©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Was ist Lehm – Lehm & Co

Franz OTTNER

Die babylonische Sprachverwirrung stiftete sehr nachhaltig ernste Probleme auch in der geologischen Nomenklatur. Insbesondere im Umkreis von Ton und Lehm scheint diese Verwirrung am intensivsten zu sein.

Die systematische Zuordnung zur Gesteinsgruppe der Sedimente ist zwar sonnenklar, die Untergruppe der klastischen Sedimente steht sicher auch außer Streit, aufgrund der meist sehr feinkörnigen Ausbildung ist schlussendlich die Zuordnung zu den feinklastischen Sedimenten – den Peliten – gerechtfertigt. Im Detail wird es dann aber innerhalb dieser Gruppe sehr schwierig.

Die weltweite Verbreitung, die unterschiedlichsten Entstehungsmöglichkeiten, die vielfältigsten Anwendungsgebiete seit historischen Zeiten und nicht zuletzt auch das sehr unterschiedliche Aussehen, haben zu einer unübersehbaren Vielfalt an Namen und Bezeichnungen (nicht nur im deutschen Sprachraum) geführt.

Diese Vielfalt an fachlichen, regionalen und historischen Begriffen führte auch dazu, dass selbst sehr eng verwandte Fachgebiete wie Geologie, Bodenkunde und Geotechnik unterschiedliche Bezeichnungen verwenden. Siehe dazu auch die Ausführungen von Maria HEINRICH und von Hannes KUGLER in diesem Band.

Aus geologischer Sicht kann man folgenden Klärungsversuch anbieten:

Tonminerale sind Sekundärminerale, die durch Mineralneu- oder Mineralumbildungen bei physikalischen und chemischen Verwitterungsprozessen aus zerkleinerten, aufgelösten und umgewandelten Gesteinen entstanden sind. Je nach Bildungsbedingungen können sehr unterschiedliche Tonminerale gebildet werden. Sie sind im Wesentlichen wasserhältige Aluminiumsilikate.

Ton ist ein feinklastisches Sediment, meist unverfestigt, also ein sehr feinkörniges Verwitterungsmaterial, das meist in den geologisch jungen Formationen des Neogens und Quartärs gebildet wurde. Die Tone von älteren Formationen sind meist verfestigt und werden als Tonsteine bezeichnet. Tone können nur an der Erdoberfläche entstehen, wobei dem Wasser eine wichtige Rolle zukommt. Tone enthalten ein oder meist mehrere Tonminerale sowie eine Vielfalt an Begleitmineralen. Wenn diese Tone wieder verwittern und mit Sand und auch Kies vermischt werden, so wird dieses Material vor allem umgangssprachlich als **Lehm** bezeichnet. Je nach Ausgangsmaterial und Verwitterungsbedingungen können sehr unterschiedliche Typen vertreten sein. Die allgemeine und die spezielle Tonmineralogie beschäftigt sich mit diesen Fragestellungen.

Als **Tonfraktion** wird die sehr feine Fraktion <2 µm bezeichnet, in der auch die Tonminerale angereichert sind, aber auch fein zerkleinerte Begleitminerale wie Quarz, Kalzit oder auch Feldspäte enthalten sein können.

Kristallstruktur der Tonminerale

Die große Mannigfaltigkeiten der Tonminerale und deren sehr unterschiedlichen Eigenschaften sind in ihrem mineralogischen Aufbau begründet. Die unterschiedlichen Strukturen sind auf die Kombinationsmöglichkeit von nur zwei Grundbausteinen zurückzuführen: Tetraeder und Oktaeder.

Die Tetraeder bestehen aus einem Siliziumion im Zentrum (Zentralion), das von vier Sauerstoffionen umgeben ist. Mehrere Tetraeder verknüpfen sich über gemeinsame Sauerstoffionen zu den Tetraederschichten.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

In den Oktaedern wird das Zentralion – meist Aluminium^{3+} oder Magnesium^{2+} – von sechs Hydroxylionen OH bzw. Sauerstoffionen umgeben. Die Verknüpfung zu Oktaederschichten erfolgt wieder über gemeinsame Oktaeder-Eckpunkte.

Durch verschiedene Sequenzen von Tetraeder- und Oktaederschichten entstehen verschiedene Tonminerale. Ist jeweils eine Tetraeder- und eine Oktaederschicht verbunden, so spricht man von Zweischicht- oder 1:1-Mineralen. Ist eine Oktaederschicht beidseitig mit je einer Tetraederschicht umgeben, so handelt es sich um Dreischicht- oder 2:1-Minerale.

Die Abfolge von zwei bzw. drei Schichten wird als Silikat- oder Elementarschicht bezeichnet. Den Abstand zwischen zwei Elementarschichten bezeichnet man als Basisabstand. Er kann mittels Röntgendiffraktometrie vermessen werden und wird meist in Angström angegeben (1 Å = 10^{-10} m).

Durch isomorphen Ersatz der Zentralionen in den Tetraedern und Oktaedern kommt es zu negativen Ladungen der Silikatschichten, die durch austauschbare Kationen ausgeglichen werden. Der Zusammenhalt der einzelnen Elementarschichten ist bei den einzelnen Tonmineralen unterschiedlich (GRIM, 1968; HEIM, 1990).

Spezielle Tonmineralogie

Die nomenklatorischen Probleme der Geologie bei Lehm und Co setzen sich in der Tonmineralnomenklatur fort – oder beginnen schon dort. Minerale wie Quarz oder Kalzit sind durch eine klare und eindeutige chemische Zusammensetzung definiert, bei den Tonmineralen ist die chemische Zusammensetzung sehr variabel. Seit Jahrzehnten versucht eine internationale Nomenklaturkommission Licht ins Dunkel zu bringen. Bisher konnten aber nur sehr einfache Begriffe klar definiert werden, die große „Reform“ der Tonminerale steht aber noch aus, das heißt, sie harren weiterhin einer klareren Definition. Die folgenden bekannten Bezeichnungen sind großteils historisch entstanden und sind meist sehr großzügige Gruppenbezeichnungen.

Kaolinit

ist die am klarsten definierte Tonmineralgruppe. Sie besteht nur aus dem Mineral Kaolinit im engeren Sinn, einer wasserhältigen Form, dem Halloysit, und zwei sehr seltenen Modifikationen, dem Dickit und dem Nakrit. In dieser Gruppe gibt es kaum Isomorphie, die chemische Stabilität ist sehr hoch. Wirtschaftlich steht sie den Smektiten als wichtiger Rohstoff in der Keramikindustrie und vielen anderen Industriezweigen kaum nach.

Illit

ist ein Sammelsurium von verwitterten Glimmern mit der Korngröße <2 µm. Die große chemische Variabilität der Ausgangsprodukte – der Glimmer – wirkt sich auch auf diese Tonmineralgruppe sehr stark aus. Eine klarere Definition ist bislang nicht gelungen. SRODON (1984) schlug vor, die Gruppe als Illitic Material zu bezeichnen. Illite in verschiedensten Variationen sind sehr häufige Bestandteile unserer Tone und Lehme.

Smektit

Die ursprüngliche Bezeichnung lautete Montmorillonit, benannt nach der Erstbeschreibung des Minerals aus Montmorillon in Frankreich im 19. Jahrhundert. Beinahe ein Jahrhundert lang wurde diese Bezeichnung verwendet, bis man schließlich aufgrund verbesserter Analysenmethoden die große chemische Variabilität der „Montmorillonite“ erkannte und nur noch magnesiumreiche Vertreter weiterhin so benannte. Andere Varietäten wurden je nach isomorphem Ersatz und chemischer Zusammensetzung Beidellit, Nontronit, Saponit usw. bezeichnet. Als Gruppenbezeichnung wurde der neue Name Smektit gewählt.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Sie zählen ebenso wie die Illite zu den Dreischichtmineralen.

Die Schichtladung ist deutlich niedriger als bei Illiten, deshalb können zwischen die Silikatschichten Wasseranteile aber auch verschiedene Kationen und organische Verbindungen eindringen und den Basisabstand bis 20 Å vergrößern. Diesen reversiblen Vorgang nennt man Quellung. Damit in ursprünglichem Zusammenhang steht die Plastizität der Tone. Die Smektite sind die umwelttechnisch wichtigste Gruppe der Tonminerale.

Vermikulit

Die Gruppe der Vermikulite ist eine äußerst schlecht definierte Tonmineralgruppe. Vermikulite zeigen große Ähnlichkeiten mit den Smektiten, sie weisen aber eine höhere Ladung auf und stehen diesbezüglich zwischen den Illiten und Smektiten. Sehr problematisch ist deren Identifizierung. Mangels klarer Definitionen und Untersuchungsvorschriften sind sehr freizügige Interpretationen möglich.

Chlorit

Diese Mineralgruppe ist chemisch sehr variabel. Neben isomorphem Ersatz in den Oktaeder- und Tetraederschichten kann zusätzlich die fixe Zwischenschicht chemisch variabel zusammengesetzt sein. Chlorite können in Tonen und Lehmen sowohl in detritärer Form (primärer Chlorit) als auch als Mineralneubildung (sekundärer Chlorit) auftreten. Damit ergibt sich ein sehr weites Spektrum an Chloritvertretern.

Mixed Layer Minerale

Die Mixed Layer Minerale sind strukturelle Kombinationen verschiedener Tonminerale. Sie liegen nicht als Einzelindividuen in einem Ton vor, sondern sind Kombinationen in der Kristallstruktur. Es sind sowohl regelmäßige als auch viele unregelmäßige Kombinationen bekannt. Eine regelmäßige Kombination von Illit und Smektit wird als Rektorit bezeichnet und kommt relativ häufig als Diageneseprodukt in Sedimenten vor. Ebenfalls häufiger tritt eine regelmäßige Kombination von Chlorit mit Smektit oder Vermikulit auf. Dieses Mineral wird als Corrensit bezeichnet. Die Identifikation der Mixed Layer Minerale ist schwierig, vor allem dann, wenn mehr als zwei Einzelminerale beteiligt sind. Die Tonmineralforschung findet auf diesem Gebiet in den kommenden Jahren und Jahrzehnten ein weites und interessantes Betätigungsfeld vor.

Neben den oben beschriebenen Tonmineralen werden gerne auch die **Serpentine** zu den Tonmineralen gezählt. Sie sind die „Magnesium-Gegenstücke“ zu den Kaoliniten. In unserem gemäßigten Klima treten sie in Tonen fast ausschließlich detritär auf.

Weiters sind noch zwei faserförmige Tonminerale zu erwähnen: In eher heißen trockeneren Klimaten treten die beiden Tonminerale **Palygorskit** (früher Attapulgit) und **Sepiolit** auf. Beide werden für technische Zwecke verwendet.

Es sollen noch zwei Vorstufen von Tonmineralen nicht unerwähnt bleiben: **Imogolith** und **Allophan**. Sie sind schlecht kristallisiert, chemisch sehr variabel und entstehen vor allem bei der Verwitterung von vulkanischen Gläsern und bei der Bodenbildung.

Sorptionseigenschaften von Tonmineralen

Eine besondere Eigenschaft der Tonminerale – im Speziellen der Smektite und Vermikulite – ist deren sehr geringe Teilchengröße. Die Korngröße der Smektite ist sehr gering und liegt meist unter 0,2 µm. Aufgrund dieser Feinheit weisen sie eine sehr große Oberfläche auf. Eine weitere Besonderheit ist neben der erwähnten äußeren Oberfläche eine noch viel größere innere Oberfläche. Diese innere Oberfläche liegt zwischen den silikatischen Tetraederschichten und ist für das Adsorptionsverhalten von großer Bedeutung. Die innere Oberfläche von Smektiten kann bis zu 800 m^2 je g betragen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Eine der wichtigsten Eigenschaften der Tonminerale – besonders der Smektite und Vermikulite ist ihr ausgeprägtes Kationenaustauschvermögen. Die Höhe des Kationenaustauschvermögens wird durch die mineralogisch/chemische Zusammensetzung der Tonminerale bestimmt. Die üblicherweise in den Zwischenschichten vorhandenen Elemente Magnesium, Kalzium, Kalium und Natrium können sehr leicht gegen z.B. anorganische Schadstoffe wie verschiedene Schwermetalle, aber auch gegen organische Moleküle ausgetauscht werden.

Tonminerale als Klimaindikatoren

Tonminerale reagieren aufgrund von deren Feinkörnigkeit (meist unter 2 µm), der weiten chemisch/mineralogischen Variabilität und der unterschiedlichen Empfindlichkeit gegen Verwitterungsprozesse sehr sensibel auf klimatische Einflüsse. Dadurch können sie häufig als gute Paläoklima-Indikatoren verwendet werden.

Die tonmineralogische Zusammensetzung von Verwitterungsprofilen, Böden und Paläoböden hängt sehr stark von den klimatischen Verhältnissen, die während der Entstehung dieser Substrate an Land geherrscht haben, ab. Tonminerale drücken in erster Linie die Intensität der Verwitterung, insbesondere der Hydrolyse, aus. Informationen über Temperatur und Regenmengen sind ableitbar. Sowohl die Kristallinität verschiedener Tonminerale (Illit, Chlorit, Smektit …) als auch die An- oder Abwesenheit einer Tonmineralgruppe – oder auch deren Zu- bzw. Abnahme in einem Profil – kann sehr wichtige Aspekte für paläoklimatische Rekonstruktionen liefern (CHAMLEY, 1989).

Untersuchungsmethoden

Röntgendiffraktometrie

Röntgenbeugung (X-ray diffaction – XRD) ist die wichtigste Methode zur Mineralbestimmung. Ein Röntgenstrahl wird mineralspezifisch an der Kristallstruktur gebeugt und für deren Identifizierung genutzt. Besonders im Bereich der Tonmineralogie kann die Röntgendiffraktometrie durch keine andere Methode ersetzt werden (KLUG & ALEXANDER, 1974; KRISCHNER & KOPPELHUBER-BITSCHNAU, 1994).

Zahlreiche weitere Methoden, von denen die Wichtigsten im Folgenden angeführt sind, dienen in erster Linie dazu, Zusatzinformationen zu liefern oder die mittels XRD erhaltenen Ergebnisse abzusichern.

Sehr früh tauchte schon die Frage auf, wieviel von einem bestimmten Mineral in einem Ton enthalten sei. Eine Reihe von frühen Arbeiten beschäftigte sich mit diesem Thema (ENGELHARDT, 1955; DÜMMLER & SCHRÖDER, 1965).

Um Tonminerale überhaupt quantifizieren zu können, müssen sie natürlich vorher genau identifiziert werden. Aus der sehr umfangreichen Bestimmungsliteratur sind die Arbeiten von BRINDLEY & BROWN (1980), WILSON (1987), MOORE & REYNOLDS (1997) und THOREZ (1975) besonders hilfreich.

Nach Identifizierung der einzelnen Tonminerale bzw. Tonmineralgruppen kann versucht werden, eine Quantifizierung durchzuführen. Dazu verwendet man entweder empirische Korrekturfaktoren für einzelne Tonmineralreflexe (SCHULTZ, 1964: RIEDMÜLLER, 1978; TRIBUTH, 1991) oder man bedient sich gemessener bzw. berechneter Referenz-Intensitäten (CHUNG, 1974; REYNOLDS, 1989). Bei vielen Tonen und vor allem Böden sind aufgrund von Begleitmineralen (Eisenoxide) umfangreiche Vorbehandlungen notwendig (MEHRA & JACKSON, 1960).

Trotz intensiver analytischer Bemühungen kann es aber immer wieder vorkommen, dass Komponenten in Tonen auftreten, die sich einer Identifizierung entziehen, wodurch natürlich auch eine Quantifizierung ad absurdum geführt wird.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Simultane Thermoanalyse (STA)

Thermische Analyseverfahren liefern zusätzliche Informationen über die Tonminerale in einer Tonprobe.

Die zu untersuchenden Substanzen werden kontinuierlich erhitzt und simultan wird Gewichtsveränderung (Thermogravimetrie, TG) und Wärmefluss (Differenzialkalorimetrie, DSC) gemessen. Tone enthalten unterschiedliche Mengen an Hydroxylgruppen, die sich unter Temperatureinwirkung zersetzen. Ebenfalls können beträchtliche Masseverluste auftreten, die spezifisch für verschiedene Tonminerale sind (MACKENZIE, 1957, 1964; SCHULTZE, 1969; SMYKATZ-KLOSS, 1974). Während der Aufheizung kommt es sowohl zu endothermen als auch zu exothermen Reaktionen. Endotherme Reaktionen können bei der Abgabe von z.B. Wasser, CO_2, SO_2 etc. sowie auch bei Dehydroxilierung auftreten. Exotherme Effekte treten bei verschiedenen Umkristallisationen auf (WILSON, 1987). Die entstehenden Reaktionsprodukte können zusätzlich mittels Massenspektometrie oder Infrarotspektroskopie gemessen und zur Interpretation herangezogen werden.

Die effizientesten Anwendungsmöglichkeiten thermoanalytischer Methoden ergeben sich, wenn die Mineralzusammensetzung durch XRD bereits bekannt ist und nun genauere Strukturbestimmungen von Mineralen oder genauere Quantifizierungen bestimmter Tonminerale durchzuführen sind.

Infrarot-(IR-)Spektroskopie

Die Infrarotspektroskopie ist eine rasche und ökonomische Untersuchungsmethode für Tone.

Die Probe wird mit Infrarot-Licht bestrahlt. Durch die zugeführte Energie werden Atome und Moleküle zu Schwingungen angeregt. Je nach Struktur der Atome oder Moleküle kommt es zu unterschiedlichen Schwingungen und folglich zu Absorptionen im IR-Spektrum. Jedes Atom oder Molekül absorbiert unterschiedliche Bereiche des IR-Spektrums und kann dadurch identifiziert werden (FARMER, 1974; RUSSEL, 1987).

Zur Analyse gelangen meist Presspillen aus Kaliumbromid, wobei Probenmengen von einem Milligramm ausreichen.

Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Die durch die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes vorgegebenen Möglichkeiten der lichtmikroskopischen Auflösung ($2x10^{-4}$ mm, Vergrößerung endet etwa bei 1500-fach) werden durch die wesentlich kleineren Wellenlängen der Elektronenstrahlen erweitert.

Im REM werden daher Auflösungen möglich, die sich bereits im Bereich von 50–200 Å bei vergleichsweise großer Schärfentiefe bewegen (1 Å = $1x10^{-10}$ m).

Dies ermöglicht es, Minerale der Tonfraktion auf Grund der Morphologie zu identifizieren.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Literatur

BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. (1980): Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. – 495 S., Mineralogical Society, London.

CHAMLEY, H. (1989): Clay Sedimentology. – Springer Verlag, xx+620 S., Berlin.

CHUNG, F.H. (1974): Quantitative Interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix flushing method for quantitative multicomponent analysis. – J. appl. Crystallogr., 7, 519-525.

DÜMMLER, H. & SCHRÖDER, D. (1965): Zur qualitativen und quantitativen röntgenographischen Bestimmung von Dreischicht Tonmineralen in Böden. – Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, 109, 35-47, VCH, Weinheim.

ENGELHARDT, W., von (1955): Über die Möglichkeit der quantitativen Phasenanalyse von Tonen mit Röntgenstrahlen. – Z. Kristallogr., 106, 430-459.

FARMER, V.C. (1974): The Infrared Spectra of Minerals. – 539 S., Mineralogical Society Monograph IV, London.

GRIM, R.E. (1968): Clay mineralogy. – 596 S., McGraw-Hill, second edition, New York – Sydney.

HEIM, D. (1990): Tone und Tonminerale. – Ferdinand Enke Verlag, 157 S., Stuttgart.

KLUG, H.P., ALEXANDER, L.E. (1974): X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials. – 966 S., John Wiley and Sons, First and second editions, New York.

KRISCHNER, H. & KOPPELHUBER-BITSCHNAU, B. (1994): Röntgenstrukturanalyse und Rietveldmethode. – 194 S., Vieweg, Braunschweig – Wiesbaden.

MACKENZIE, R. (1957): The differential thermal investigation of clays. – 456 S., Mineral. Soc., London.

MACKENZIE, R.C. (1964): The thermal investigation of soil clays. – In: RICH, C.I. & KUNZE, G.W. (eds.): Soil clay mineralogy – A symposium. The University of North Carolina Press, Raleigh, North Carolina, 200-244.

MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. (1960): Iron oxide removal from soils and clays by a dithionit-citrate system buffered with sodium bicarbonate. – Clays and Clay Min., 7, 317-327, Pergamon Press, London.

MOORE, D.M. & REYNOLDS, R.C.Jr., (1997): X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. – 378 S., Oxford University Press, New York.

REYNOLDS, R.C. (1989): Principles and techniques of quantitative analysis of clay minerals by X-ray powder diffraction. – In: PEVEAR, D.A. & MUMPTON, F.A. (eds): CMS workshop lectures 1, Quantitative mineral analysis of clays, 3-36, Boulder.

RIEDMÜLLER, G. (1978): Neoformations and Transformations of Clay Minerals in Tectonic Shear Zones. – Tschermaks Min. Petr. Mitt., 25, 219-242, Springer, Berlin – Heidelberg – New York.

RUSSELL, J.D. (1987): Infrared methods. – In: WILSON, M.J. (ed): A handbook of determinative methods in clay mineralogy, 133-173, Blackie, Glasgow and London.

SCHULTZ, L.G. (1964): Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. – Geol. Surv. Prof. Paper, 391C, 1-31, Washington.

SMYKATZ-KLOSS, W. (1974): Differential Thermal Analysis, Application and Results in Mineralogy, Springer Verlag, 185 S., Berlin – Heidelberg – New York.

SCHULTZE, D. (1969): Differentialthermoanalyse. – 335 S., Verlag Chemie, Weinheim.

SCHRODON, J. (1984): X-ray Powder Diffraction Identification of Illitic Material. – Clays and Clay Min., 32, 337-349.

THOREZ, J. (1975): Phyllosilicates and Clay Minerals. – 582 S., Editions G. Lelotte, Dison.

TRIBUTH, H. (1991): Notwendigkeit und Vorteil der Aufbereitung von Boden- und Lagerstättentonen. – In: TRIBUTH, H. & LAGALY, G. [Hrsg.]: Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen, Berichte der DTTG, 1, 29-33, Giessen.

WILSON, M.J. (1987): X-ray powder-diffraction methods. – In: WILSON, M.J. (ed.): A handbook of determinative methods in clay mineralogy, 26-98, Blackie, Glasgow and London.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Geologischen Bundesanstalt

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: 80

Autor(en)/Author(s): Ottner Franz

Artikel/Article: Was ist Lehm - Lehm & Co 5-10