

Zur Tonmineralverteilung nachbruchgefährdeter Gesteinsbereiche im Untertagebau

VON GUNTHER RIEDMÜLLER und BERND SCHWAIGHOFER *)

Schlüsselwörter
Baugeologie
Untertagebau
Gebirgseigenschaften
Mylonitzonen
Tonmineralogie

INHALT

Zusammenfassung	387
Summary	387
1. Einleitung	387
2. Methodik	388
3. Beziehungen zwischen der Tonmineralverteilung in Mylonitzonen und stollenbau- technischen Maßnahmen	388
3.1. Tonmineralassoziationen ohne Montmorillonit	389
3.2. Tonmineralassoziationen mit geringem Montmorillonitanteil	389
3.3. Tonmineralassoziationen mit Montmorillonit als Hauptgemengteil	390
4. Schlußfolgerungen	391
Literatur	391

Zusammenfassung

Die Beziehungen zwischen der Tonmineralverteilung in tektonischen Scherzonen metamorpher Serien und ihrem bautechnischen Verhalten im Untertagebau werden aufgezeigt.

Es konnte festgestellt werden, daß in Mylonitzonen ohne Montmorillonit keine wesentlichen stollenbautechnischen Probleme auftraten. Bei Anwesenheit von Montmorillonit waren zusätzliche Stützmaßnahmen erforderlich.

Summary

The distribution of clay minerals in tectonic shear zones originating from metamorphic rocks and their engineering properties in tunnels have been correlated.

It was demonstrated that there were no special engineering problems in mylonite zones without montmorillonite. The presence of montmorillonite required additional tunnel supports.

1. Einleitung

Bei Hohlraumbauten im Fels kommt es durch das Auftreten mylonitischer Gesteinsbereiche häufig zu bautechnischen Problemen. Eine der Ursachen für die Verminderung der Gebirgsfestigkeit ist die Bildung gleitfähiger Tonminerale in Klüften und Inter-

*) Anschrift der Verfasser: Univ.-Doz. Dr. GUNTHER RIEDMÜLLER, Univ.-Doz. Dr. BERND SCHWAIGHOFER, Institut für Bodenforschung und Baugeologie, Universität für Bodenkultur Wien, A-1180 Wien, Gregor Mendelstraße 33.

granularen. Besonders der reversibel quellfähige Montmorillonit bewirkt schon in geringen Mengen eine wesentliche Herabsetzung der Festigkeitseigenschaften.

Der Zusammenhang zwischen Montmorillonit als Zwischenmittel von Klüften und Verbrüchen im Tunnelbau wurde von L. BJERRUM et al. (1963) aufgezeigt. Gleichzeitig wurde die Forderung erhoben, solche bautechnisch ungünstigen Kluftfüllungen nachzuweisen, um entsprechende Ausbaumaßnahmen durchführen zu können.

Diese für die Baupraxis zweifellos sehr wichtige Erweiterung baueologischer Untersuchungen tritt seit einigen Jahren infolge verbesserter Analysemethoden immer stärker in den Vordergrund.

2. Methodik

Im Zuge zahlreicher Untersuchungen tektonischer Scherzonen im Untertagebau konnten die Verfasser feststellen, daß nicht der Absolutgehalt von Montmorillonit im Gestein bautechnisch von Bedeutung ist, sondern vor allem die Tonmineralverteilung in Intertexturräumen, Mikrorissen und auf Scherflächen. Demnach ist eine Beurteilung der Tonmineralführung in kataklastischen Gesteinen nur dann zielführend, wenn auch geringe Anteile von Montmorillonit (wenige Procente) nachgewiesen werden können (K. JASMUND et al., 1976). Für unsere Untersuchungen erfolgte die Anreicherung der Tonminerale durch Gewinnung der Fraktion $< 2 \mu$.

Die Gesteinsproben wurden nach den in der Tonmineralogie üblichen Analyseverfahren mit H_2O_2 und Ultraschall aufbereitet. Die erweiterte Tonfraktionierung erfolgte im Sedimentations- und Zentrifugenverfahren.

Aus röntgendiagnostischen Gründen wurden die fraktionierten Tonsuspensionen einheitlich mit K- und Mg-Ionen belegt (M. L. JACKSON, 1956, L. D. WHITTIG, 1965).

Die Röntgendiffraktometeranalyse erfolgte an Texturpräparaten, die in modifizierter Form nach H. DÜMMLER und O. SCHROEDER (1965) durch Aufsaugen der Tonsuspension auf Keramikplättchen hergestellt wurden. Während des Trocknens auftretende Texturstörungen konnten dadurch weitgehend vermieden werden, daß die Präparate bis zur Röntgenanalyse 7 Tage über einer gesättigten NH_4NO_3 -Lösung im Exsikkator langsam getrocknet wurden (H. TRIBUTH, 1970).

Für die Bestimmung der Tonmineralverteilung waren das Expansionsverhalten mit Glycerin und DMSO (S. G. CARCIA und M. S. CAMAZANO, 1968) sowie die Kontraktionseigenschaften nach Kalium- und Hitzebehandlung ($550^\circ C$) maßgeblich.

Eine semiquantitative Ermittlung der Mengenanteile der Tonminerale erfolgte aus den Reflexintensitäten unter Verwendung von Korrekturfaktoren (G. RIEDMÜLLER, 1977).

Die Analysen wurden an einem Philips-Röntgendiffraktometer mit Vakuumgoniometer durchgeführt *) (Strahlung $CuK\alpha$, 40kV, 20mA).

3. Beziehungen zwischen der Tonmineralverteilung in Mylonitzonen und stollenbautechnischen Maßnahmen

Tektonische Scherzonen, die sich obertags in Form von geradlinigen Furchen, Kluftgassen oder Bacheinschnitten zeigen, bilden untertags häufig tonige Mylonite und Kataklastite. Der tonige Charakter wird durch Umwandlungen und Neubildungen von Tonmineralen, die auf niedrig temperierte Lösungsumsätze zurückzuführen sind, verursacht (G. RIEDMÜLLER und B. SCHWAIGHOFER, 1970, 1971). Diese Tonmineral-

*) Das Röntgengerät wurde aus Mitteln des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich, Projekt Nr. 1617 angeschafft.

bildungen sind im wesentlichen abhängig vom Chemismus des Ausgangsgesteins und Lösungsumsatzes. Der Mineralabbau des mechanischen Gesteinszerreibsels in den Scherzonen und die Tonmineralneubildungen führen nach dem jeweils herrschenden physikalisch-chemischen Milieu zu verschiedenen Tonmineralassoziationen (G. RIEDMÜLLER, 1977).

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, daß zwischen Tonmineralassoziationen und bautechnischen Eigenschaften von Scherzonen ein enger Zusammenhang besteht.

3.1. Tonmineralassoziationen ohne Montmorillonit

Mylonitzone ohne Montmorillonitführung erwiesen sich überwiegend als standfest und erforderten keine besonderen Ausbaumaßnahmen.

3.1.1. Bei einem Stollenvortrieb im Zentralgneis der Höhen Tauern wurde eine mehrere Meter mächtige Mylonitzone durchörtert. Das Gestein ist entlang mittelsteil bis steil einfallender, NW—SE streichender Kluffflächen kleinstückig zertrümmert. Auf den überwiegend glatten Kluffflächen finden sich cm-mächtige Bestege aus weißem bis hellgrauem Ton.

Mit Ausnahme einer Tropfwasserstelle entlang der steil NE-einfallenden Harnischfläche im Liegenden der Mylonitzone ist der gesamte Bereich trocken. Die Tonmineralverteilung in der Fraktion $< 2 \mu$ zeigt Illit und Kaolinit als Hauptminerale. Trotz der intensiven Zertrümmerung und des stellenweise hohen Tonanteils entlang der Scherflächen, war das Gebirge während des Vortriebes standfest und bereitete keine bautechnischen Schwierigkeiten. Sicherlich hat der sehr geringe Wasserandrang dazu beigetragen.

3.1.2. Demselben Störungssystem angehörig wurde in einer ca. 1 m mächtigen, sehr ähnlich ausgebildeten Scherzone im massigen Granitgneis eine analoge Tonmineralverteilung in der Fraktion $< 2 \mu$ festgestellt (75% Illit, 25% Kaolinit). Der gesamte Bereich des Störungstreifens war durchnäßt, dennoch erwies sich das Gebirge standfest und erforderte trotz Wasserzutritt keine Sicherungsmaßnahme.

3.1.3. Beim Durchörteren von steilstehenden Gneisphyllonitlagen im Zentralgneis wurden schieferungsparallele Scherflächen angetroffen. Die tonige Mylonitbildung war hier in einem ca. 3 m mächtigen Bewegungshorizont auf maximal 1 cm mächtige, wechsellagernde Einschaltungen beschränkt. Der gesamte Bereich war stark bergfeucht bis tropfnaß.

Der Verteilung der Schichtsilikate in der Fraktion $< 2 \mu$ zeigte 65 bis 75% Illit, 5—10% Kaolinit und 15—30% Chlorit.

Das Gebirge war hier ebenfalls ohne Sicherungsmaßnahmen standfest und ließ auch nach einem Zeitraum von 1 Jahr keine Verminderung der Festigkeitseigenschaften erkennen.

3.2. Tonmineralassoziation mit geringem Montmorillonitanteil

Im Gegensatz zu Mylonitzone, in denen kein Montmorillonit auftritt, konnte sehr häufig beobachtet werden, daß Scherzonen mit weitgehend gleichen Gefügeigenschaften aber geringem Montmorillonitgehalt zu Nachbrüchen neigen und dementsprechende Ausbaumaßnahmen verlangen. Daraus ergibt sich, daß die stärkere Verminderung der Gebirgsfestigkeit mit der Montmorillonitführung der Mylonite in Zusammenhang steht. Es zeigte sich, daß die Herabsetzung der Festigkeitseigenschaften schon bei bergfeuchtem Gebirge auftrat und kein stärkerer Wasserzutritt notwendig war.

3.2.1. Eine nur 10—15 cm mächtige Scherzone im massigen Zentralgneis quert mit steilem SE-Einfallen die Stollenachse. Das Gestein ist feinkörnig zertrümmert;

die Kluffkörper schwimmen in einer tonigen Matrix. Die Tonmineralassoziation in der Fraktion $< 2 \mu$ besteht aus 80% Illit, 15% Kaolinit und nur 5% Montmorillonit *).

Obwohl die schmale Scherzone nur bergfeucht war, mußte zur Sicherung des Gebirges eine Spritzbetonauskleidung (10 cm) mit verstärktem Kopfschutz eingebracht werden.

3.2.2. In einer ca. 1 m mächtigen Zone in Biotitgneisen queren steilstehende Scherkluffscharen die Stollenachse. Die glatten Kluffflächen zeigen tonige Bestege im Millimeterbereich.

Die Tonmineralverteilung des Kluffflächenbelages besteht in der Fraktion $< 2 \mu$ aus 85% Illit und 15% Montmorillonit. Entlang von Klüften kam es zum Austritt von Tropfwasser. Eine sofortige Versiegelung mit 5 cm Spritzbeton war hier erforderlich.

3.3. Tonmineralassoziationen mit Montmorillonit als Hauptgemengteil

In vielen Fällen konnte festgestellt werden, daß in Scherzonen mit Montmorillonit als Hauptgemengteil der Fraktion $< 2 \mu$ die Gesteinsfestigkeit wesentlich herabgesetzt war und häufig starke Gebirgsdruckerscheinungen auftraten.

3.3.1. Bei einem Stollenvortrieb im Übergangsbereich zwischen Glimmerschiefer-einschaltungen und Augengneis queren in einer 1 m mächtigen Zone steilstehende N—S streichende Scherklüfte die Stollenachse. Die z. T. offenen Klüfte sind stellenweise bis zu 10 cm mit graugrünen Tonsubstanzen verfüllt und wasserführend. Die Fraktion $< 2 \mu$ weist 80% Montmorillonit, 10% Chlorit, 5% Kaolinit und 5% Illit auf.

Nach einer sofortigen Torckretauskleidung von 10 cm kam es im unmittelbaren Störungsbereich zu Nachbrüchen, die eine Hinterfüllung des Hohlräumes, Verstärkung des Spritzbetons auf 15 cm sowie den Einbau von Baustahlgitter erforderten.

3.3.2. Ein Stollenvortrieb in einem intensiv von Störungen zerlegten Zentralgneiskomplex ermöglichte einen Einblick in die Beschaffenheit einer 50 m mächtigen Mylonitzone. Das Ausgangsgestein bilden Biotitgneise. Beim Übergang zur Mylonitzone kommt es zur Ausbleichung und Aufmürbung, wobei die ursprüngliche Gesteinstextur noch weitgehend unverändert bleibt. Das Gestein wird von engscharigen Harnischflächen mit Lineationen durchsetzt. Die Scherflächen weisen verschieden mächtige Bestege (mm—cm) aus grünlichen bis weißen tonigen Substanzen auf.

In den Zonen stärkerer tektonischer Aktivität kommt es zu extremer Kataklyse. Der Lösungsumsatz bewirkt eine weitgehende Umwandlung des Gesteins in eine tonige, vielfach limonitisch infiltrierte Grundmasse.

Bei der Tonmineralverteilung trat ein deutlicher Unterschied zwischen Rand- und Kernzone des Mylonitstreifens auf. Im Randbereich zeigt die Fraktion $< 2 \mu$ eine Dominanz von Kaolinit (75%) neben 15% Montmorillonit und 10% Illit. In den Zonen der stärksten Durchbewegung finden sich 95% Montmorillonit und 5% Illit.

Stärkere Wasseraustrittsstellen sind auf die kaolinitreiche Randzone beschränkt.

Schon während des Vortriebes erwies sich das Gebirge als druckhaft. In weiterer Folge kam es lokal zu Sohlhebungen bis 40 cm, zu einem teilweisen Abplatzen des Spritzbetons samt Baustahlgitter und zu Verbiegungen einzelner Alpinebögen. Die stärksten Druckerscheinungen machten sich in der stark wasserführenden, kaolinitreichen Randzone bemerkbar. Trotz des geringeren Montmorillonitanteils war hier

*) Montmorillonit wird in der vorliegenden Arbeit als Gruppenbezeichnung an Stelle von Smektit verwendet. Es handelt sich um dioctaedrische Minerale mit vorwiegend beidellitischer Zusammensetzung.

offenbar der verstärkte Wasserandrang gemeinsam mit der intrakristallinen Quellung an einer Erhöhung des Gebirgsdruckes mitbeteiligt.

3.3.3. Beziehungen zwischen Nachbruchgefährdung und dem dominierenden Auftreten von Montmorillonit in der Tonfraktion mylonitischer Gesteinsbereiche ließen sich auch bei Stollenvortrieben in altkristallinen Serien beobachten.

In einer Gneisfolge wurden geringmächtige (cm-Bereich) Mylonite entlang Schieferungsflächen und Scherflächen spitzwinkelig zur Schieferung angetroffen.

An jenen Scherflächen, wo der Montmorillonit als Hauptgemengteil der Fraktion $< 2 \mu$ auftrat, kam es zur Bildung von Firstausbrüchen.

4. Schlußfolgerung

Aus unseren Untersuchungen geht hervor, daß das Vorhandensein von Montmorillonit in Myloniten die Festigkeitseigenschaften tektonischer Scherzonen zusätzlich verschlechtert.

Schon geringe Montmorillonitmengen üben auf die Standfestigkeit des Gebirges einen negativen Einfluß aus. Daraus kann abgeleitet werden, daß gemeinsam mit der Raumlage des Flächengefüges und dem Grad der Gesteinszerlegung auch die Mineralzusammensetzung der Bestege von Diskontinuitätsflächen zu den bestimmenden Faktoren der Gebirgsfestigkeit gehört.

Die Erfahrungen haben gezeigt, daß laufend durchgeführte tonmineralogische Analysen von Gesteinen aus tektonischen Scherzonen wichtige Hinweise über das Langzeitverhalten des Gebirges liefern können. Vielfach ergeben sich daraus Anhaltspunkte zur endgültigen Ausbaudimensionierung, für die während des Stollenvortriebes noch keine ausreichenden Beobachtungsergebnisse vorliegen. Geeignete Stützmaßnahmen sowie entsprechender Endausbau können demnach bereits zu einem frühen Zeitpunkt festgelegt werden. Neben der geologischen Detailaufnahme wird somit die tonmineralogische Analyse zu einer wichtigen Erweiterung der baueologischen Dokumentation im Untertagebau.

Prof. Dr. E. H. WEISS danken wir für die Anregung zu dieser Arbeit und sein ständiges Interesse.

Dr. W. DEMMER, Dr. K. LIEGLER und Dr. H. LITSCHER möchten wir für ihre großzügige Bereitstellung von Probenmaterial, geologische Aufnahmen und stollenbautechnische Unterlagen bestens danken.

Dank gebührt auch OBR. Dr. O. HOMANN, daß er uns die Beobachtung von interessanten Verbrüchen ermöglichte und wertvolles Probenmaterial zur Verfügung stellte.

Für Diskussionen und Anregungen danken wir Dipl.-Ing. Dr. H. MÜLLER.

Literatur

BJERRUM, L. et al.: Some Norwegian Studies and Experiences with Swelling Materials in Rock Gouges.— Felsmech. u. Ing. Geol., Vol. I/1, Wien 1963.

DÜMMLER, H. & SCHRÖDER, D.: Zur qualitativen und quantitativen röntgenographischen Bestimmung von Dreischicht-Tonmineralen in Böden. — Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkunde 109, 1956.

GARCIA, S. G. & CAMAZANO, M. S.: Differentiation of Kaolinite from Chlorite by Treatment with Dimethyl-Sulphoxide. — Clay Minerals 7, 1968.

JACKSON, M. L.: Soil Chemical Analysis; Advanced Course. — Madison, Wisconsin 1956.

JASMUND, K. et al.: Forschungsbericht Tonmineralogie. — Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn 1976.

RIEDMÜLLER, G. & SCHWAIGHOFER, B.: Mineralumwandlungen und Neubildungen in Myloniten der Oschenikseestörung (Kärnten, Österreich). — Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 19. Bd., Wien 1970.

RIEDMÜLLER, G. & SCHWAIGHOFER, B.: Elektronenoptische Untersuchung von Kaoliniten aus Myloniten der Oschenikseestörung (Kärnten, Österreich). — Carinthia II, Sh. 28, Klagenfurt 1971.

- RIEDMÜLLER, G.: Neoformations and Transformations of Clay Minerals in Tectonic Shear Zones. — *Tscherm. Min. Petr. Mitt. Wien* 1977 (im Druck).
- TRIBUTH, H.: Die Bedeutung der erweiterten Tonfraktionierung für die genauere Kennzeichnung des Mineralbestandes und seiner Eigenschaften. — *Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkunde* 126, 1970.
- WHITTIG, L. D.: X-Ray Diffraction Techniques for Mineral Identification and Mineralogical Composition. — In C. A. BLACK: *Methods of Soil Analysis, Part 1*; Americ. Soc. Agronomy, Madison, Wisconsin 1965.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 13. 6. 1977.