet wird (cm kg cm^{-3}).

$\frac{\text{cm kg cm}^{-3}}{\text{kg cm}^{-2}}$. Auch die Zähigkeitsprüfungen werden an trockenem, nassem und durchfrorenem Material ausgeführt. Die Werte besitzen eine viel grössere Streuung als die der Druckprobe.

1. Sandstein aus Steinbruch Gampion (Sevelen). Übergangsform der Gruppen I und II, relativ grobkörnig (0,3 mm), sehr reich an Quarzkörnern (um 80 %), mit ca. 50 % direkter Kornverwachsung durch orientierten Quarz, übriges Bindemittel rasch wechselnd, Calcit und Glaukonit vorwiegend, Tonfasern nur ganz spärlich (Fig. 2, Taf. I). Zeigt vorzügliche Feinschichtung (Fig. 4, Taf. II).

Druckfestigkeit, trocken	⊥ Lager	2559 (2403—2951) kg cm ⁻²
(Würfelkante 7 cm)	// Lager	2976 (2837—3188) kg cm ⁻²

2. Sandstein aus Steinbruch Gampion (Sevelen). Feiner gekörnt als 1, 70—75 % Quarz. Calcit, Glaukonit als Porenzement, Fasersubstanz (vorzüglich entwickelt) sehr oft als Kontaktzement, teils nur als feiner Saum, teils in grösserer Menge. Direkte Quarzverwachsung in ca. 25 %. Art und Menge des Bindemittels sind auch im selben Schliff sehr starkem Wechsel unterworfen. Glaukonit um 10 %, Calcit um 10 %, Tonsubstanz um 5 %. Vorzügliche Feinschichtung. Die Mikrostruktur zeigen die Fig. 4 u. 5, Taf. I.

Druckfestigkeit, trocken	⊥ Lager	3397 (2845—4161) kg cm ⁻²
(Würfelkante 7 cm)	// Lager	3153 (2961—3326) kg cm ⁻²

Eine weitere schon ältere Bestimmung an Material aus Sevelen zeigt ebenfalls Druckfestigkeiten, die mit den vorigen übereinstimmen (trocken 2921 kg cm⁻², nass 3104 kg cm⁻², nach Frost 3096 kg cm⁻²). Da keine Gesteinsprobe vorliegt, ist die Zugehörigkeit zu dieser Gruppe nicht ganz sicher, aber sehr wahrscheinlich, da die Aufschlüsse im ersten alten Bruch sich ganz in dieser Gesteinsgruppe befanden.

Diese vereinzelt Bestimmungen zeigen übereinstimmend, dass die quarzreichen Sandsteine der Gruppe II von einer hohen Druckfestigkeit sind (Mittel um 3000 kg cm⁻²), Prüfungen auf Abnützung und Zähigkeit fehlen leider. Die Zähigkeit ist aber zweifellos schon recht hoch und dürfte den folgenden Bestimmungen (III. Gruppe) nahekommen. Sie wird mit abnehmendem Quarzgehalt eher zu-

3. Die Abnützbarkeit wird einerseits im Sandstrahlgebläse nach GARY bestimmt durch Aufblasen eines normierten Sandes mit 3 Atm. Druck und 2 Minuten Versuchsdauer. Gemessen wird die durchschnittliche Tiefe der abgenützten Schicht. Bei den Abnützungsversuchen durch Abschleifen nach BAUSCHINGER wird das Material 200 mal bei einer Belastung von 0,5 kg cm⁻² mit Radius von 50 cm auf einer Schmirgelscheibe gedreht. Gemessen wird auch hier die mittlere Dicke der abgenützten Schicht. Dieser Versuch wird trocken und in wassergesättigtem Zustande ausgeführt. Zur Beurteilung des Strassenbaumaterials scheint diese Bestimmung zweckmässiger als die mit dem Sandstrahl.

nehmen. Auch die Abnutzungswerte dürften sich nicht erheblich von denen der folgenden Gruppe unterscheiden.

Die Gesteine der Gruppe II stellen eine der Hauptformen des Brisandsteins des Rheintalgebietes dar. Sie sind gegenwärtig am besten im Steinbruch Gampion in Sevelen aufgeschlossen, wo diese Gruppe in erster Linie in Abbau steht.

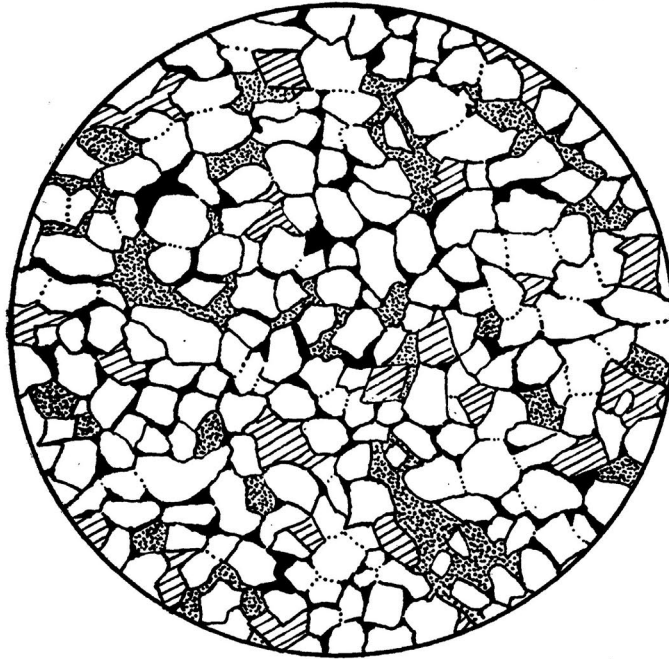


Fig. 13. Strukturform der Gruppe III, relativ sandreich und arm an der Tonfaser substanz (schwarz). = Nr. 3, Seite 210. Brisischichten, Steinbruch Sevelen.
Vergr. 40 $\times$

Gruppe III: Sandsteine mit vorwiegend indirekter Kornbindung und glaukonitisch-tonigem-calcitischem Bindemittel.

Die Gesteine dieser Gruppe zeigen im Mengenverhältnis der Quarzkörner und der Bindemittelsubstanzen sehr grosse Unterschiede. Da aber innerhalb weiter Grenzen Gesteine getroffen wurden, die abgesehen vom Mengenverhältnis nichts prinzipiell anderes bieten, seien hier alle diese Gesteine zusammengefasst. Wesentlich ist, dass der Quarzgehalt 40 bis über 70 % beträgt und unter den Bindemittelsubstanzen meist alle drei oben erwähnten zusammen, in stark wechselnden Verhältnissen, auftreten.

Im Handstück sind die Gesteine der III. Gruppe immer ganz dunkel, grünlichschwarz, oft mit bläulichem Ton, noch häufiger aber grauschwarz bis tiefschwarz. Die frische Bruchfläche ist splittrig,

oft ziemlich glatt. Meist sind die Gesteine so feinkörnig, dass einzelne Bestandteile von blossem Auge schwer zu erkennen sind. Quarzreichere Formen zeigen oft noch ölig-fettigen Glanz, calcitreiche lassen bisweilen glitzernde Spaltflächen des Calcites erkennen.

Unter dem Mikroskop zeigt sich, dass in allen Fällen nur noch relativ wenige Körner direkte Kornbindung zeigen. Auch eine Bindung durch Kieselsubstanz (faserig) und feingranulierten Quarz (Quarzmosaik) spielt im ganzen eine sekundäre Rolle, wenn sie auch in einigen Proben ziemlich häufig ist. In erster Linie lagert sich

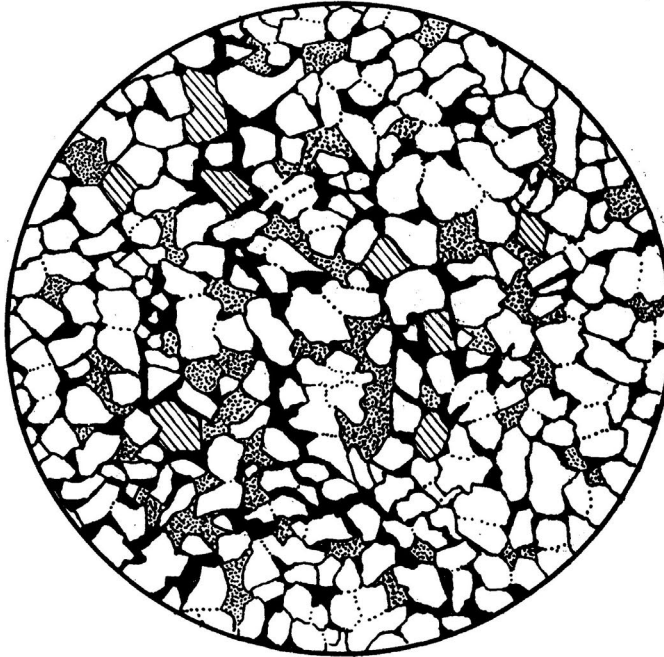


Fig. 14. Strukturform der Gruppe III, reicher an Tonsubstanz, Hauptgestein des Steinbruch Buchserberg = Nr. 4, Seite 211. Obere Gamserschichten. Vergr. 40 ×

zwischen die einzelnen Körner eine mehr oder weniger feine Schicht von toniger oder glaukonitischer, seltener calcitischer Substanz. Die Bindungszahl kann bei den quarzreicheren Varietäten im Durchschnitt 4 erreichen, meist bleibt sie jedoch darunter; sie ist schwer zu ermitteln, einerseits wegen der unregelmässigen Kornverteilung im Schliff, andererseits wegen der Unsicherheit in der Beurteilung der indirekten Kornbindung. Das Bindungsmass erreicht selten 0,5.

Die Bindemittelsubstanzen treten ausser als Kontaktzement in erster Linie als Porenzement auf. Da durch die unregelmässige Anordnung der Sandkörner neben den Textur- auch viele Strukturporen auftreten, bilden die Bindemittelsubstanzen oft grössere zusammenhängende Partien. Im allgemeinen findet sich die Tonsubstanz vor-

zugsweise als Kontaktzement oder als Füllmittel der Texturporen, Glaukonit tritt als Kontakt-, Textur- und Strukturporenzement auf. Calcit bevorzugt die grösseren Strukturporen oder tritt nach Art der Sandkörner in isolierten idiomorphen Kristallen auf. Das Mengenverhältnis der Bindemittelsubstanzen schwankt von Probe zu Probe, oft aber auch innerhalb desselben Handstückes oder gar des gleichen Schliffes. In der Mehrzahl der Fälle tritt in den quarzreicheren Gesteinen Tonsubstanz und Glaukonit in etwa gleicher Menge auf, während Calcit zurücktritt. Die Abnahme der Quarzkörner bedingt somit

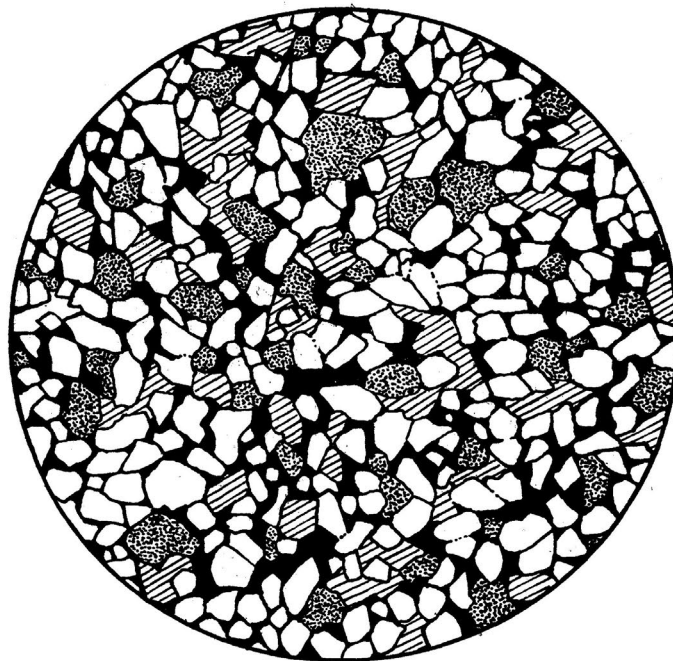


Fig. 15. Strukturform der Gruppe III, schon relativ arm an Quarz, reich an Glaukonit, Tonsubstanz und Calcit. Entspricht Nr. 6, Seite 212. Steinbruch Sevelen. Gamserschichten. Vergr. 40 $\times$

in erster Linie starke Zunahme des Calcites. Pyrit ist immer vorhanden, zumeist in geringer Menge.

Von dieser Gruppe liegen am meisten technische Untersuchungen vor.

3. Sandstein aus Steinbruch Gampion (Sevelen) mit 65—70 % Quarzkörnern (Übergangsform von Gruppe II zu III). Die direkte Kornverwachsung tritt schon stark zurück (10—15 %). Glaukonit (10—15 %) und Calcit (10—15 %) bilden die Porenfüllmasse, letzterer auch idiomorphe Einzelkristalle. Tonfasersubstanz vorwiegend nur als schmaler Kontaktzementsaum. Das Korn ist mittelfein (um 0,2 mm). Struktur wie gewöhnlich starkem Wechsel unterworfen (Fig. 13).

Druckfestigkeit (Würfelkante 7 cm)	⊥ Lager	trocken nass nach Frost 2619 kg cm⁻² 2641 kg cm⁻² 2668 kg cm⁻²
Zähigkeit	a) Schlagarbeit pro cm ³	b) Zähigkeitsfaktor
trocken	363 cmkg · cm ⁻³	0,138
nass	352 cmkg · cm ⁻³	0,133
nach Frost	661 cmkg · cm ⁻³	0,233
Abnützbarkeit	a) durch Abschleifen	b) mit Sandstrahl
trocken	0,047 cm	0,020 cm
nass	0,093 cm	—

4. Sandstein vom Steinbruch Buchserberg mit ca. 60 % Quarzkörnern. Farbe fast schwarz. Durch Ausmessen wurde folgendes festgestellt:



Fig. 16. Kalksandstein (Gruppe IV) mit Basalzement von mesokristallinem Kalzit (weiß mit gestrichelten Korngrenzen) und relativ spärlichen Sandkörnern. Steinbruch Beckenried. Vergr. 40×

Gehalt an: Quarz 58 %, Tonsubstanzen 17 %, Glaukonit 17 %, Calcit 8 %. Chemische Analyse siehe Nr. 2 der Tabelle.

Kornbindungszahl	2–3 (relativ gleichmässig)
Bindungsmass	0,3–0,4 (vorwiegend indirekt)
Korngrösse	0,1–0,2 mm (Extreme 0,05 und 0,4 mm)

Eine typische Schichtung zeigte sich nicht. Strukturskizze siehe Fig. 14.

Druckfestigkeit (Würfelkante 7 cm)	⊥ Lager	trocken nass nach Frost 2505 kg cm⁻² 2478 kg cm⁻² 2544 kg cm⁻²
---------------------------------------	---------	---

Zähigkeit	a) Schlagarbeit pro cm^3	b) Zähigkeitsfaktor
trocken	423 $\text{cmkg} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,169
nass	335 $\text{cmkg} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,135
nach Frost	770 $\text{cmkg} \cdot \text{cm}^{-3}$	0,303
Abnützbarkeit	a) durch Abschleifen	b) mit Sandstrahl
trocken	0,039 cm	0,024 cm
nass	0,093 cm	—

5. Sandstein vom Steinbruch Buchserberg. Petrographische Beschaffenheit ähnlich Nr. 4. Normales schwarzes Gestein des Steinbruches.

Druckfestigkeit (Würfelkanten 4,5–6 cm)	trocken	3092 (2929–3187) kg cm^{-2}
	nass	2596 (1946–3372) kg cm^{-2}
	nach Frost	3013 (2588–3699) kg cm^{-2}

Die Würfel mit etwas verschiedener Grösse ergaben keine charakteristischen Unterschiede in der Druckfestigkeit.

Abnützbarkeit	durch Abschleifen
	A. 0,062 cm
	B. 0,051 cm

6. Sandstein vom Steinbruch Gampion (Sevelen) mit vorwiegend Basalzement. Quarzkörner ca. 60–65 %, Calcit 15 %, Glaukonit 15–20 %, Tonsubstanz (Fasern) 10 %. Alle Bindemittelsubstanzen rasch wechselnd, neben dem Basalzement auch Partien mit direkter Kornbindung. Glaukonit bildet Porenfüllmittel und rundliche Körner von grösseren Dimensionen als Quarz. Calcit (meist mesokristallin) bildet oft einheitliche Individuen durch mehrere Körnerlücken. Struktur siehe Fig. 15. Charakteristisch sind die sehr zahlreichen (in jedem Schliff) scharf abgegrenzten Tonschieferschmitzen (amorphe braune Tonsubstanz mit mehr oder weniger zahlreichen Quarzkörnern, Glaukoniten und kleinern Calcitpartikeln).

Kornbindungszahl	0 bis 6
Bindungsmass (indirekt)	0 bis 1
Bindungsmass (direkt)	0 bis 1
Korngrösse	0,15 bis 0,2 mm
Druckfestigkeit	$\perp$ Lager 2914 (2714–3118) kg cm^{-2}
(Würfelkante 7 cm)	$\parallel$ Lager 3265 (3160–3445) kg cm^{-2}

7. Sandstein vom Steinbruch Buchserberg (Zugehörigkeit zu Typ III nur vermutet, da Material nicht eingesehen).

Druckfestigkeit	trocken	3620 (3060–4040) kg cm^{-2}
(Würfelkante 6 cm)		

Diese Untersuchungen zeigen, dass auch die Gesteine der Gruppe III von einer ähnlich hohen Druckfestigkeit sind wie die der II. Gruppe; im wassergesättigten Zustand und nach Frost zeigt sich

keine charakteristische Änderung. Recht auffallend ist, dass auch bei Nr. 6 die Druckfestigkeit auffallend hoch ist, bei einem Gestein reich an Tonschmitzen und mit relativ schon geringem Sandgehalt. Über Zähigkeitsproben und Abnützbarkeit siehe in einem weitem Abschnitt.

Der relativ grosse Glaukonitgehalt und das Vorkommen von feinverteiltem Pyrit lässt besonders die quarzarmen Gesteine dieser Gruppe sehr rasch verwittern. Als erstes Anzeichen verfärbt sich das Gestein braun durch Verfärbung des Glaukonites. Die Calcitrhomboeder treten durch braune Säume stark hervor. Bei fortschreitender Verwitterung wandeln sich die Gesteine in braunen limonitischen Sand um.

Die Gesteine der Gruppe III sind besonders typisch für die Gamserschichten, wobei im obersten Abschnitt die quarzreichen Formen vorherrschen, im untern sich jedoch die quarzärmern, besonders kalkreichern, tonschieferreichen Sandsteine vorfinden. Vereinzelte Lagen der Brisischichten weisen ebenfalls solche Gesteine auf. Sie werden in erster Linie im Steinbruch am Buchserberg abgebaut.

Gruppe IV: Sandsteine mit weit vorwiegend kalkigem Zement (Kalksandsteine).

Da die Gesteine dieser Gruppe glaukonit- und tonarm sind, ist das Handstück meist von heller oder dunkler grauer Farbe; tritt Glaukonit in grösserer Menge auf, so wird natürlich die Farbe dunkler. Der Bruch ist splittriger, meist weniger scharf als bei den vorigen Typen. Ein stärkerer Fettglanz ist selten; meist sind Calcitkristalle an glitzernden Flächen erkennbar. Nicht selten treten auch calcitische Fossilreste stärker hervor.

Wie bei den Gesteinen der Gruppe III ist auch bei den Kalksandsteinen der Quarzkörnergehalt sehr starken Schwankungen unterworfen. In vereinzelten Fällen stieg dieser bis über 75 %, so dass der Calcit fast nur als Kontaktzement auftritt; meist aber ist der Kalkgehalt viel grösser und mag in den meisten Fällen 40 bis 60 % betragen. Neben Calcit ist häufig in ansehnlicher Menge Kieselsubstanz an der Kornbindung beteiligt. Der Calcit tritt teils in mikro- bis kryptokristalliner Form, teils in meso- bis makrokristallinen Individuen mit öfters rhomboedrischer Begrenzung auf. Die Quarzkörner sind zumeist nicht direkt verwachsen, häufiger noch ist indirekte Kornbindung. Ein grosser Teil der in Calcit eingebetteten Quarzkörner weist starke Korrosionserscheinungen auf. Die Korngrösse ist dieselbe wie bei Gruppe III (Korndurchmesser meist 0,1 bis 0,3 mm). Glaukonit fehlt selten ganz, tritt aber fast nur in Körner-

forn auf, Ton löst etwa den Calcit ab, ist aber auch untergeordnet. Wellige Tonschnüre mit viel Limonit und in einigen Proben auch eigentliche Tonfetzen sind verbreitet. Von Kalksandsteinen liegen einige chemische Analysen vor, die natürlich entsprechend den stark schwankenden Mengenverhältnissen der Bestandteile grosse Unterschiede aufweisen (Tabelle I, Nr. 3—5).

Bestimmungen an Einzelproben:

Probe vom Steinbruch Beckenried:

Kornbindungszahl	3 (meist 2—4, Extr. 1 und 5)
Bindungsmass	0,45
Korngrösse	0,1 bis 0,3 mm
Bindemittel	35 bis 40 %

Das Bindemittel besteht weit vorwiegend aus Calcit, teils grobkristallin, teils mikro- bis kryptokristallin.

Probe vom Steinbruch Buchserberg:

Bindungszahl	4,5 (meist 4 od. 5, häufig 3 od. 6)
Bindungsmass (gesamt)	0,7
Bindungsmass (direkt)	0,1 bis 0,2
Korngrösse	0,1 bis 0,2 mm
Bindemittel	20 bis 25 %

Das Bindemittel ist fast ausschliesslich kalkig.

Die Kalksandsteine gehen oft in sandige Echinodermenbrekzien über.

Technische Untersuchungen liegen nur vereinzelte vor. Als Beispiel mag folgende dienen:

8. Kalksandstein aus Beckenried (Steinbruch Rieselten). Das Gestein enthält ca. 65 % Quarz. Calcit bildet teils Basal-, teils Poren- oder Kontaktzement, gewöhnlich in mesokristallinen Individuen, seltener mikrokristalline Einlagerungen. Direkte Kornbindung ist untergeordnet. Glaukonit ist spärlich < 5 %. Tonfasern fehlen.

Druckfestigkeit (Würfelkante 7 cm)	trocken	1984 (± 173) kg cm ⁻²
	nass	1861 (± 85) kg cm ⁻²
Abnützbarkeit	(Sandstrahl)	0,05 cm

Andere Bestimmungen von Kalksandsteinen von Beckenried gaben Druckfestigkeiten bis zu 2500 kg cm⁻². Zähigkeitsprüfungen liegen mir nicht speziell vor.

Kalksandsteine sind speziell in den Brisischichten des Vierwaldstätterseegebietes wechsellagernd mit sandigen Echinodermenbrekzien vorhanden. Sie finden sich auch in schmalen Lagen in dem

Brisihorizont des Rheintales in den Steinbrüchen Sevelen und Buchserberg und besonders reichlich im kleinen Steinbruch südlich Grabs. In Beckenried bilden sie die Hauptmasse des Abbaus; in den andern Gebieten werden sie nur untergeordnet mit dem andern Material verarbeitet.

Gruppe V: Echinodermenbrekzien bis Foraminiferenkalke, mehr oder weniger sandig.

Die eigentlichen Sandsteine werden von mehr oder weniger sandigen Kalken begleitet, die nach der Struktur sich meist als Echinodermenbrekzien oder Foraminiferenkalke erweisen.

Die Gesteine sind normalerweise von grauer Farbe und zeigen glitzernde Flächen von Kalkspatkristallen. Das Korn ist oft durch grosse Fossilreste ziemlich grob.

Im Mikroskop zeigt es sich, dass diese Gesteine partienweise aus mesokristallinen Körnern (0,2 bis 0,6 mm) und partienweise aus einer krypto- bis mikrokristallinen Masse mit sehr zahlreichen Foraminiferenresten aufgebaut sind. Die mesokristallinen Körner grenzen teils ebenflächig, teils ausgebuchtet und verzahnt ineinander. In stark wechselnden, meist geringen Mengen (5 bis 30 %) sind Sandkörner sehr unregelmässig verteilt eingelagert, in noch geringerer Menge Glaukonitkörner und tonige Einschlüsse. Die groben Calcitkristalle lassen bisweilen noch Reste von organischer Struktur (Echinodermenschalen) erkennen.

Gruppe VI: Sandige Tonschiefer.

Nur ganz untergeordnet in Schmitzen oder dünnen Lagen innerhalb der Sandsteine fanden sich tiefschwarze schiefrige Gesteine, die sich im Mikroskop als sandige Tonschiefer erweisen. Für Strassenbauzwecke ist dieses Material natürlich ganz unbrauchbar; doch soll es der Vollständigkeit halber kurz beschrieben werden.

Der Hauptbestandteil dieser Schiefer ist eine tiefbraune bis hellbraune Tonsubstanz, die nicht den Faserbau der Tonsubstanz I zeigt; sie erscheint im Gegenteil fast völlig strukturlos und ist isotrop. Sie ist voller opaker Einschlüsse kleinster Dimensionen, die einesteils als Pyrit, andernteils als Limonit bestimmt wurden. Daneben ist mehr oder weniger reichlich Calcit in Form unregelmässiger Ausscheidungen oder als Fossilrest eingelagert. Die Tonmasse enthält ausserdem ganz unregelmässig schlierig verteilt Quarzkörner (10 bis 40%) und mehr oder weniger reichlich Glaukonit, ebenfalls in isolierten Körnern.

Gruppe VII: Kieselkalke.

Nur ganz vereinzelt fanden sich im untersuchten Material Gesteinsformen, die als Kieselkalke anzusprechen sind. Makroskopisch zeigte eine Probe das Aussehen einer gewöhnlichen Echinodermenbrekzie. Auch unter dem Mikroskop war die kalkige Grundmasse wesentlich gleich aufgebaut wie unter V. beschrieben mit etwa 20 % Quarzkörnern. Recht eigenartig war die starke Verkieselung in Form radialfaseriger Kristallaggregate, die teils isoliert, teils in zusammenhängendem Skelett auftreten. An einer Stelle des Schliffes sind sehr grosse Sphärolithe vorhanden. In den stark verkieselten Partien treten häufig idiomorphe Calcitkristalle auf.

Gruppe VIII: Feinstkörnige Sandsteine mit vorwiegend kieseligem Basalzement.

Die Gesteine dieser Gruppe sollen hier kurz erwähnt werden, obwohl sie heutzutage noch nicht verwertet werden, aber immerhin im gleichen Gebiet vorkommen und nach oberflächlicher Beurteilung wohl ähnliche Eigenschaften aufweisen wie die Gamser- und Brisi-sandsteine.

Im Handstück erscheinen diese Gesteine dunkelgrauschwarz und sind deutlich viel feinkörniger als die vorbesprochenen. Man würde sie eher für Tonschiefer (trotz der wenig schiefrigen Ausbildung) als für Sandsteine halten. Der Bruch ist rauh splittrig. Die Zähigkeit ist sehr gross, ebenso wahrscheinlich die Druckfestigkeit (sehr mühsames Pulverisieren mit dem Achatmörser).

Unter dem Mikroskop erwiesen sich die wenigen untersuchten Proben (von Räfis) als Sandsteine mit vorwiegend Basalzement. Die Körner sind etwa 0,02 bis 0,06 mm gross, vorwiegend eckig. Quarz nimmt etwa 50—70 % ein.

Auffallend reichlich sind unter dem detritischen Material Zirkon in losen Körnern oder idiomorphen Kristallen, Turmalin und Rutil. Verbreitet sind Muskovitblättchen und vereinzelt finden sich Feldspäte. Die Gesteine enthalten gegen 10 % Glaukonit, der meist grössere Dimensionen erreicht als die Sandkörner. Bisweilen erweist sich der Glaukonit als homogene, einheitlich anisotrope Körner. Der Calcit tritt ebenfalls in Rhomboedern, aber nur spärlich auf. Bisweilen sind die Rhomboeder mit Kieselsubstanz erfüllt (Pseudomorphose). Die Bindemittelsubstanz besteht weit vorwiegend aus einer verschieden gefärbten Kieselmasse, die grossenteils noch vorwiegend „amorph“ mit mikrolithenartigen Einlagerungen ist. Weitere

Einlagerungen bestehen in Calcitschüppchen, Kaolinitblättchen und relativ reichlich schwarzen organischen Substanzen. Wellige Limonit-Tonschnüre sind sehr verbreitet. In der Analyse (Nr. 7) fällt der relativ grosse Tonerdegehalt auf.

Tabelle I
Analysen von Sandsteinen und Sandkalken der
mittleren Kreide

Nr.	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	88,91	78,34	62,05	50,43	48,00	26,90	81,85
Al ₂ O ₃	1,08	3,30	1,51	1,39	0,36	1,36	6,22
Fe ₂ O ₃	1,99	4,90	0,66	0,87	0,80	1,14	2,56
FeO	1,68	—	1,09	1,08	0,94	1,02	—
MgO	0,80	2,26	0,12	0,51	0,25	1,22	1,38
CaO	1,91	3,35	18,22	24,35	26,62	36,48	0,99
Na ₂ O	0,57	0,25	0,52	0,57	0,44	0,63	0,44
K ₂ O	0,55	1,57	0,59	0,59	0,45	0,23	2,35
MnO	0,00	0,04	0,04	0,03	0,02	0,00	0,02
TiO ₂	0,02	0,24	0,00	0,05	0,10	0,17	1,00
P ₂ O ₅	0,00	0,09	0,02	0,03	0,03	Sp.	0,05
H ₂ O ⁺	1,05	2,10	0,66	0,62	0,45	0,90	1,73
H ₂ O ⁻	0,16	0,12	0,05	0,15	0,57	0,08	0,19
CO ₂	1,05	2,90	14,31	19,38	20,98	30,30	0,60
S	—	0,29	—	—	—	—	Sp.
Summe	99,77	99,75*	99,84	100,05	100,01	100,43	99,38**

*) Dazu etwas organische Substanz.

**) Dazu sehr reichlich bituminöse organische Substanz.

Nr. 1: Quarzreicher Brisisandstein (Gruppe I—II), Steinbruch Gampion Sevelen, alter nördlicher Bruch. (Anal. J. JAKOB.)

Nr. 2: Probe der obersten Lagen der Gamserschichten, schwarz, mit Ölglanz (Gruppe III), Steinbruch Buchserberg, Hauptgestein. (Anal. F. DE QUERVAIN.)

Nr. 3: Kalksandstein mit spärlich Glaukonit, Steinbruch Rieselten bei Beckenried, Hauptgestein. (Anal. J. JAKOB.)

Nr. 4: Kalksandstein (Gruppe IV), Steinbruch Grabs. (Anal. J. JAKOB.)

Nr. 5: Kalksandstein (Gruppe IV), Steinbruch Lopperberg. (Anal. J. JAKOB.)

Nr. 6: Kalkschieferlage aus Gamserschichten, Steinbruch Buchserberg. (Anal. F. DE QUERVAIN.)

Nr. 7: Niederisandstein, westlich Unter-Räfis (aus Profil Seite 187). (Anal. F. DE QUERVAIN.)

C. BEURTEILUNG DER TECHNISCHEN EIGENSCHAFTEN

Die Festigkeitseigenschaften der Sandsteine und überhaupt der klastischen Gesteine hängen in erster Linie von der Art der Bindung der einzelnen Trümmerbestandteile ab, im speziellen (hier in der Mehrzahl der Fälle) von den

Tabelle II
Werte der technischen Prüfungen

		Sandsteine Mittl. Kreide Gruppen II und III	Quarzitsand- steine Vögtlinshoffen	Flyschsand- steine
Druckfestigkeit kg cm ⁻²	trocken	2960 [12] (2505—3620)	2365 [6] (1745—2884)	2122 [11] (1747—2700)
	nass	2640 [5] (2389—3104)	2071 [6] (1379—2509)	2108 [11] (1606—2720)
	nach Frost	2735 [5] (2364—3096)	2135 [4] (1528—2567)	2085 [11] (1507—2784)
Zähigkeit*				
A. Spezifische Schlagarbeit cmkg cm ⁻³		484 [6] (335—770)	120 [13] (63—187)	210 [31] (63—622)
B. Zähigkeitsfaktor		0,185 [6] (0,133—0,303)	0,060 [13] (0,030—0,083)	0,100 [31] (0,025—0,300)
Abnützbarkeit				
A. Sandstrahl		0,022 [2] (0,020—0,024)	0,105 [6] (0,031—0,172)	0,064 [11] (0,030—0,115)
B. Abschleifen	trocken	0,048 [3] (0,039—0,057)	0,062 [6] (0,048—0,079)	0,086 [11] (0,057—0,110)
	nass	0,093 [2] (0,093)	0,118 [6] (0,093—0,133)	0,226 [11] (0,148—0,314)
Absolute Porosität = Spez. Gew./Raumgew.		2,74 [5] (1,83—3,29)	6,29 [5] (5,28—7,54)	2,55 [10] (1,10—4,41)
Wasseraufnahme in % des Raumgewichts		0,13 [5] (0,06—0,37)	1,17 [5] (0,79—2,02)	0,12 [10] (0,01—0,20)

*) Werte für trocken, nass und nach Frost zusammengezählt, da die Streuung sehr gross und die Einzeldaten keine charakteristischen Tendenzen zeigen.

Mit Ausnahme einiger Druckfestigkeitsdaten wurden hier nur Bestimmungen verwertet, die in den letzten Jahren nach einheitlichen Methoden an der E. M. P. A. ausgeführt wurden (siehe Seite 206). Die Zahl in [] zeigt die Zahl der speziell untersuchten Gesteinsproben.

Beziehungen der Quarzkörner untereinander und zu den Bindemittelsubstanzen. Diese Beziehungen seien hier nochmals zusammengestellt nach ihrer Bedeutung in den einzelnen petrographischen Gruppen:

1. Die Quarzkörner sind untereinander durch Anwachsrande von gleich orientiertem Quarz verbunden mit oft ebenflächiger Begrenzung dieser Anwachsrande. Diese Erscheinung tritt auf in Gruppe I in der überwiegenden Mehrzahl aller Bindungen, Gruppe II stark wechselnd, ca. 60—20 % aller Bindungen, Gruppe III nur untergeordnet 20—0 % aller Bindungen.

2. Die Quarzkörner sind zum Teil noch direkt verwachsen, enthalten aber auf der Begrenzungszone mehr oder weniger reichlich Faserpartikel, zum Teil unterbrochen, zum Teil zusammenhängend. Dies ist besonders charakteristisch für Gruppe II.

3. Zwischen den Körnern lagert ein breiterer Saum von Faser-substanz. Dies ist verbreitet bei Gruppe III, tritt auch schon bei Gruppe II auf.

4. Zwischen den Körnern lagert grob kristallisierter (gewöhnlich mesokristalliner) Calcit. Bei Gruppe IV als Kontakt-, Poren- oder Basalzement in 80—100 % aller Bindungen, bei II und III in 10—40 % meist nur als Poren- oder Kontaktzement.

5. Die Körner stehen durch Glaukonit in Verbindung. Tritt bei allen Gruppen auf, jedoch meist unter 20 %. In der Regel ist Glaukonit Porenzement.

6. Die Körner sind durch feingranulierte oder faserige Quarzsubstanz verbunden. Diese Erscheinung tritt bei Gruppe I—IV auf, indessen immer in geringer Menge.

Wie nun die vorausgegangenen Ausführungen zeigen, sind Gesteine mit einheitlichem Bindemittel nicht sehr verbreitet, ja bei den besonders häufigen Gesteinen der Gruppen II und III ist gerade der ständige Wechsel der Art des Bindemittels besonders typisch; es wäre somit auch mit grossen Versuchsserien kaum möglich, die Eigenschaften zu verfolgen, welche eine spezielle Bindesubstanz dem Gestein verleiht. Umso mehr wird es bei den vereinzelt technischen Bestimmungen nur möglich sein, ganz roh die Beziehungen zwischen Petrographie und Festigkeitseigenschaften zu diskutieren, wobei auch einige auf nicht „exaktem“ Wege gewonnenen Beobachtungen sowie Vergleiche mit ähnlichen Gesteinen herangezogen werden müssen. Über die einzelnen petrographischen Gruppen lässt sich etwa folgendes aussagen:

Gruppe I. Die Sandsteine mit direkter Quarzbindung erinnern stark an gewisse Triassandsteine, zum Beispiel an die bekannten als Pflastersteine auch in der Schweiz viel verwendeten Quarzitsandsteine von Vögtlinshoffen (Vogesen).

Die Vögtlinshoffer Gesteine enthalten in der Regel über 90 % Quarzkörner von meist etwas grösseren, vor allem viel unregelmässigeren Dimensionen. Die Form der Körner ist oft gerundet. Die Bindung erfolgt vorwiegend durch sekundäre Quarzüberrindung, ist jedoch nicht völlig lückenlos, weshalb diese Gesteine eine viel

grössere Porosität aufweisen. Untergeordnet tritt auch Bindung durch granulierten Quarz und Kieselsubstanz auf. In der Tabelle finden sich die Mittelwerte von sechs verschiedenen an der E. M. P. A. untersuchten Proben; leider kann ihnen nicht eine Bestimmung an einem der rein quarzitäen Kreidesandsteine gegenübergestellt werden. Eine Bindung mit orientierter Quarzumlagerung dürfte loser sein, wenn die Kontaktflächen glatt sind, und fester, falls sie unregelmässig, besonders verzahnt sind. Besonders im ersteren Falle scheint die Zähigkeit und auch die Druckfestigkeit, zum Teil vielleicht infolge der Sprödigkeit des Quarzes, geringer zu sein (siehe z. B. Zähigkeitsproben der Vögtlinshoffer Gesteine). Die quarzitäen Gesteine sind absolut wetterfest; höchstens kann partienweise durch Zersetzung des Glaukonits oberflächlich eine leichte Bräunung eintreten. Die Abnützung kann als äusserst gering beurteilt werden.

Gruppen II und III. Die heterogenen Gesteine der Gruppen II und III weisen die höchsten Festigkeitseigenschaften bei geringster Abnützung auf. Man kommt hier zur Ansicht, dass es die Bindung der Quarzkörner mit der Fasersubstanz ist, welche dies, vorwiegend in der Form eines schmalen Kontaktzementes, in erster Linie bewirkt. Der Einfluss von Glaukonit und Calcit, die immer mehr oder weniger an der Bindung beteiligt sind, ist schwer genauer abzuschätzen. Treten diese Substanzen vorwiegend nur als Porenzement auf, so scheinen sie durchaus nicht ungünstig zu wirken; im Gegenteil weisen derartige Gesteine (Kontaktzement durch die Fasersubstanz und Quarz, Porenzement mit Glaukonit und Calcit) die höchste Druckfestigkeit, Zähigkeit und die geringste Abnützung auf. Eine gewisse Elastizität dürfte gerade durch diese Beimengungen verursacht werden, die besonders die Zähigkeit erhöht. Die quarzreichen Formen sind praktisch wetterfest, mit Ausnahme der je nach dem Glaukonitgehalt sich stärker oder schwächer bemerkbaren Bräunung. Sie wirkt, wenn der Glaukonit (was bei der Mehrzahl der Proben zutrifft) wesentlich nur Porenzement ist, nicht auflockernd, da sie nur ganz oberflächlich bleibt und infolge der kompakten Struktur nicht in die Tiefe dringen kann. Gesteine dagegen, die schon fast ein Basalzement von Calcit mit reichlicher Glaukoniteinlagerung und (was häufig der Fall ist) auch grösserem Pyritgehalt besitzen, sind bei langer Lagerung an den Atmosphärien auch einer Auflockerung in der Tiefe ausgesetzt. Sie können nicht als wetterfest bezeichnet werden.

Gruppe IV. Die Kalksteine mit kalkigem Bindemittel nähern sich in verschiedener Beziehung den Flyschsandsteinen, die bekannt-

lich als Pflastersteine und auch als Schotter von grosser Bedeutung sind. In der Tabelle II sind einige Mittelwerte von Flyschsandsteinen verzeichnet. Wie der wechselnde Sandgehalt, die ungleiche Korngrösse nicht anders erwarten lassen, ist bei den Flyschsandsteinen die Streuung der Werte gross. Von den kalkigen Kreidesandsteinen fehlen noch ausreichende Bestimmungen zur Gegenüberstellung. Das stets feine und viel gleichmässigere Korn, die innige Verzahnung der korrodierten Körner mit dem Bindemittel, dürften auch in den Festigkeitseigenschaften Unterschiede zeigen, und zwar in günstigem Sinne. Sehr wechselnd ist der Sandgehalt. Der Glaukonit ist selten in einer solchen Menge vorhanden, dass er wesentlich schädlich wirkt.

D. VERWENDUNG UND EIGNUNG

Nach den petrographischen Befunden und den technischen Prüfungen lässt sich die folgende Verwendung der verschiedenen Gesteinsgruppen ableiten.

Pflastersteine. Für die Herstellung von Pflastersteinen lässt sich praktisch im Steinbruch eine Auswahl innerhalb des Materiales nach den vorerwähnten Gruppen treffen. Folgende Eigenschaften dürften im Mittel erwartet werden:

Gruppe I (quarzitische Sandsteine): Ähnlich wie Quarzitsandsteine von Vögtlinshoffen, doch etwas glatter, da weniger uneben beim Spalten, dagegen äusserst geringe Abnützung, absolut wetterfest.

Gruppe II (sehr quarzreiche Sandsteine): Für diesen Zweck am besten geeignet, anfänglich glatter als Granit, da feinkörniger und besser spaltend; sehr geringe Abnützung lässt aber eine gewisse Rauigkeit länger erhalten. Leichte Bräunung wirkt nicht qualitätsverschlechternd, sie verschwindet auch durch Verkehr. Völlig wetterfest.

Gruppe III (Sandsteine mit reichlichem Kontaktzement): In den sandreichen Varietäten gut, mit geringer Abnützung, sehr zähe. Allfällige Bräunung bleibt nur oberflächlich. Die quarzarmen Formen mit reichlich Glaukonit, Kalkspat und häufig Pyrit, sowie mit den nicht seltenen Tonflatschen sind zu vermeiden. Sie können schlechte Eigenschaften bedingen.

Gruppe IV (Kalksandsteine): Sandreiche Gesteine gut bis sehr gut, falls arm an Glaukonit (was gewöhnlich der Fall). Oberfläche ist weniger rau als bei Flyschsandsteinen, dagegen oft weniger glatt als bei Kieselkalk. Abnützung geringer als bei Flyschsandsteinen. Bei glaukonitreichen Gesteinen eventuell Bräunung leicht eintretend.

Schotter. Bei der Verarbeitung zu Schotter ist innerhalb des brauchbaren Materiales praktisch eine Auslese kaum zu treffen. Sie richtet sich ganz nach den Abbauverhältnissen des Steinbruchs. Eine Beurteilung der verschiedenen Gruppen ist deshalb ohne besondern Wert.

An sich ist das Material der Gruppen I—IV für alle Zwecke in hohem Masse geeignet, bei denen ein scharf splittiger, spitz keilförmiger Schotter und Splitt von hoher Druckfestigkeit und Härte mit relativ dichter Packung vorteilhaft ist. Am wenigsten zweckmässig sind diese Gesteine für die gewöhnliche Chaussierung, weil das zusammenhaltende staubartige Bindemittel fehlt. Eignung ist dagegen vorhanden für Walzschotter mit oder ohne Oberflächenbehandlung, Abdecksplitt, Teermakadam (eventuell Vorsicht bei gewissen Rohteeren bei den quarzitischen Gesteinen), Teerasphaltschotter, Schotter für Innentränkung u. s. w. Die Verwendung (besonders für die Tragschicht) ist natürlich weitgehend durch die Frachten bestimmt, da bei geeigneten Verfahren hierfür sich auch viele andere, weichere Schotter durchaus eignen, wie neuere Untersuchungen zeigten. Beim Erwärmen sind keinerlei Risse zu befürchten. Auch relativ sandarme Gesteine sind für Strassenschotterzwecke noch völlig brauchbar, selbst die Echinodermenbrekzien der Gruppe V.

Bahnschotter. Alle Gesteinsvarietäten eignen sich für Bahnschotter, mit Ausnahme der schon mehrfach erwähnten glaukonitreichen; hier wäre bei diesem Verwendungszweck Schädigung durch Verwitterung denkbar.

Weitere Verwendung. Besonders die glaukonitarmen, leichter bearbeitbaren Echinodermenbrekzien sind als wetterbeständige Mauersteine, Stellplatten, Bordsteine u. s. w. verwendet worden.

Es ist beabsichtigt, Erfahrungen über Verhalten in der Praxis, weil die Anwendung noch zu jung ist, erst später mitzuteilen.

E. BEMERKUNGEN ÜBER ENTSTEHUNG UND DIAGENESE

Einige Angaben über Entstehung und Diagenese mögen hier nachfolgen (siehe besonders auch Lit. 14, 23). Als Unterlage der nutzbaren Schichten tritt im ganzen Gebiet der obere Schrattenkalk auf. Er ist ein meist sehr reiner, teils dichter, teils etwas oolithischer Kalkstein. An Fossilien enthält er hauptsächlich Foraminiferen, Mollusken, seltener Korallen und nie Ammoniten. Er ist vorzugsweise geschichtet, teils unter Mitwirkung von Organismen, teils rein chemisch niedergeschlagen und sehr wahrscheinlich in seichten Meeren entstanden. Im südlichen helvetischen Faziesgebiet ist der Schrattenkalk

nur wenig mächtig, indem die ganze untere Abteilung in Mergel- bis Mergelkalkfazies vorliegt. Der Übergang zu den vollkommen anders gearteten Schichten der mittleren Kreide bedeutet einen sehr scharfen Fazieswechsel. Sehr wahrscheinlich erfolgte er nicht überall gleichzeitig. Die Ursache dieses Wechsels muss in völlig veränderten Sedimentationsbedingungen zu suchen sein, die teilweise durch sehr stark schwankende Tiefenverhältnisse des Meeres mit vorübergehender Landperiode, teilweise durch eine plötzlich aufgetretene Sandzufuhr von einem Festland ausserhalb des helvetischen Faziesgebietes verursacht wurden. Im allgemeinen liegt die mittlere Kreide leicht transgressiv auf dem Schrattenkalk. Die untersuchten Sandsteine und Echinodermenbrekzien sind ohne Zweifel küstennahe Bildungen; für die einzelnen Schichten dürften etwa die folgenden Sedimentationsbedingungen anzunehmen sein. Die Gamser-schichten sind neritische Bildungen. Entsprechend der starken Mächtigkeitszunahme gegen Südosten kann angenommen werden, dass die Einschwemmung von Sand und Ton von E oder SE erfolgte. Unter ähnlichen Bedingungen wurden wohl die Brisisandsteine abgelagert; es scheint jedoch weniger Ton zugeführt worden zu sein, wogegen sich reichlicher Calcit niedergeschlagen hat. Eigenartig ist die Bildung der Echinodermenbrekzien, besonders in Anbetracht ihrer grossen Ausbreitung, die sich auf ein Gebiet von 100 km Länge und etwa 15 km Breite erstreckt. Die Ablagerung erfolgte in sehr geringer Meerestiefe; Diagonalschichtung beweist, dass sie von Ebbe und Flut beeinflusst war. Der Vorgang der Zertrümmerung und des Transportes solcher Mengen von Echinodermenschalen und ihre regelmässige Ablagerung, vermischt mit einigen Sandkörnern, auf einem so weiten Gebiet lässt sich schwer vorstellen. Über die Bildung der sehr quarzreichen Nieder-schichten kann man sich nach ARNOLD HEIM ebenfalls kaum ein richtiges Bild machen, jedenfalls scheinen sie infolge des feineren Kornes in grösserer Entfernung von der Küste gebildet worden zu sein als Gamser- und Brisischichten. Charakteristisch ist ferner der Kieselreichtum im Bindemittel, der sich aber auch bei der Diagenese gebildet haben kann.

Gewöhnlich wird der Vorgang der Verfestigung (Diagenese) von der eigentlichen Gesteinsmetamorphose abgetrennt. In einem stark gefalteten Gebiet wie in den Alpen muss indessen eine gewisse Metamorphose die Diagenese überlagern, so dass die beiden Vorgänge, die ja eigentlich gleicher Natur sind, kaum mehr ganz voneinander zu trennen sind. Gerade die hohe Festigkeit vieler alpiner Sedimente im Gegensatz zu faziell ähnlichen, gleichaltrigen, nicht oder nur

schwach gefalteter Gebiete zeigt schon das Auftreten von Umlagerungen, die über die gewöhnliche Diagenese hinausgehen, auch wenn man die Gesteine durchaus noch nicht unter die metamorphen rechnen kann. Mit diesen Umlagerungen haben sich schon ARNOLD HEIM und J. SCHOO speziell befasst.

SCHOO versuchte die heutige Ausbildung vieler Kreidesedimente durch grosse Umlagerungen, insbesondere Lösungserscheinungen, zu erklären. Auch die vorliegenden Beobachtungen lassen zum Teil ähnliche Schlüsse zu. Die Beobachtungen an den Dünnschliffen, die als Folge der Diagenese anzusprechen sind, seien hier noch einmal kurz zusammengestellt.

1. Quarzkörner, die innerhalb Calcit auftreten, sind sehr oft in ganz auffallender Weise angefressen, oft sind nur Skelette vorhanden (siehe Fig. 9). Eine starke Korrosion ist ohne Zweifel vorhanden.

2. In mehreren Proben zeigen die ursprünglichen Quarzkörner eine Überwindung von optisch dem Korn gleich orientierter Quarzsubstanz. In diesen Fällen hat umgekehrt sekundär eine Quarzausscheidung stattgefunden.

3. In zahlreichen Schliffen beobachtet man eine Einlagerung von SiO_2 zum Teil in Form strahliger Kieselsubstanz, oder als feingranuliertes Quarzaggregat zwischen den Sandkörnern oder eingelagert in Calcit. Auch hier ist sekundäre Quarzausscheidung vorhanden.

4. Sehr oft ist der Calcit besonders in den sandreichen Gesteinen in kleinen, meist vorzüglich idiomorphen Rhomboedern kristallisiert. Dieser Calcit hat eine Umlagerung erfahren, die in Lösung (vielleicht Wanderung) und langsamem Wiederausfällen bestand.

5. Ursprünglich amorphe Tonsubstanz liegt jetzt sehr häufig in deutlich kristallisierter Form vor (als kleine Fasern).

6. Die Gesteine sind sehr häufig von welligen Limonit- bis Tonhäuten durchzogen, die unter Umständen Rückstände von Lösungen darstellen, oft handelt es sich jedoch lediglich um Verwitterungserscheinungen.

7. Der ursprünglich wohl meist rundliche Glaukonit zeigt Formänderungen, Verschmelzungen, Auflösungen, die sekundär teils auf chemischen, teils auf mechanischen Einwirkungen beruht.

8. Bei vielen kalkreichen Sandsteinen und Echinodermenbrekzien hat eine mehr oder weniger vollständige Umkristallisierung des Calcites stattgefunden.

Punkt 1, 4 und 6 zeigen speziell Lösungs- und zum Teil auch damit zusammenhängende Verdichtungserscheinungen an. Bemerkens-

weiterweise ist auch der Quarz zum Teil aufgelöst worden. Punkt 2 und 3 deuten auf Neufällungen, wie 5 und 8 herrührend von Umlagerungen, verbunden mit Lösung. Gerade J. SCHOO betont, dass im Vergleich zu den Verhältnissen bei Kreidegesteinen von Limburg, diese Umsetzungen bei der alpinen Kreide weit ausgesprochener seien; sie dürften sich deshalb anlässlich der Faltungsperiode ereignet haben. Ob auch Schichtungserscheinungen und Diskontinuitäten innerhalb der Kreidegesteine, wie SCHOO annimmt, wesentlich durch Lösungen bedingt sind, kann nach dem untersuchten Material nicht beurteilt werden und fällt auch aus dem Rahmen dieser Untersuchung.

Eingegangen am 12. August 1931.

LITERATURVERZEICHNIS

1. ADRIAN, H., Geologische Untersuchungen der beiden Seiten des Kandertales. Ecl. geol. Helv., Bd. 13, 1915.
2. AMMANN, E., Praktische Untersuchungen einheimischer Schottermaterialien. Schweiz. mineral. petr. Mitt., Bd. III, 1923.
3. ARBENZ, P., Geologische Untersuchung des Frohnalpstockgebietes. Beitr. geol. Karte Schweiz, Neue Folge, Lief. 18, 1905.
4. BECK, P., Die Bedeutung des Deckenbaues der Schweizeralpen für die Steinbruchindustrie. Schweiz. Zeitschr. Strassenwesen, 1926, Nr. 21—23.
5. BECK, P., Vorläufige Ergebnisse einer geotechnischen Voruntersuchung über die in den Kantonen Bern, Unterwalden, Luzern, Solothurn, Aargau und Basel verwendeten Strassenschotter. Schweiz. Zeitschr. Strassenwesen, 1928, Nr. 19—21.
6. BUXTORF, A., Erläuterungen zur geologischen Karte des Bürgenstockes (Spezialkarte Nr. 27), 1910.
7. BUXTORF, A., Erläuterungen zur geologischen Karte der Rigihoehfluh (Spezialkarte Nr. 29), 1916.
8. GANZ, E., Stratigraphie der mittleren Kreide (Gargasien, Albien) der oberen helvetischen Decken in den nördlichen Schweizeralpen. Neue Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges., Bd. XLVII, 1912.
9. GRENGG, R., Anwendung mineralogischer und petrographischer Erkenntnisse auf die technische Materialprüfung der nichtmetallischen anorganischen Stoffe. N. I. V. M., Erste Mitteilungen, Zürich, 1930.
10. HAUSWIRTH, W., Geologie der Gebirge südlich des Muotatal. Diss. Zürich, 1913.
11. HEIM, ALBERT, Das Säntisgebirge. Beitr. geol. Karte Schweiz, Neue Folge, Lief. 16, 1905.
12. HEIM, ALBERT, Geologie der Schweiz, Bd. II, 1921.
13. HEIM, ARNOLD, Über die Stratigraphie der autochthonen Kreide und des Eozäns am Kistenpass. Beitr. geol. Karte Schweiz, Neue Folge, Lief. 24.
14. HEIM, ARNOLD, Monographie der Churfürsten-Mattstockgruppe. Beitr. geol. Karte Schweiz, Neue Folge, Lief. 20. Speziell: Teil I (1910) und Teil II (1913).
15. HIRSCHWALD, J., Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung. Berlin, 1912.

16. LIECHTI, P., Geologische Untersuchung der Dreispitz-Standfluhgruppe und der Flyschregion südlich des Thunersees. Mitt. Naturf. Ges. Bern, 1930.
 17. LUGEON, M., Les Hautes Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander. Beitr. geol. Karte Schweiz, Neue Folge, Lief. 30.
 18. MEESMANN, P., Geologische Untersuchungen der Kreideketten des Alpenrandes im Gebiet des Bodenseerheintales. Verh. Naturf. Ges. Basel, Bd. XXXVII, 1926.
 19. NIGGLI, P., Mitwirkung der Mineralogen und Petrographen bei der Beurteilung der natürlichen und künstlichen Bausteine und Strassenbaumaterialien. N. I. V. M., Erste Mitteilung, Zürich, 1930.
 20. PANNEKOEK, J. J., Geologische Aufnahme der Umgebung von Seelisberg am Vierwaldstättersee. Beitr. geol. Karte Schweiz, Neue Folge, Lief. 17, 1905.
 21. RENEVIER, E., Hautes Alpes Vaudoises. Beitr. geol. Karte Schweiz, Lief. 16, 1890.
 22. SCHNEEBERGER, W., Die stratigraphischen Verhältnisse von Kreide und Tertiär der Randkette nördlich des Thunersees. Mitt. Naturf. Ges. Bern, 1926.
 23. SCHOO, J., Zur Diagenese der alpinen Kreide. Diss. Zürich, 1922.
 24. STAUB, W., Geologie der Gebirge zwischen Schächen- und Maderanertal. Beitr. geol. Karte Schweiz, Neue Folge, Lief. 32, 1912.
 25. Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz. Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Serie, Lief. 5, 1915.
-

Tafel I



Fig. 1.

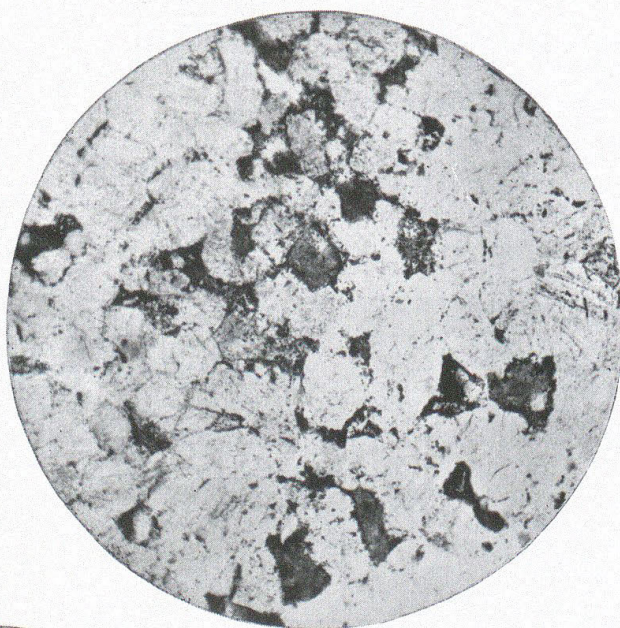


Fig. 2.

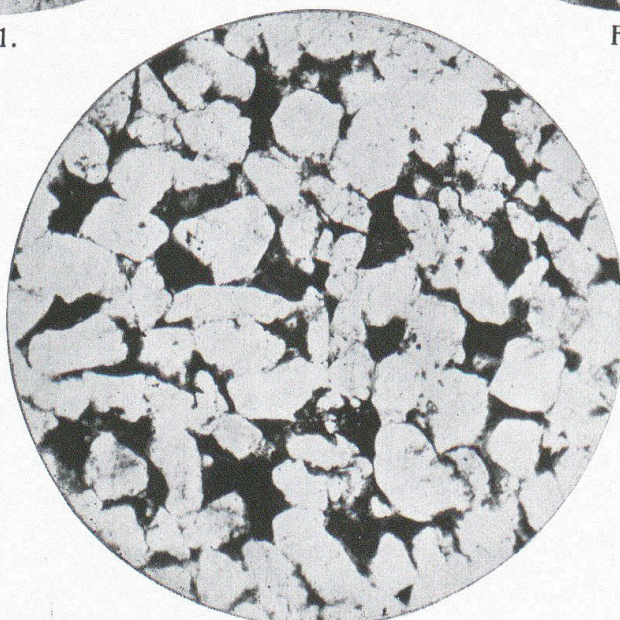


Fig. 3.

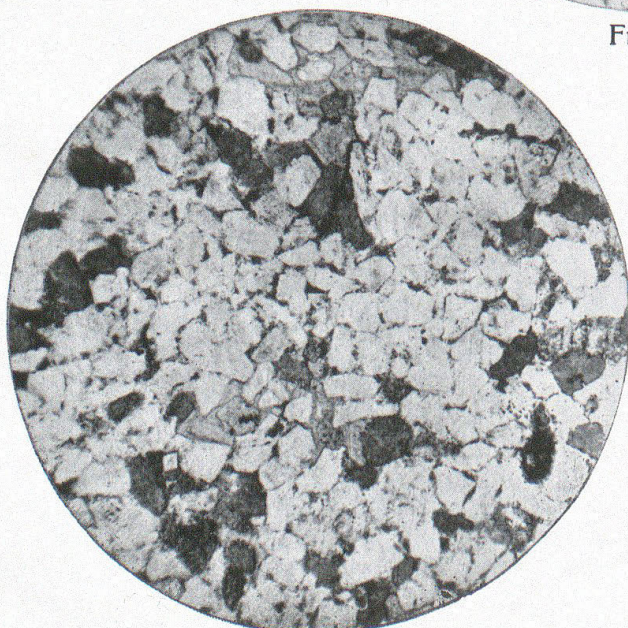


Fig. 4.

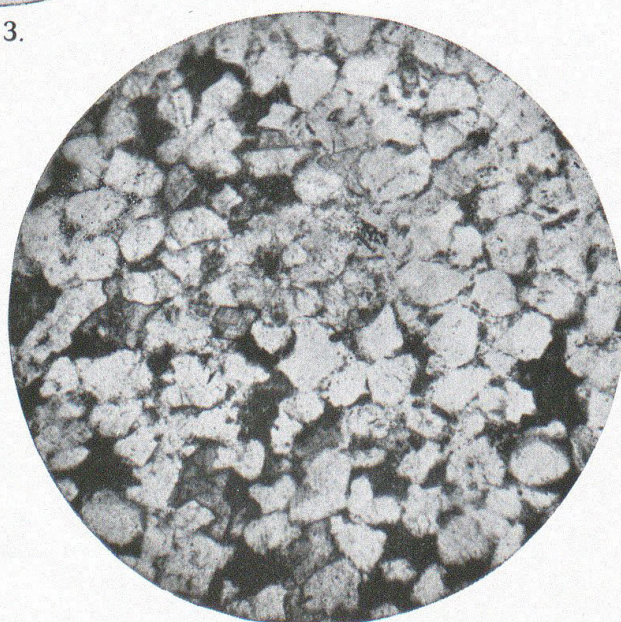


Fig. 5.

Tafel II

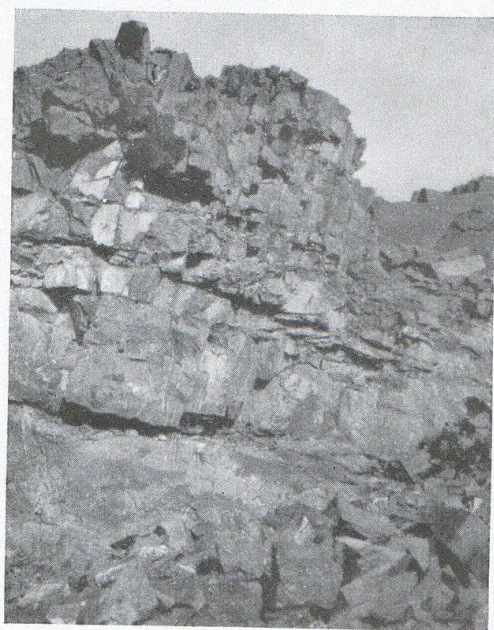


Fig. 1.



Fig. 2.

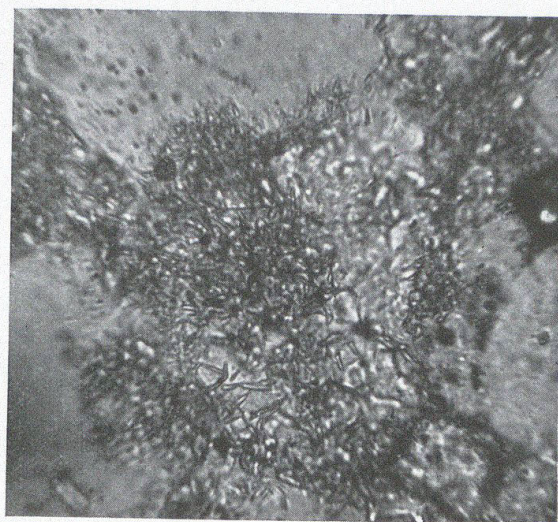


Fig. 3.

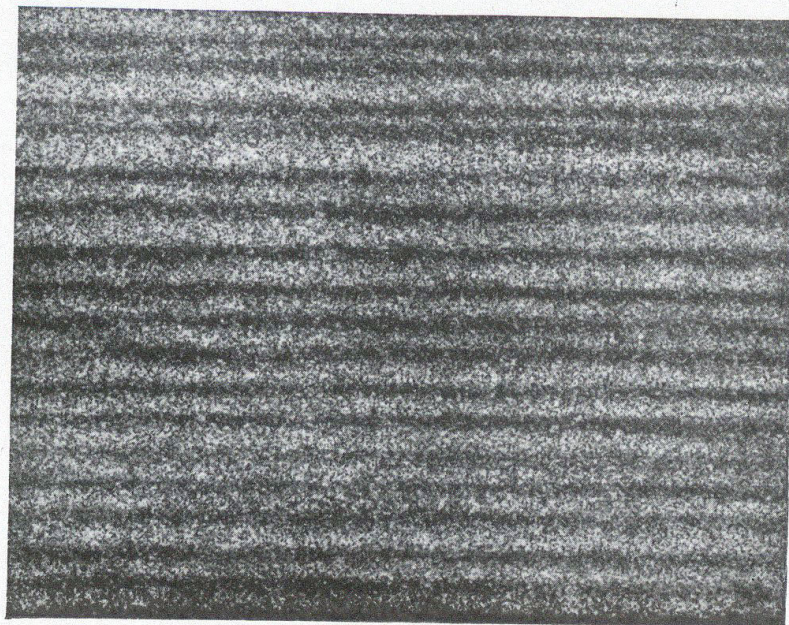


Fig. 4.

Erläuterungen zu den Tafeln

Tafel I

- Fig. 1. Quarzitischer Sandstein (Gruppe I) mit deutlichem Hervortreten der ursprünglichen Körner und der Umwachsungszonen. Steinbruch Sevelen. Brisischichten. Vergr. 40×.
- Fig. 2. Quarzitischer Sandstein mit undeutlichen Umwachsungszonen und Ausbildung vereinzelter Tonfasern auf den Kontaktflächen. Relativ quarzreiche Partie einer Übergangsform I/II = Nr. 1, Seite 207. Brisisandstein, Steinbruch Sevelen. Vergr. 40×.
- Fig. 3. Glaukonitischer Sandstein mit vorwiegend rein quarzigem Kontaktzement und Glaukonit als Porenzement. Gruppe II. Brisisandstein, Steinbruch Sevelen. Vergr. 40×.
- Fig. 4. Sandstein der Gruppe II mit charakteristischem feinem Kontaktzement der Fasersubstanz. Daneben Porenzement aus Glaukonit und Calcit. Brisisandstein, Steinbruch Sevelen. Vergr. ca. 35×.
- Fig. 5. Gleiches Gestein wie 4 mit stellenweisem grösserem Gehalt an Tonfasern. Diese Gesteine stellen die druckfestesten und zähesten dar. = Nr. 2, Seite 207. Vergr. 40×.

Tafel II

- Fig. 1. Partie aus dem alten nördlichen Steinbruch Sevelen, mit sehr starker offener Klüftung an der Oberfläche und noch mit Calcit verheilte Klüftung in den tieferen Schichten. Ebenfalls deutlich die ungleichmässige Bankung des Brisisandsteins.
- Fig. 2. Ausbildung der Fasersubstanz auf den Kontaktflächen der Quarzkörner. Gestein wie Fig. 4, Tafel I. Vergr. ca. 250×.
- Fig. 3. Tonfaserpartie im Kontaktzement. Gestein wie Fig. 4, Taf. I. Die Partie lässt sich auflösen in einzelne Fasern, vermengt mit etwas Calcit und Eisenerzen. Vergr. ca. 600× (mit Immersion 1/12).
- Fig. 4. Feinschichtung beim Brisisandstein. Deutlich auch das Gesteinskorn. = Nr. 1, Seite 207. Steinbruch Sevelen. Natürl. Grösse.