

Original-Mitteilungen an die Redaktion.

Zur Kenntnis der physikalischen Eigenschaften der Tone.

Von Richard Lucas in Leipzig.

Die Eigenschaften der Tone werden meist in physikalische und chemische eingeteilt. Zu den physikalischen sind einerseits solche zu rechnen, welche uns eine physikalisch-mineralogische Beschreibung des Tones liefern, wie Glanz, Bruch, Korngröße, spez. Gewicht etc., andererseits solche, die dem Ton speziell eigentümlich sind und die praktische Verwendbarkeit bedingen: Seine Bildsamkeit im nassen Zustand, sein Schwinden beim Trocknen und Brennen und der Grad seiner Festerfestigkeit. An diese drei Fundamenteigenschaften schließen sich einige weitere an, welche sekundäre Bedeutung besitzen und als Begleiterscheinungen obiger Eigenschaften aufzufassen sind; es sind dies vornehmlich die Fettigkeit resp. Magerkeit des Tones, seine Wassersteife, Bindevermögen, Porosität etc. Während die chemischen, geologischen, sowie mineralogischen Verhältnisse der Kaolinerde in einer großen Reihe ausgezeichneter Arbeiten klargelegt sind, haben die physikalischen Eigenschaften, obgleich von fundamentaler Bedeutung, nicht die gleiche Würdigung erfahren. Fragt man beispielsweise nach den Kräften, als deren Folge diese physikalischen Eigenschaften auftreten, so findet man in den technischen Hand- und Hilfsbüchern nur wenig Auskunft. Der Grund hierfür ist leicht darin zu erkennen, daß der Ton speziell für die Praxis von Bedeutung ist: Man richtet naturgemäß das Hauptaugenmerk auf die bestmögliche Ausnützung resp. Einschränkung dieser physikalischen Kräfte und studiert den Einfluß von Zusätzen auf Färbung, Schmelzbarkeit, Schwindung und sofort. Dagegen begnügte man sich meist damit, den rein physikalischen Vorgang lediglich durch ein Bild klarzulegen, sowie den Zustand, den Körper durch passende Vergleiche und Bezeichnungen zu charakterisieren. Das gilt vor allem für die interessanteste Eigenschaft, welche der Ton besitzt, für die Pla-

stizität. SEGER¹ gibt für diese folgende Definition: „Unter Plastizität ist die Eigentümlichkeit fester Körper zu verstehen, daß sie in ihren Poren eine Flüssigkeit aufnehmen, daß sie diese Flüssigkeit vollständig zurückzuhalten vermögen und damit eine Masse bilden, der durch Kneten und Drücken jede beliebige Form gegeben werden kann, daß sie nach dem Aufhören des Druckes die eingenommene Form völlig erhalten und nach Entfernung der Flüssigkeit dieselbe auch als feste Körper unverändert bewahren.“ Die Anzahl der vorhandenen Erklärungsversuche ist eine außerordentlich große, lediglich die Aufzählung der verschiedenen Arbeiten² würde den Rahmen dieser Abhandlung bedeutend überschreiten. Was für die Theorien über die Konstitution des Portlandzementes gilt, gilt auch hier: Es gibt ebenso viele Erklärungen, wie es Arbeiten über diesen Gegenstand gibt.

Die Notwendigkeit, sich ein genaues Bild über die Plastizität zu verschaffen, ergibt sich aus der Klassifizierung der Tone in plastische und unplastische (magere) Tone. Eine rein chemische Untersuchung gewährt keine Anhaltspunkte, beispielsweise sind Tone bekannt, welche die gleiche chemische Zusammensetzung besitzen und ein durchaus abweichendes Verhalten im Feuer aufweisen. Es ist daher namentlich von mineralogischer Seite versucht worden, durch Untersuchung der kristallographischen Verhältnisse der Lösung dieser Frage näher zu treten. Es sind bekanntlich von JOHNSON und BLAKE³ auf der National Belle Mine zu Colorado mikroskopische, nach Untersuchung von REUSCH⁴ dem monoklinen System angehörende Kristalle aufgefunden worden, welche nach ihrer chemischen Zusammensetzung Kaolin in reiner Form ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) repräsentieren. Nachdem sich auch durch weitere Untersuchungen die früher vielfach angezweifelte Tatsache ergeben hatte, daß Kaolin wirklich eine kristallinische Beschaffenheit besitzt, suchte man den Grund für den Plastizitätsunterschied wesentlich in der äußeren Form der Teilchen. Man nimmt an, daß die Tone sekundärer Lagerstätte infolge des Sedimentationsprozesses eine Abrundung und Zerkleinerung ihrer Teilchen erfahren haben, daß sie geringeres Volum und Gewicht besitzen und daß hierin der Grund für den Plastizitätsunterschied zu suchen sei. Wenn auch diese Betrachtungen sowie die Kenntnis einer kristallinischen Struktur der Kaoline in vieler Hinsicht von hohem

¹ SEGER: Beziehungen zwischen Festerfestigkeit und Plasticität der Tone. Tonindustrie-Ztg. 1890. 201.

² Eine ziemlich ausführliche Literaturzusammenstellung (bis 1901) gibt H. RÖSSLER: Beiträge zur Kenntnis einiger Kaolinlagerstätten. N. Jahrb. f. Min. etc. Beil.-Bd. XV. 231. (1902.)

³ Amer. Journ. of Sc. 43. 351. (1867.)

⁴ REUSCH, Krystallisierter Kaolin von Denver in Colorado. N. Jahrb. f. Min. etc. (1887) II. 70.

Wert erscheinen, so stehen sie jedoch anderseits mit vielen physikalischen Eigenschaften der Tone in Widerspruch und vermögen die Ausnahmestellung der Tone vor anderen Mineralien in bezug auf Plastizität, Schwindvermögen nur unzureichend zu erklären. Bischof¹ betont daher, daß wir zwar „den plastischen Zustand genau beschreiben können, sowie dessen Auftreten begünstigenden Umstände kennen“, daß „uns aber immer noch die eigentliche Erklärung des Wesens der Plastizität fehlt“.

Einen wesentlich aufklärenden Einblick erhält man, wenn man die Einwirkung beobachtet, welchen Wasser auf plastischen resp. mageren Ton ausübt: Wird unplastischer Ton mit Wasser angerührt, so nimmt er die Flüssigkeit sehr schnell auf und es entsteht ein dünnflüssiger Brei. Wird dagegen plastischer Ton befeuchtet, so entsteht zunächst ebenfalls ein dünner Brei, jedoch bald verschwindet die Flüssigkeit, der Brei wird zäher und steifer und erhält schließlich einen Zustand, welchen man gewöhnlich mit „Wassersteife“ bezeichnet, er vermag dann Wasser nur noch schwierig aufzunehmen. Wird das Wasser wieder entfernt, so schwindet er ganz bedeutend und trocknet zu einer harten hornartigen Masse ein. Kommt fernerhin ein plastisches Tonstück mit Wasserdampf in Berührung, so wird dieses begierig absorbiert: die Masse quillt auf und vermag, wie man an Tonlagerstätten oft beobachten kann, ganz gewaltige Drucke gegen äußeren Widerstand auszuüben.

Während sich obige an unplastischen Tönen auftretenden Erscheinungen an jedem, in Wasser unlöslichen Kristallpulver beobachten lassen, sind die an plastischen Tönen bemerkbaren Erscheinungen aller Eigenschaften, welche Kolloide, speziell quellbare Körper wie Gallerte etc. aufweisen. Das große Absorptions- und Wasseraufnahmevermögen, die bedeutende Trockenschwindung, sowie das Eintrocknen zu einer harten, hornartigen Masse sind charakteristische Eigenschaften der Gallerte. Der Zustand der Wassersteife schließlich entspricht dem Quellungsmaximum quellbarer Körper.

SCHLÖSING² kam bereits zu dem Resultat, daß im Kaolin neben dem kristallinen Kaolinit noch ein amorpher Körper vorhanden sein müsse. Er vermochte diesen „argile colloïdale“ infolge seiner Suspensionsfähigkeit in ammoniakalischem Wasser von den kristallinen Bestandteilen zu trennen und näher zu untersuchen. Der amorphe zeigte die gleichen chemischen Eigenschaften und erwies sich u. d. M. als ein aus kugeligen einfach brechenden

¹ C. Bischof, Die feuerfesten Tone. 1895. 22, 23.

² Compt. rend. 78. 14, 38 (1878). 79. 376, 473 (1879). cf. auch Le Chatelier: Über die Konstitution der Tone. Zeitschr. f. phys. Chem. 1887. 396.

Aggregaten bestehendes Gebilde. Da neuerdings die Existenz kolloidalen Tones von SH. KASAI¹ bestritten worden ist, möge dessen Hauptargument hier angeführt werden. KASAI untersuchte Zettlitzer Kaolin u. d. M. und fand, daß „in der Tat, wie SCHLÖSING angibt, neben den durch die Doppelbrechung ausgezeichneten Kriställchen noch kleine kugelige Aggregate vorhanden sind, welche auf den ersten Blick vollkommen einfachbrechend zu sein scheinen. Bei aufmerksamer Beobachtung findet man in denselben äußerst schwache doppelbrechende Partien“. Gesetzt den Fall, daß diese doppelbrechenden Partien tatsächlich vorhanden sind, so ist dieser einzige Beweis noch nicht ausschlaggebend für eine kristallinische Struktur, da sich auch an amorphen Substanzen Doppelbrechung beobachten läßt, sowie durch Zug, Druck etc. künstlich hervorgerufen werden kann². Merkwürdigerweise konnte KASAI noch eine zweite charakteristische Eigenschaft der Tone und der Kolloide überhaupt nicht nachweisen: Die Klärung von Tonsuspensionen durch geringe Mengen von Säuren und Salzen. BODLÄNDER³ hat dagegen gezeigt, daß Salzsäure noch in einer Verdünnung von 1 Teil in fast 1½ Millionen Teilen Wasser deutlich auf die Kaolinsuspension einwirkt, d. h. Klärung veranlaßt.

Nach SCHLÖSING hat auch vornehmlich P. ROHLAND⁴ darauf hingewiesen, daß eine Beziehung zwischen Kolloiden und plastischen Substanzen bestehen müsse: „Die Stoffe nun, welchen mit dem Wasser kolloidale Lösungen bilden, sind es auch, welchen im Gegensatz zu den Kristalloiden eine kleinere oder größere Fähigkeit der Plastizität zukommt. Vielleicht ist die jedenfalls mehr als mechanische Vereinigung des Wassers mit den Tönen auf die Wirkung der Kapillaraffinität zurückzuführen.“

Daß auch die Kaoline, ebenso wie die plastischen Tone einen gewissen Prozentsatz an quellbarer Substanz besitzen, geht auch aus folgendem hervor: Wird geschlämmter Zettlitzer Kaolin vermöge etwas Wasser in eine knetbare Masse verwandelt und in eine Strangpresse gebracht, so bedarf es nur eines geringen Druckes, um die Masse in langen, geschmeidigen Fäden herauszutreiben. Ist dagegen die Flüssigkeit nur mechanisch eingelagert, so bewirkt ein geringer Druck vorzugsweise den Austritt des zugesetzten Wassers, während das unplastische Pulver als starrer Körper zurückbleibt, so daß es sehr großer Drucke bedarf, um auch dieses als Strang herauszutreiben. Man muß daher in diesem Falle einen

¹ SH. KASAI, die wasserhaltigen Aluminiumsilikate. Diss. München (1896).

² F. KLOCKE, N. Jahrb. f. Min. etc. (1881.) 249.

³ G. BODLÄNDER, Versuche über Suspensionen. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen 1893, 274, N. Jahrb. f. Min. etc. 1893. 2. 147.

⁴ P. ROHLAND, Über die Plastizität der Tone. Zeitschr. f. anorg. Chem. 31. 158. (1902.)

quellbaren Körper, etwa Tragant, zur Vermeidung dieses Übelstandes künstlich zusetzen.

Ferner beobachtet man bei der Entwässerung der Tone¹, daß die Schwindung anfangs genau dem Wasserverluste entspricht, dann aber Halt macht, so daß bei weiterer Entwässerung der Körper als poröses Gerüstwerk zurückbleibt. Die „Schwindungsgrenze“ liegt nach ARON für einen bestimmten Ton an einer ganz bestimmten Stelle. Die analogen Erscheinungen sind auch an Kolloiden bekannt. VAN BEMMELEN² bezeichnet den Punkt, wo die Bildung wasserleerer Räume beginnt, als „Umschlagspunkt“.

Führt das Wasser nur zu einer mechanischen Einlagerung, so ist dieses leicht wieder zu entfernen, die feuchte Masse stellt dabei eine Art Suspension dar, ein Konglomerat von Teilchen, welches von einem Netz von Kapillarröhren durchzogen ist. Verdunstet an der freien Oberfläche das Wasser, so wird durch Kapillarkräfte Flüssigkeit aus dem Innern herausgesaugt. Durch diese Zugwirkung nähern sich die Teilchen und der Körper schwindet. Die Festigkeit des trockenen Körpers kann hierbei nur sehr gering sein, da nach Entfernung der verkittenden Zwischenschicht, der Zusammenhang nur ein äußerst lockerer sein kann. Wesentlich anders sind die Verhältnisse bei einem quellbaren Körper, hier tritt nicht nur eine mechanische Einlagerung ein, vielmehr auch eine molekulare Durchdringung (Imbibition nach FRICK). Der Körper verläßt durch diesen Lösungsprozeß seinen starren Zustand und geht in einen halbflüssigen über, wodurch die Verkittung der einzelnen Teilchen sowie eine leichte Verschiebbarkeit ermöglicht wird. Gleichzeitig tritt durch die Adsorption eine bedeutende Volumvergrößerung des Gebildes ein, da die Flüssigkeit in dem Bestreben, sich zwischen die Teilchen der Substanz zu lagern, diese wie ein Keil auseinander treibt. Infolge der Quellung ist daher die an plastischen Tönen bei der Entwässerung beobachtete Schwindung größer als die an Kaolinen auftretende. Man begegnet hier dem fundamentalen Unterschied, welcher zwischen breiartigen Körpern und Gallerten besteht: Letztere bilden ein zusammenhängendes Gerüstwerk, während die festen Teilchen in einer breiigen Flüssigkeit außer Kontakt stehen und durch die Flüssigkeit, welche als Schmiermittel dient, vor direkter Berührung geschützt sind. Es können daher breiartige Körper zwar eine gewisse Bildsamkeit aufweisen, so daß ihnen eine bestimmte Form gegeben werden kann, sie können aber nach Entfernung der verkittenden Zwischenschicht dieselbe nicht unverändert bewahren und gerade hierauf beruht das Eigenartige und Wertvolle der Plastizität der Tone.

Die Physik der Quellungserscheinungen ist mathematisch und

¹ ARON, Notizblatt. 9. 167. (1873.)

² VAN BEMMELEN, Absorption. Zeitschr. f. anorg. Chem. 18. (1898.)

physikalisch wohl begründet, sowie den Gesetzen der Thermodynamik zugänglich¹. Neuerdings fand SPRING² gelegentlich ausgedehnter Versuche über die Wasserundurchlässigkeit der Tone, daß das Volum des gequollenen Tones kleiner war als sein ursprüngliches Volum plus dem der aufgenommenen Flüssigkeit. Die hier beobachtete Kontraktionserscheinung ist eine Eigenschaft, welche allgemein an quellbaren Körpern auftritt und vor langem von QUINCKE³ an Gallerten etc. aufgefunden worden ist. Sie spricht im übrigen auch für die Richtigkeit der schon von NÄGELI (1858) vertretenen Auffassung, daß Wasser mit dem quellbaren Körper eine feste Lösung bildet, wobei der absorbierende Körper als Lösungsmittel, das molekular imbibierte Wasser als gelöster Stoff aufzufassen sind. Die bei der Quellung stets auftretende Wärmeentwicklung, eine Folge der Kontraktion, ist verschiedentlich sowohl experimentell beobachtet wie auch theoretisch gefolgert worden⁴. Schließt man sich obiger Auffassung an (wie andernfalls auch aus dem Prinzip des „beweglichen Gleichgewichts“ folgt), so muß mit $\frac{\text{steigender}}{\text{abnehmender}}$ Temperatur die Löslichkeit $\frac{\text{abnehmen}}{\text{zunehmen}}$, d. h. mit steigender Temperatur nimmt der Quellungsgrad ab und es muß somit durch Zuführung von Wärme Schwindung eintreten. Andererseits folgt, daß — konstanter Druck vorausgesetzt — durch Erniedrigung der Temperatur die Quellung begünstigt werden muß. Es ist daher unter gleichen Verhältnissen in kühlen Kellerräumen das Wasseraufnahmevermögen beträchtlicher als in Räumen, welche die gewöhnliche Zimmertemperatur besitzen. — Der Grund dafür, daß der Ton erst nach jahrelanger Lagerung zur Verwendung gelangt, ist wohl darin zu suchen, daß sich das endgültige Quellungsmaximum nicht sofort einstellt; der Wassereintritt erfolgt um so schwieriger, je mehr der Ton bereits in sich aufgenommen hat. Hierbei soll durchaus nicht geleugnet werden, daß hier noch andere Faktoren in Erscheinung treten, welche zur Erhöhung der Plastizität beitragen; wahrscheinlich gibt der bei langer Lagerung auftretende Fäulnisprozeß zu Hydrogelbildung Anlaß⁵.

¹ Eine Literaturzusammenstellung findet sich bei TH. KÖRNER: Beiträge zur Kenntnis der wissenschaftlichen Grundlagen der Gerberei. Jahresber. d. deutschen Gerberschule. Freiberg (1900). (1899.)

² SPRING, Über die Durchgängigkeit des Tones für Wasser. Ann. de la Soc. géol. de Belgique. 28. 117. (1901.)

³ G. QUINCKE, PFLÜGER's Archiv. 3. 332.

⁴ cf. KÖRNER, l. c.

⁵ SEGER, Tonindustrie-Ztg. 15. 813. (1891). E. STOVER, Die Fortpflanzung von Bakterien als Ursache der Plastizität der Tone. Amer. Ceram. Soc. (1902.) P. ROHLAND, Zeitschr. anorg. Chem. 41. 325. (1904.)

Es ist bekannt, daß Kristallen die Eigenschaften der Quellbarkeit nicht zukommen. Wenn wir hier Bildsamkeit und verwandte Eigenschaften auf Quellungserscheinungen zurückführen, stellen wir uns damit in einen gewissen Gegensatz zu dem schon oben erwähnten kristallographischen Befund. Dieser Gegensatz ist m. E. nur ein scheinbarer. Es ist Naturgesetz, daß der amorphe Körper stets zuerst entsteht; sind die äußeren Verhältnisse günstig, so kann er sich in den stabileren Zustand umwandeln und kristallinische Struktur annehmen, während er umgekehrt unendlich lange in einem metastabilen Zustand verharren kann. Aus der Tatsache, daß in der National Belle Mine zu Colorado mikroskopisch kleine monokline Kaolinitkristalle aufgefunden worden sind, würde lediglich folgen, daß dort die Bedingungen zur Kristallbildung günstig gewesen sind, die Umwandlung aus dem amorphen Zustand in den kristallinischen hier eine vollständige war.

Der Plastizitätsgrad eines Tones wäre somit durch den Prozentsatz an quellbarer Substanz bestimmt, das Überwiegen feinsten kristallisierter Teilchen würde ihn zu einem mageren herabdrücken. Bei dieser Definition¹ ist es dann auch gleichgültig, ob das Quellungsvermögen von der Tonsubstanz selbst oder von einem anderen quellungsfähigen Körper herrührt. Dies steht mit den Erfahrungen der Praxis (ACHESON), wo andere quellungsfähige Körper, wie Dextrin, Stärke etc. zur Erhöhung der Plastizität künstlich zugesetzt werden, durchaus im Einklang.

Die Bildsamkeit eines Tones, ebenso wie die eines Kolloids, wird durch starke Erhitzung vernichtet, gleichzeitig treten die bekannten Schwindungserscheinungen auf, der Ton zieht sich unter der Einwirkung der Hitze stark zusammen. Dieses Schwindungsvermögen im Feuer ist durchaus keine spezifische Eigenschaft des Tones allein, wie verschiedensten angenommen worden ist, sondern läßt sich bei den verschiedensten Substanzen beobachten. Namentlich sind es die sogen. feuerfesten Oxyde, wie Magnesia, Tonerde, Titansäure, Berylliumoxyd, die Oxyde der seltenen Erden, welche diese Erscheinung in ausgeprägtestem Maße zeigen. Auf die Erscheinung der Feuerschwindung ist an anderer Stelle ausführlich eingegangen worden²: auch hier ergibt sich experimentell, daß die Schwindung an den amorphen Zustand gebunden ist. Die Schwindung selbst tritt dadurch in Erscheinung, daß durch die Einwirkung der Hitze die zahlreichen kleinen Hohlräume zum Verschwinden gebracht werden. Die dabei auftretenden, die freie Oberfläche vermindernenden Spannungskräfte lassen sich durch Kapillarkräfte erklären. Bei gewöhnlicher Temperatur können diese Kapillar-

¹ cf. LUCAS, Untersuchungen über die Feuerschwindung. Diss. (1903.) 39. Göttingen.

² R. LUCAS, Zeitschr. f. phys. Chem. 52. 327—342, (1905.)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: [1906](#)

Autor(en)/Author(s): Lucas Richard

Artikel/Article: [Zur Kenntnis der physikalischen Eigenschaften der Tone. 33-38](#)