

deren Bearbeitung als typisch auch für die anderen angesehen werden kann. (Tafel V.) Für die Zusammenfassung der geologischen Ergebnisse sei auf das **Schlußwort** verwiesen.

Literatur

- D'AMBROSI, C.: Sulla possibilita d'esistenza di giacimenti di bauxite. *Tecnica Italiana*, Trieste, X. No. 3, Apr. 1955.
- D'AMBROSI, C.: Studio geologico sulla stabilita e consistenza. . . *Ibid.*, Vol. XLVIII, 1956, p. 9.
- D'AMBROSI, C.: Sul colamento per gravita del Flysch lungo la riviera di Trieste. *Boll. Soc. Adriatica di Scienze Naturale*, Vol. XLIX, 1957/58, p. 109.
- D'AMBROSI, C.: Prospezione geologica preliminare presso Trieste. *Rivista Metano*, anno XII, No. 6, 1958, S. 345.
- D'AMBROSI, C.: Cenni sulla folde acquifere di Zaule. . . *Atti del Museo livico distoria naturale*. Trieste, Vol. XXI, fasc. 5, 1958/59, p. 186.
- HEEZEN, B. C.: Modern Turbidity Currents. *Ecl. Geol. Helv.* Vol. 51, No. 3, S. 521.
- JINGHWA HSU, K.: Palaeocurrent structures and palaeogeography of the Ultrahelvetic Flysch Basins. *Bull. Geol. Soc. Am.* 1960, Vol. 71, No. 5.
- KUENEN, P. H.: Transport and sources of marine sediments. *Geol. en Mynb.* 21. Jahrg., 1959, p. 191.
- KUENEN, P. H.: Turbidity currents, a major factor in flysch deposition. *Ecl. Geol. Helv.* Vol. 51, No. 3, S. 1009.
- LOMBARD, A.: Sedimentologie du flysch. *Ecl. Geol. Helv.* Vol. 51, No. 3, S. 1022.

2. Petrographie und Petrologie der eoziänen Flyschsandsteine

VON HANS WIESENER

Die Flyschablagerungen von Triest entsprechen lithologisch weitgehend den Flyschgesteinen der Ostalpen. Es handelt sich um eine rhythmische Folge dunkler, grünlichgrauer Sandsteine mit Mergelzwischenlagen. Die Mächtigkeit der einzelnen Sandsteinbänke schwankt, in Abhängigkeit von ihrer Korngröße, von wenigen Dezimetern bis zu etwa 1,5 m. Die Grenze Sandstein-Mergel ist in der Regel durch das Auftreten zahlreicher Lebensspuren (besonders Wurmrohren) sowie durch Fließ- und Bewegungsmarken (flute casts, drag marks) gekennzeichnet. Flute casts treten nur vereinzelt in den tieferen Lagen des Flysches auf. Sie sind verhältnismäßig klein und flach. (5—6 cm breit, 10 cm lang und 2—3 cm hoch). Bezogen auf den Längsschnitt dieser Gebilde ist eine deutliche Asymetrie zu erkennen. Die Gestalt ist stromlinienförmig, mit einem abgerundeten und einem zugespitzten Ende. Ihre Form entspricht der von Auskolkungen hinter Strömungshindernissen, und wir bezweifeln nicht, daß ihre Entstehung im Sinne von KUENEN (1957) zu deuten ist. Es handelt sich offenbar um Auswaschungen des pelitischen Meeresbodens infolge erhöhter Turbulenz einer Strömung hinter Bodenunregelmäßigkeiten, wobei die entstehenden Hohlformen durch die an die Erosion unmittelbar anschließende Sedimentation von Sand ausgefüllt und damit erhalten werden. Das der angenommenen Strömung entgegen gerichtete Ende dieser Fließmarken blickt nach Osten oder Südosten, so daß aus dieser Richtung das Sedimentmaterial zugeführt wurde. Häufiger, und durch den ganzen Schichtstoß verbreitet, finden sich parallele Rillen an der Basis der Sandsteinbänke. Es sind jene Marken, für die die Bezeichnung „drag marks“ eingeführt wurde.

Die einzelnen Rillen, die in Gruppen auftreten, sind 1—2 cm breit und einige Millimeter tief. Es wurden zwei um 30° divergierende Richtungen dieser Marken festgestellt; sie besitzen ungefähr die gleiche Orientierung wie die flute casts. KUENEN (1957) deutet sie als Schleifspuren von Holz, Pflanzenresten und algen-

überwachsenen Steinen am weichen Meeresgrund. Unsere Meinung über die Entstehung dieser Gebilde wollen wir erst im Zusammenhang mit der sedimentpetrographischen Untersuchung der Flyschgesteine des Wiener Waldes vorbringen.

Anzeichen für eine ungleichmäßige Verdichtung der Pelite unter der Last rasch abgelagerter Sandmassen (load casts) wurden nicht beobachtet, sie sind daher zumindest selten. Auch „convolute bedding“ wurde nicht festgestellt.

Die Sortierung innerhalb der einzelnen Bänke (graded bedding) ist im allgemeinen megaskopisch nicht zu beobachten. Die genauere Untersuchung einer Schicht (Steinbruch W Italocementi, Probe 14 oberhalb g) ergab aber doch eine Abnahme des Maximaldurchmessers vom Liegenden zum Hangenden von 0,5 auf 0,4 mm und eine Abnahme des mittleren Durchmessers von 0,16 auf 0,1 mm.

Korngrößen und Korngrößenverteilung

Die direkte Korngrößenbestimmung mit Hilfe eines Sieb- oder Schlammverfahrens kommt wegen der starken Verfestigung der Sandsteine nicht in Frage. Aus diesem Grunde wurden Querschnittmessungen der Körnchen (600 pro Probe) unter dem Mikroskop durchgeführt. Trägt man die so gewonnenen Korndurchmesser in einem Diagramm auf, das als Abszisse den Logarithmus der Korndurchmesser und als Ordinate die Summenhäufigkeitsprozente angibt, so ist die Verbindung der die Meßergebnisse darstellenden Punkte eine Gerade. Das heißt, daß die scheinbare Korngrößenverteilung der Gaußschen Fehlerverteilungsfunktion entspricht. Es wurde darauf verzichtet, etwa nach dem Sehnenschnittverfahren von MÜNZNER und SCHNEIDERHÖHN (1953), der wahren Korngrößenverteilung

Tabelle 1. Korngrößen- und Mineralanalysen der untersuchten Flyschsandsteine

Proben-Nr.	Italocementi				Cave di Giuseppe die Chiusa				Faccanoni	südl. Serbateo	Aquilinia	südl. Bagnoli
	9 a	14 g _u	14 g _o	15 b	16 b	17 b _u	17 b _o	18 e, f	19	20	22 a	
0,02 —0,064 mm	62 ^{*)}	23	40	17	21	22	41	8	41	43	22	
0,064—0,127	34	27	39	52	57	61	49	39	52	53	62	
0,127—0,181	4	26	12	26	17	15	9	41	7	4	14	
0,181—0,254		10	6	3	5	2	1	8			2	
0,254—0,318		6	2	2				2				
0,318—0,380		6	1					1				
0,380—0,445		2						1				
wahrer mittlerer Korndurchmesser	0,08	0,16	0,13	0,12	0,13	0,12	0,08	0,19	0,10	0,06	0,12 mm	
Quarz ^{*)}	26	48	40	50	54	58	67	11	55	26	65	
Karbonat	66	32	45	42	38	23	15	81	34	65	13	
Feldspate	1	6	8	5	3	4	6	2	6	3	8	
Chalcedon } Hornstein }	4	9	1	3	4	6	6	6	1	5	4	
Biotit	+	+	3	+	+	4	3	+	2	1	5	
Muskovit	1	5	2	+	1	1	3	+	2	+	4	
Chlorite	2	+	1	+	+	4	+	+			1	

*) Die Zahlenwerte beziehen sich auf Prozente.

näher zu kommen, da die Körner sehr unregelmäßig ausgebildet sind. Lediglich die mittlere Korngröße wurde nach KRUMBEIN (1935) auf rechnerischem Wege ermittelt. Die entsprechenden Werte der untersuchten Proben finden sich in Tabelle 1. Da die scheinbaren Korngrößen nur gleich groß oder kleiner als ihre wahren Werte sein können, ist es möglich, eine genügende Anzahl von Messungen vorausgesetzt, den Maximalwert der Korngröße im Dünnschliff zu bestimmen. Die entsprechenden Zahlen sind ebenfalls in der Tabelle 1 angegeben. Aus den mittleren und maximalen Korndurchmessern der einzelnen Proben ergibt sich eine Zunahme der Sortierung mit sinkender Teilchengröße. Dies kommt besonders gut in einem Diagramm zum Ausdruck, wie es von PASSEGA (1957) zur Darstellung der Korngrößenverhältnisse verwendet wird. In der Abszissenrichtung (Abb. 2)

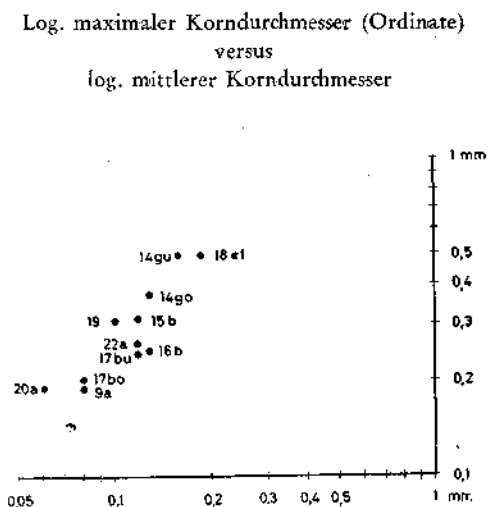


Abb. 2

sind die Logarithmen der mittleren Korndurchmesser (M), und in der Ordinatenrichtung die aus der Graphik abgelesenen 1% Werte (C) aufgetragen. Die wirkliche Sortierung ist naturgemäß besser als die der im Dünnschliff gemessenen Korndurchmesser. Die Zunahme der Saigerung der untersuchten Sandsteine mit sinkendem mittlerem Korndurchmesser läßt sich durch eine ungestörte Sedimentation aus einer heterodispersen Suspension erklären. Es besteht somit eine große Wahrscheinlichkeit, daß die Ablagerung des arenitischen Materials aus Trübungsströmen erfolgte.

Kornorientierung

Die gröberen Sandsteine lassen im allgemeinen keine oder nur eine geringe Orientierung der Komponenten erkennen. In den feineren Typen ist jedoch die Orientierung der Gefügeelemente recht deutlich. Vor allem die Quarzkörnchen, die vielfach längliche Splitterchen darstellen, zeigen eine ausgeprägte Parallelorientierung ihrer Längsrichtung, die offenbar senkrecht auf die ursprüngliche Transportrichtung steht. Blättrige Minerale wie Muskovit, Biotit und Chlorit liegen subparallel zur Schichtung. Diese Minerale winden sich gelegentlich zwischen

den Quarzkörnchen hindurch, was auf ihre Verbiegung zwischen diesen bei der Kompaktion zurückzuführen sein dürfte. Die Abrundung der Körnchen ist gewöhnlich gering. Auch die größten sind splittrig entwickelt.

Mineralbestand

Eine mineralogische Analyse der eozänen Flyschsandsteine von Triest wurde bereits von MALARODA (1957) durchgeführt. Seine Ergebnisse stimmen mit unseren Untersuchungen ziemlich gut überein. Größere Abweichungen ergaben sich nur bei den Angaben über die quantitative Zusammensetzung der untersuchten Gesteine. Dies mag darauf zurückgehen, daß der genannte Autor das Bindemittel getrennt ausweist. Dies erwies sich jedoch bei unseren Auszählungen nicht als notwendig, da wir diese mit Hilfe eines Integrationsokulares nach ZEISS durchführten, wobei auch noch die Komponenten der Matrix mitgezählt werden konnten.

Hinsichtlich der petrographischen Bezeichnung der klastischen Flyschgesteine möchten wir uns MALARODA anschließen und von Sandsteinen, genauer lithischen Sandsteinen sprechen. Die Bezeichnung „Grauwacken“ für diesen Typ der Flyschgesteine ist unseres Erachtens nicht angebracht. Die untersuchten Gesteine bestehen bis zu $\frac{2}{3}$ aus Quarz und phyllitischen oder quarzitischen Gesteinsbruchstückchen, wobei letztere nur untergeordnet auftreten. $\frac{1}{3}$ — $\frac{2}{3}$ des Gesteinsvolumens wird von detritärem Karbonat eingenommen. Der Feldspatgehalt geht bis zu 8% des Gesteinsvolumens. Die Schwermineralien machen 0,5—0,8 Gewichtsprozent aus. Nachfolgend eine kurze Beschreibung der festgestellten Mineralien:

Quarz kommt in splittrigen Körnchen vor. Die Abrundung der Kanten ist gering. Die meisten Körnchen sind einschlußfrei; einzelne enthalten Turmalinkriställchen, andere wieder Rutil oder parallele Einschlufzüge von Graphit. Undulöse Auslöschung und Kornzerfall ist bei etwa 10% der Körnchen zu beobachten. Etwa $\frac{1}{3}$ der Quarzkörnchen ist länglich ausgebildet und dürfte aus Metamorphiten stammen.

Chalcedon ist verhältnismäßig selten. Das Mineral tritt in radialstrahligen Aggregaten auf und ist wahrscheinlich detritären Ursprungs.

Hornsteinbruchstücke sind rundlich bis splittrig ausgebildet. Es kommen feinkristalline und etwas gröbere Typen vor. Bei einzelnen, unregelmäßig ausgebildeten Typen wäre auch authigene Entstehung denkbar.

Mikroklin tritt in klaren xenomorphen Körnern auf und zeigt die kennzeichnende Zwillingsgitterung. Perthitische Mikrokline wurden nicht beobachtet.

Perthit ist regelmäßig in geringen Mengen vorhanden. Die Perthitlamellen sind in Form feiner Adern, teilweise auch etwas größer ausgebildet.

Albit kommt unverzwilligt, in klaren xenomorphen Körnern vor.

Plagioklase treten als klare Körner, teilweise aber auch getrübt, auf. Typische „gefüllte Plagioklase“ fehlen, jedoch sind gelegentlich Sericiteinschlüsse zu finden. Der An-Gehalt schwankt zwischen 10 und 32%.

Regelmäßige Verwachsungen von Alkalifeldspat und Quarz, in der Art der graphischen Gefüge, konnte mehrfach in der Probe 14 g festgestellt werden.

Biotit tritt in braunen Schüppchen auf und ist teilweise chloritisiert. Die Verteilung im Gestein ist unregelmäßig.

Muskovit kommt in kleinen Blättchen vor. Er ist ebenso wie der Biotit und Chlorit im allgemeinen mit Pflanzenhäcksel in den hangenden Partien der Sandsteinbänke angereichert.

Chlorite (grün, deutlich pleodroitisch, kleiner Achsenwinkel, negativer Charakter der Doppelbrechung) gehören der Prochloritreihe an. Andere grüne blättrige Minerale, die aus einem Aggregat winzigster, optisch verschieden orientierter Teilchen bestehen, dürften Zersetzungsprodukte der Biotits darstellen und Glaukoniten nahestehen.

Chromit kommt in braunen durchscheinenden bis durchsichtigen Körnchen, seltener auch in Oktaedern vor. Das Mineral ist relativ häufig und dürfte aus Serpentinmassiven stammen.

Magnetit und Ilmenit treten meist in unregelmäßigen Körnern auf, gelegentlich auch idiomorph und dann unterscheidbar.

Pyritkügelchen stellen vermutlich pyritisierte Exkrementen von Kleinlebewesen dar.

Zirkon ist das wichtigste Schwermineral der untersuchten Flyschproben und tritt in verschiedener Ausbildung auf. Häufig sind idiomorphe Kriställchen, begrenzt von Prismen- und Pyramidenflächen. Nadelige Einschlüsse liegen oft schräg oder quer zur c-Achse. Kurz- und längsäulige Typen finden sich zu etwa gleichen Teilen. Rundliche, meist rötliche Zirkone besitzen in der Regel eine narbige Oberfläche, was auf mehrfache Umlagerung oder Ätzung zurückzuführen ist.

Monazit tritt vereinzelt in idiomorphen Körnchen auf. Die Doppelbrechung ist deutlich niedriger als beim Zirkon, auch die Zweiachsigkeit ist nachweisbar.

Turmalin ist recht selten, und zwar in Form brauner idiomorpher Kriställchen zu finden.

Granat ist seltener als der Zirkon, aber doch in jeder der untersuchten Proben zu finden. Es handelt sich größtenteils um unregelmäßige, einschlußfreie Körner; untergeordnet auch um Typen mit kristallographischer Begrenzung (110).

Rutil zählt ebenfalls zu den wichtigsten Schwermineralien und findet sich in länglichen Körnchen und in kleinen Kriställchen.

Chloritoid wurde in einigen Proben festgestellt.

Apatit ist verhältnismäßig selten.

Anatas (blau, idiomorph, einachsig, negativ). Das Mineral konnte nur in einer Probe nachgewiesen werden.

Bruchstücke von Glanzkohlen (die auch größere Dimensionen erreichen) wurden in den Flyschsandsteinen N der Strecke Faccanoni-Obelisco bei „k 5“ beobachtet.

Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Die Schichten im Bereich der Flyschnordgrenze lassen sich zweckmäßig in typischen Flysch, Übergangsbildungen, die aus klastischen Kalkgesteinen und Mergeln aufgebaut sind und Kalkeozän, das vorwiegend aus organogenen Kalksteinen besteht, einteilen. Die für die Flyschsandsteine kennzeichnenden Silikatmineralien und Gesteinsbruchstücke finden sich bereits in den Übergangsschichten, wie z. B. in der Nummulitenkalksteinbank (Probe 18 ef, Faccanoni). Dieses Gestein fassen wir als einen Kalk-Quarzarenit auf, wobei sich auch die reichlich vorhandenen Nummuliten auf sekundärer Lagerstätte befinden. Andererseits enthält der Flysch ca. $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ Kalksteingrus, der aus dem nördlichen Hinterland des Flyschtroges stammt. Miteingeschlossene Fossilien wie Nummuliten und Globigerinen zeigen dies deutlich. Die Einschüttung des Materials erfolgte offenbar weiter im Osten, wie sich aus den Fließmarken auf der Unterseite der einzelnen Flyschsandsteinbänke ergibt. Der Materialtransport im Trog könnte durch Suspensionströme erfolgt sein, doch ließe sich die gute Orientierung der Komponenten in den oberen Partien der Flyschbänke auch durch Strömungen erklären.

Die in den Flyschsandsteinen nachgewiesenen Gesteinsbruchstücke und Minerale geben eine recht klare Vorstellung von der Zusammensetzung des schuttliefernden Hinterlandes. Der relativ hohe Gehalt an frischen idiomorphen Zirkonen in Verbindung mit graphischen Gefügeelementen einzelner Feldspat-Quarzaggregate weist auf granitische bis granodioritische Gesteine. Die Phyllitstückchen, die feinkörnigen Quarzite sowie die mit Graphit durchsetzten Quarze deuten, mit den im allgemeinen länglichen Quarzfragmenten, auf ein Kristallin geringer Metamorphose. Der verbreitet auftretende Chromit läßt sich von Peridotiten bzw. Serpentinmassiven ableiten.

Versuchen wir nun festzustellen, welche Zonen der Dinariden als Liefergebiete in Frage kommen, so ist diese Frage für den Kalkdetritus bereits beantwortet. Es sind die Gesteine des nördlich an den Flysch anschließenden Karstgebietes, die

den Kalkschutt lieferten. Die Phyllitstückchen, die Quarzite und der Chromit stammen wahrscheinlich aus den Ophiolithzonen. Plagioklase, Perthite, Mikrokline und der Zirkon können aus Plutonen der östlichen Fortsetzung des Bachergebirges oder aus der Vardarzone kommen, der Granat aus der metamorphen Hülle solcher Gesteine.

Ob Mineralien infolge von Verwitterungseinflüssen im Anstehenden oder durch diagenetische Vorgänge ausgemerzt wurden und dadurch das paläographische Bild des Hinterlandes eine Verzerrung erfährt, konnte noch nicht festgestellt werden.

Im Gegensatz zum ostalpinen Flysch gibt es im untersuchten Gebiet des Dinariden-Flysches keine trennende Schwelle zwischen Flyschtrog und den Gesteinszonen nördlich davon. Das Grenzgebiet Flysch-Kalkeozän ist daher einerseits durch Übergänge, andererseits aber doch durch einen raschen Fazieswechsel von der relativ seichten Flachwasserfazies der Kalkablagerungen mit reichlich Nummuliten und Alveolinen zur tieferen Flyschfazies gekennzeichnet. Unsere Vorstellungen passen gut zu den Beobachtungen der Kollegen PAPP, KOLLMANN und GOHRBANDT (siehe folgendes). Die Genannten nehmen auf Grund der Analyse der Mikrofauna eine Bildungstiefe von mehreren hundert Metern für die untersuchten Flyschbildungen an. Es sind hier somit die Vorstellungen KUENENS (1958) über die Bildungstiefe der Flyschgesteine bestätigt worden.

Die Ursache des Fazieswechsels von der organogenen und chemischen Ausfällung des Kalkes zur grobklastischen Sedimentation des Flysches ist unseres Erachtens vor allem in reliefbildenden Vorgängen des Hinterlandes zu sehen, die gleichzeitig zu einer Vertiefung des Sedimentationstrogos führten. Die Anzeichen hierfür sind bereits in den klastischen Kalksteinen im Hangenden der Flyschzone zu beobachten. So weisen die Kalkkonglomerate und Kalkbrekzien (bei Kote 38 in der Nähe des Institute Nazionale delle Prevedenza Sociale Ospedale, Proben 7 a, 7 b, 7 d und 8 b) auf diese Vorgänge hin. Es handelt sich bei diesen Gesteinen offenbar um verfestigten Kalkschutt, der im landfest gewordenen Hinterland durch Erosionsvorgängen entstand und in den sich vertiefenden Sedimentationstrog eingeschüttet wurde. Bei den Transportvorgängen mögen auch Rutschungen eine Rolle gespielt haben.

Die Bewegungen an der Flyschuntergrenze sind unseres Erachtens von sekundärer Bedeutung. An verschiedenen Stellen wurde allerdings der ursprüngliche Zusammenhang und Übergang der Kalkfazies in die Flyschfazies durch sie gestört.

Literatur

- D'AMBROSI, C.: Studio geologico sulla stabilità e consistenza dei terreni lungo la costa fra Trieste e Monfalcone con riferimento al tracciato in progetto per il futuro acquedotto di Trieste. Boll. della Società Adriatica di Scienze Naturali. Trieste, 48, 1956, 9—24.
- KRUMBEIN, W. C.: Thin section mechanical analysis of indurated sediments. Jour. Geology. 43, 1935, 482—496.
- KUENEN, Ph. H.: Sole markings of graded graywacke beds. The Journal of Geology. 65, 1957, 231—258.
- KUENEN, Ph. H.: Turbidity currents a major factor in flysch deposition. Eclogae Geologicae Helvetiae, 51, Basel 1958, 1009—1021.
- MÜNZER, H. und SCHNEIDERHÖHN, P.: Das Sehnenschnittverfahren. Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie. 3, 1953, 456—471.
- MALARODA, R.: Arenarie eozeniche della regione di Trieste. Boll. della Società Adriatica di Scienze Naturali. Trieste, 43, 1947, 90—111.
- PASSEGA, R.: Texture as characteristic of clastic deposition. Bull. American Ass. of Petroleum Geologists. Tulsa, USA, 41, 1957, 1952—1983.
- PETKOVIĆ, K. V.: Neue Erkenntnisse über den Bau der Dinariden. Jahrb. Geol. B.-Anst. Wien, 1958, 101, 1—24.