

EINSATZMÖGLICHKEITEN VON TONEN AUS DEM BEREICH DES BRAUNKOHLETAGBAUS OBERDORF, WESTSTEIRISCHES TERTIÄRBECKEN, ALS ROHSTOFF IN DER INDUSTRIE

Doris Wagner & H. Kurzweil

Institut für Petrologie, Universität Wien, Geozentrum, Althanstrasse 14, A-1090 Wien

Kurzfassung

Das von der GKB Bergbau Ges.m.b.H in Köflach (Steiermark) in Auftrag gegebene Projekt hatte zum Ziel, mögliche Einsatzbereiche der im Tagbau Oberdorf vorkommenden tertiären Tone in Industrie und Umwelt aufzuzeigen. Die Untersuchungen umfassten sowohl technische als auch sedimentpetrographische Parameter.

Um eine für den gesamten Abraum repräsentative Probenmenge zu erhalten, wurde an drei verschiedenen Lokalitäten innerhalb der Ostmulde eine technische Großbeprobung mittels Bagger durchgeführt, mit anschließender maschineller Aufbereitung. Darauf folgende sedimentpetrographische Untersuchungen, welche Korngrößenverteilung, Mineralogie, Morphologie der Tonminerale und den Chemismus umfassten, wurden jeweils an zwei Durchschnittsproben je Schicht vorgenommen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen eine sehr einheitlich aufgebaute Tonlagerstätte, die in ihrer mineralogischen und chemischen Zusammensetzung der üblichen Ausbildung Weststeirischer Beckensedimente entspricht. Mit Smektitgehalten unterhalb von ca. 10 % war an eine Aktivierung der Tone nicht zu denken und so beschränkten sich diese Untersuchungen schwerpunktmäßig auf die Ermittlung keramischer und ingenieurgeologischer Kennwerte.

Wasseraufnahme, Blauwert und Kationenaustauschvermögen bestätigten einen „illitischen“ Aufbau der Tone mit wenig Smektit.

Die Ergebnisse aus der Bestimmung des Anmachwassergehaltes, der Trocken- und Brennschwindung sowie der Fließ- und Ausrollgrenze zeigen, dass es sich bei den Köflacher Tonen um sogenannte „gemeine Tone“ handelt, deren Verwendung sich auf „gewöhnliche“ Ziegeltonen beschränkt.

Weitere Untersuchungen bezüglich der Verdichtbarkeit und Wasserdurchlässigkeit des Materials bestätigen eine Eignung als Dichtmaterial.

1. Einleitung

Die im Tagbau Oberdorf verbreiteten Braunkohle-führenden, neogenen Sedimentabfolgen (Otnang, 17,6 Ma) sind Ablagerungen eines ehemals randfaziellen, fluviatilen Environments in der Köflach-Voitsberger Bucht (HAAS 1999). Es handelt sich um im wesentlichen schluffig-tonige Überflutungssedimente, die im Hinblick auf ihre Verfügbarkeit und ihre einheitliche Ausbildung hinsichtlich Kornaufbau und Mineralogie ein für industrielle Zwecke potentiell nutzbares Rohstoffvorkommen darstellen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mögliche industrielle Einsatzbereiche dieser Tone anhand von mineralogischen, chemischen und technischen Untersuchungen an drei großtechnisch gewonnenen Durchschnittsproben, zu charakterisieren.

Dabei stand zu Beginn der Arbeit seitens der Grubenbetreiber der Gedanke einer möglichen Aktivierung der Tone im Vordergrund, wobei man an eine „höherwertige“ Verwendung dachte, also an eine Art „Bentonitersatz“. Auch an Einsatzmöglichkeiten in Bereichen der Abwasserreinigung, Erdölindustrie oder chemischen Industrie (Katalysatoren) wurde gedacht. Doch ist vorweg zu nehmen, dass schon zu Beginn der Untersuchungen sehr deutlich wurde, dass derartige Aktivierungen nicht möglich sind, geht man davon aus, dass hierfür Smektitgehalte (quellfähige Tonminerale) von über 50 % notwendig wären, und die in diesem Material vorhandenen Gehalte nicht über 10 % hinausgehen.

2. Material und Methoden

Im Bereich der Ostmulde des Tagbaus Oberdorf wurden an drei verschiedenen Lokalitäten Proben entnommen, wobei Schlitz 1 (TP 1) im obersten, Schlitz 2 (TP 2) im mittleren und Schlitz 3 (TP 3) im unteren Bereich innerhalb des Tagbaus lokalisiert ist (Abb.1). Die Probennahme erfolgte mittels Bagger (Abb.2). Die Probemenge je Schlitz betrug schätzungsweise 40 Tonnen, und war damit repräsentativ für angestrebte großindustrielle Nutzungen.

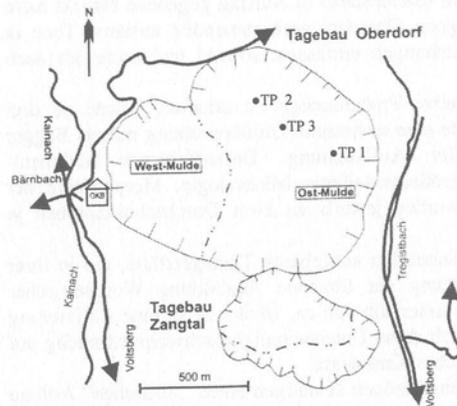


Abb. 1: Lageskizze der untersuchten Aufschlüsse (TP 1 – 3) im Tagbau Oberdorf

Zur lokalen Aufschlussituation:

Schlitz 1 (Abb.2) zeigt vereinzelt Sandlinsen und bereichsweise liegt stärkere Verockerung vor. Charakteristisch für Schlitz 2 waren eingeschaltete Kohlehorizonte, und in Schlitz 3 waren lokal Sandsteinkonkretionen und ebenfalls Verockerungen zu beobachten.

Die Zerkleinerung der Proben erfolgte großtechnisch durch sogenanntes „häckseln“. Anschließend wurde das Material mittels Bagger „geviertelt“.

Die so gewonnen Materialdurchschnitte wurden in Fässer gefüllt und verladen. Davon wurden 15 Fässer (5 je Schlitz) mit etwa je 70 kg nach Wien geliefert, 15 Fässer nach Leoben an die Montanuniversität und 30 Fässer als Rückstellproben in Köflach zurückbehalten.

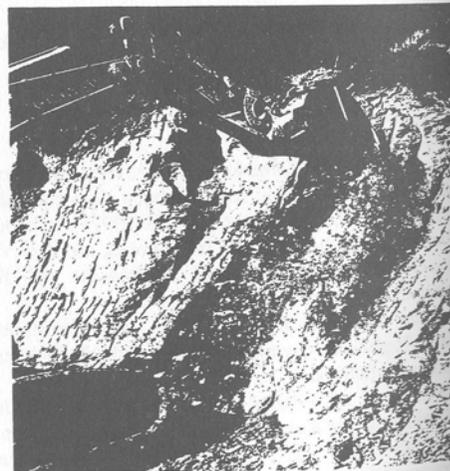


Abb. 2: Probenahme von Schlitz 1 im oberen Bereich des Tagbaus

Das Untersuchungsprogramm umfasste folgende Methoden:

- Korngrößenanalytik (Siebungen, SEDIGRAPH)
- Mineralogische Untersuchungen (XRD, DTA/DTA, REM/EDAX)
- Chemische Analytik (XRF – Haupt- und Spurenelemente)

sowie die Ermittlung der Kennwerte von:

- Wasseraufnahmefähigkeit (ENSLIN)
- Methylenblau-Wert
- Kationenaustauschvermögen
- Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert)
- Proctorversuch
- Fließ- und Ausrollgrenze
- Anmachwassergehalt
- Trocken- und Brennschwindung.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Korngrößenanalytik

Die im Gelände gewonnen Sedimentproben wurden zur Feststellung des Kornaufbaus mittels Nasssiebung gemäß DIN 4022 klassiert. Dazu wurden 2 repräsentative Proben je Schlitz, also insgesamt 6 Proben analysiert. Die Proben aus Schlitz 1 sind mit TP 1A und TP 1B, jene aus Schlitz 2 mit TP 2A und TP 2E und aus Schlitz 3 mit TP 3A und TP 3B bezeichnet. Die Siebung erfolgte NORM-gemäß nach DIN 51033.

Zur Erfassung der Silt- und Tonfraktion ($< 0,063$ mm) wurden Analysen mittels SEDIGRAPH 5100 durchgeführt, wobei dem Ablauf des Messvorganges mit Hilfe von Pyknometern gewonnene Reindichten zu Grunde gelegt wurden.

Tab. 1: Daten zur Siebanalyse

PROBE	FEINKIES [%]	SAND [%]	SCHLUFF (SILT) [%]	TON [%]
TP 1A	1,5	35,0	34,5	29,0
TP 1B	1,2	35,9	31,1	31,9
TP 2A	2,3	21,4	41,5	34,8
TP 2E	2,8	24,6	42,1	30,5
TP 3A	3,2	16,6	34,0	46,2
TP 3B	2,1	16,2	40,8	40,9

Durch Verknüpfung von Sieb- und Sedigraphdaten konnten Kornsummenkurven erstellt werden, die den annähernd gleichen Kornaufbau der Proben widerspiegeln.

Nach ihrer Korngrößenzusammensetzung entsprechen die Rohstoffproben schlecht sortierten schluffigen Tonen, die in dieser Zusammensetzung nach der Klassifizierung nach WINKLER (1914) für Ziegeltonen in den Dach- bzw. Deckenziegelbereich fallen (LORENZ und GWOSDZ 1997).

Charakteristisch ist eine Zunahme des Feinkornanteils von Schlitz 1 (TP 1A; TP 1B) über Schlitz 2 (TP 2A; TP 2E) nach Schlitz 3 (TP 3A; TP 3B). Eine Korngrößenabnahme vom Hangenden zum Liegenden innerhalb des Tagbaus erscheint damit gegeben, was der generellen sedimentologischen Entwicklung dieses Tonvorkommens entspricht.

3.2. Mineralogische Untersuchungen

3.2.1. Röntgendiffraktometrie (XRD)

Dieses Verfahren dient zur qualitativen und semiquantitativen Bestimmung des Mineralbestandes. Um einen Überblick über die Haupt- und Nebengemengteile der Tone zu erhalten, wurden zunächst die Durchschnittsproben untersucht.

Dabei zeigte die durchschnittliche mineralogische Zusammensetzung mit den Schichtsilikaten der Glimmer- (ca. 36 %), der Chlorit- (ca. 8 %), der Kaolinit- (ca. 7 %) und der Smektitgruppe (ca. 5 %), sowie den Gemengteilen Quarz (ca. 40 %) und Feldspat (ca. 4 %) ein Tongestein in der üblichen Ausbildung Weststeirischer Beckensedimente.

Charakteristisch ist eine Zunahme des Tonmineralgehaltes von oberen nach unteren Bereichen innerhalb des Tagbaus. Dies ist gegenläufig mit einer Abnahme des Quarzgehaltes verbunden und sehr gut mit den granulometrisch gewonnenen Daten korrelierbar.

Zur weiteren Bestimmung der Schichtsilikate erfolgte eine Abtrennung der < 2 µm Fraktion mittels Atterberg-Zylinder und der < 0,2 µm Fraktion mittels Zentrifuge mit nachfolgenden Belegungen bzw. Sättigungen mit K und Mg sowie Ethylenglykol (EG) und Glycerin. Eine Trennung von Kaolinit und Chlorit wurde schließlich durch Sättigung mit DMSO (Dimethylsulfoxid) erreicht.

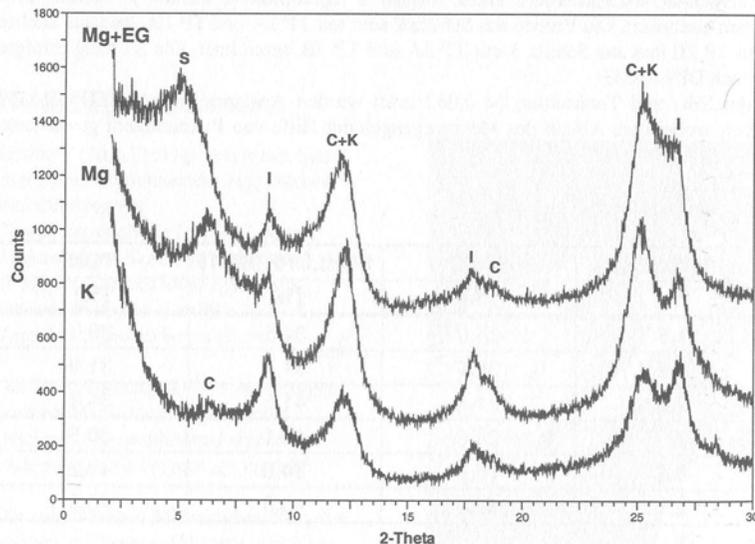


Abb. 3: Röntgendiffraktogramme der Fraktion < 0,2 µm der Probe TP 2A. Sättigung mit K, Mg und Mg+EG. S=Smektit, I=Illit, C=Chlorit, K=Kaolinit.

Die < 0,2 µm Fraktion (Abb.3) zeigte eine tonmineralogische Zusammensetzung aus Smektit, Illit, Chlorit, Kaolinit und lieferte keine zusätzlichen Ergebnisse. Es konnten keine diagenetisch neugebildeten Mischphasen (mixed-layer) festgestellt werden.

3.2.2. Differentialthermoanalyse – Thermogravimetrie (DTA / TG)

Diese Analyseverfahren, bei denen Proben auf 1200° aufgeheizt werden, dienen in Ergänzung zu XRD - Untersuchungen vorrangig zur Bestimmung des organischen Anteils und röntgenamorpher Substanz. Da der Verlauf von DTA- und TG- Kurven weitgehend ähnlich bzw. überlappend für die verschiedenen Schichtsilikate angelegt ist, lassen sich daraus nur generelle Schlüsse auf die tonmineralogische Zusammensetzung der untersuchten Proben ziehen.

Die Analysen ergaben geringe organische Anteile, und zwar für

TP 1A (0,3 %), TP 2E (0,4 %) und TP 3A (0,6 %).

3.2.3. Raster-Elektronenmikroskopie (REM)

Das Rasterelektronenmikroskop wird meist eingesetzt um Aussagen über die Morphologie von Phasen, die Ausbildung des Porenraumes und, bevorzugt bei Tonmineralen, über diagenetische Neubildungen zu machen (ENGELKE 1979).

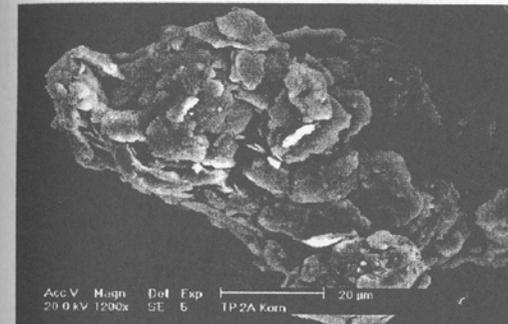


Abb. 4: Quarzkorn, das von Tonmineralen umwachsen ist

Die durchgeführten REM- Analysen lieferten keine überraschenden Ergebnisse. Die Tonminerale waren generell morphologisch sehr schlecht ausgebildet (Abb.4). Eindeutige Identifizierungen waren daher schwierig und konnten nur unter Vorbehalt vorgenommen werden.

3.3. Chemische Analytik (RFA)

Zur Feststellung der chemischen Zusammensetzung und als Unterstützung der Aussagen zur Mineralogie der Tone wurden Untersuchungen mit Hilfe von Röntgenfluoreszenz durchgeführt.

Tab. 2: Werte bezogen auf die bei 105° getrockneten Proben in M-%

Probe	GV	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
TP 1A	6,69	64,60	1,33	15,51	7,48	0,09	0,89	0,45	0,32	2,52	0,13
TP 1B	6,53	65,66	1,32	14,69	7,48	0,10	0,88	0,45	0,32	2,44	0,12
TP 2A	7,17	62,23	1,34	16,79	7,46	0,07	1,12	0,56	0,33	2,78	0,13
TP 2E	7,23	61,78	1,32	17,16	7,44	0,07	1,14	0,56	0,32	2,83	0,13
TP 3A	7,50	58,88	1,30	18,61	8,37	0,10	1,17	0,58	0,34	3,03	0,13
TP 3B	7,54	58,14	1,29	18,91	8,66	0,11	1,21	0,58	0,34	3,07	0,13

Auffallend an den Proben ist der geringe Gehalt an CaO, welcher unter 1 % liegt. Dies deckt sich mit den XRD-Analysen, bei denen keine Karbonate nachgewiesen werden konnten. Der hohe Kaliumgehalt (2,4 – 3,1 %) weist auf den hohen Glimmeranteil im Sediment hin, was durch die mineralogischen Ergebnisse bestätigt wurde.

3.4. Technische Parameter

3.4.1. Wasseraufnahmefähigkeit (ENSLIN)

Der Versuch dient zur Bestimmung der Wasseraufnahme (Quellvermögen) von Feinkornfraktionen. Unter Wasseraufnahme versteht man das Vermögen einer Substanz, Wasser zu adsorbieren. Diese aufgenommene Wassermenge setzt sich aus Haftwasser, Kristallwasser und interkristallinem Quellwasser (z.B. bei Tonmineralen) zusammen und ist abhängig vom Tongehalt und der chemischen Zusammensetzung der Tonminerale (RVS 11.062, Blatt 12).

Bei diesem Verfahren wird das sogenannte Enslin-Gerät verwendet, das zunächst mit destilliertem Wasser blasenfrei gefüllt wird. Nach dem Platzieren der getrockneten Probe in einer Fritte wird ein Dreiweghahn in Messposition gebracht. Damit wird der Versuch gestartet und in bestimmten Zeitabständen das verbrauchte Wasser an einer Kapillare abgelesen.

Die Versuche wurden an der Tonfraktion ($< 2 \mu\text{m}$) der Proben durchgeführt und jeweils nach vier Tagen abgebrochen. Wie aus Abb. 5 ersichtlich, ist der Kurvenverlauf der 3 Proben ähnlich, wobei aber die maximale Wasseraufnahme innerhalb dieser vier Tage noch nicht ganz erreicht wurde.

Plastische Rohstoffe neigen durchwegs zu einer höheren Wasseraufnahme, z.B. betragen nach LEHMANN und KOLTERMANN (1960) die Enslinwerte für Rohkaolin 60 bis 80, und für Bentonite 500 M-%. Quarzrohstoffe nehmen gewöhnlich nicht mehr als 30 M-% Wasser auf SALMANG und SCHOLZE (1954).

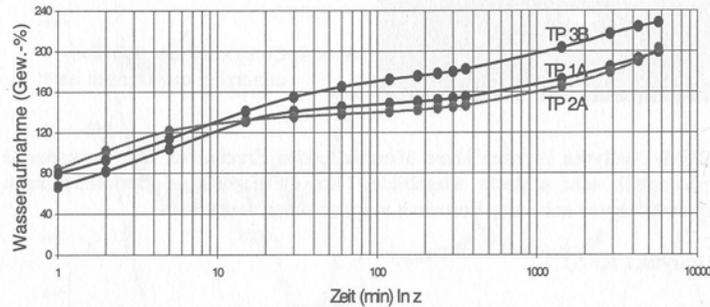


Abb. 5: Wasseraufnahme nach ENSLIN

Die hier gewonnenen Daten mit Werten um 200 % entsprechen durchwegs einer Zusammensetzung gewöhnlicher Tone mit wenig Montmorillonit. Die höhere Wasseraufnahme bei Probe TP 3B ist mit erhöhtem Smektitgehalt zu erklären, was mit der festgestellten Mineralogie korreliert.

3.4.2. Methylenblau-Wert

Der Methylenblau-Versuch ist eine Kationenaustauschreaktion, wobei Methylenblau als Kation eingetauscht wird. Er gibt eine generelle Auskunft über die Art und Menge der in einem Material enthaltenen Tonanteile (RVS 11.062, Blatt 13).

Die Bestimmung mit Methylenblau ist eine sehr einfache und schnelle Routineanalyse, die auch im Gelände durchgeführt werden kann, aber nur Richtwerte liefert.

Versuche wurden an den Kornfraktionen $< 4 \text{ mm}$, $< 0,063 \text{ mm}$ und $< 0,002 \text{ mm}$ durchgeführt. Dabei wurden der in Suspensionsform vorliegenden Probe mittels Bürette jeweils 2 ml Methylenblau-Lösung zugegeben. Mit einem Glasstab wurde danach 1 Tropfen der Suspension auf ein Filterpapier übertragen und der Fleckentest bestimmt. Methylenblau-Zugabe und Fleckentest wurden so lange wiederholt, bis sich um die zentrale Ablagerung ein hellblauer Hof („Aureole“) bildete. Dann wurde in einminütigen Abständen – ohne weitere Methylenblau-Zugabe – der Fleckentest wiederholt. War nach 5 Minuten die Aureole immer noch sichtbar, galt der Versuch als abgeschlossen.

Tab. 3.: Resultate des Blauwert-Versuches bezogen auf spezifische Korngrößenbereiche in mg MB/g Trockensubstanz

Probe	B (0/2 mm)	B (0/0,063 mm)	B (0/0,002 mm)
TP 1A	3,00	4,00	11,00
TP 1B	3,29	4,25	12,00
TP 2A	3,50	4,25	11,00
TP 2E	3,43	4,38	12,50
TP 3A	4,29	5,00	12,00
TP 3B	4,43	4,75	13,00

Mit Methylenblau-Werten von 3,00 – 4,43 weisen die Durchschnittsproben Werte auf, die Illiten entsprechen würden. Die etwas höheren Blauwerte von 11,00 – 13,00 in der Kornklasse $< 2 \mu\text{m}$ sind auf den erhöhten Smektitgehalt zurückzuführen, der aufgrund seiner extremen Feinkörnigkeit vor allem in der $< 0,2 \mu\text{m}$ Fraktion angereichert ist. Generell ist ein Ansteigen der Blauwerte von TP 1 über TP 2 nach TP 3 feststellbar, was die Zunahme des Tonmineralgehaltes widerspiegelt. Die Ergebnisse des Methylenblau-Versuches sind sehr gut mit den mineralogischen Daten korrelierbar. Wiederum wurden auch die sehr geringen Gehalte an Smektit bestätigt (Smektit hat einen Blauwert von 42), die für eine Aktivierung aber bei weitem nicht ausreichend sind.

3.4.3. Kationenaustauschkapazität (KAK)

Eine wichtige Eigenschaft von Tonmineralen ist die Fähigkeit, aufgrund ihrer negativen Schichtladung, Kationen auszutauschen. Das Kationenaustauschvermögen ist deshalb ein wichtiger Kennwert, der in einem weiten Anwendungsspektrum tonig-schluffiger Rohstoffe in Industrie und Technik Beachtung findet.

Die hier verwendete Methode mit Kupfer(II)-Triethyltetramin-Komplexen (MEIER & KAHR 1999) als adsorbierende Kationen, bei der die Differenzkonzentrationsmessung mit einem einfachen Photometer erfolgt, stellt eine einfache und schnelle Bestimmung der KAK von Tönen dar, in guter Übereinstimmung mit der sehr zeitaufwendigen Ammoniumacetatmethode.

Tab. 4: Kationenaustauschvermögen in milliäquivalent (mval) pro 100g

Probe	KAK (0 / 2 mm)	KAK (0 / 0,002 mm)
TP 1A	9,9	23,9
TP 2A	11,3	24,8
TP 3B	12,2	26,1

Tab. 5: KAK von Tonmineralen in mval/100g
(nach GRIM, 1962)

Kaolin-Mineralie	3 - 15
Chlorite	10 - 40
Illite	10 - 40
Smektit	80 - 150
Vermikulite	100 - 150

Bei einem Vergleich der oben angeführten KAK verschiedener Tonminerale mit den ermittelten Analysedaten von Tab. 4 wird der geringe Anteil an Smektit deutlich. Seine Zunahme in kleineren Fraktionen (< 0,002 mm) wird durch die etwas höheren Werte widerspiegelt. Die Durchschnittsproben entsprechen mit einer KAK von 9,9 bis 12,2 mval/100g Werten, die Illiten oder Kaoliniten zugeordnet werden können.

3.4.4. Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f -Wert)

Die Bestimmung des k_f -Wertes erfolgte in Anlehnung an die ÖNORM B 4422-1 bei fallender Druckhöhe, wobei eine Durchströmung von oben nach unten erfolgte. Diese Versuchsanordnung ist auf weniger durchlässige Lockergesteinsarten, wie etwa Schluffe bzw. Tone, beschränkt. Die Proben wurden im bergfeuchten Zustand in einen Probenzylinder gefüllt und mit jeweils 5 Proctorschlägen verdichtet (in etwa der Proctordichte entsprechend). Nach jeweils 1 Tag wurde die Druckhöhendifferenz abgelesen und der k_f -Wert berechnet.

Tab. 6: Durchlässigkeitsbeiwerte der Tone ermittelt im Laborversuch und aus der Korngrößenverteilung nach BIALAS et al. (1970)

Probe	k_f -Wert (m/s) LABOR	k_f -Wert (m/s) nach BIALAS
TP 1A	$3,07 \cdot 10^{-9}$	$2,73 \cdot 10^{-10}$
TP 1B	$2,36 \cdot 10^{-9}$	$2,09 \cdot 10^{-10}$
TP 2A	$3,28 \cdot 10^{-9}$	$2,03 \cdot 10^{-10}$
TP 2E	$3,05 \cdot 10^{-9}$	$2,58 \cdot 10^{-10}$
TP 3A	$1,90 \cdot 10^{-9}$	$1,17 \cdot 10^{-10}$
TP 3B	$1,43 \cdot 10^{-9}$	$1,30 \cdot 10^{-10}$

Die ermittelten Laborwerte mit Durchlässigkeiten von 10^{-9} m/s zeigen durchwegs die für schluffige Tone zu erwartenden Dimensionen. Die aus der Korngrößenanalyse ermittelten k_f -Werte mit 10^{-10} m/s nach BIALAS (1970) zeigen etwas niedrigere Werte. Gemäss v. SOOS (1980) ist das Material als praktisch undurchlässig zu bezeichnen (PRINZ 1962).

Für eine mögliche Verwendung als Dichtmaterial wären Laborwerte von 10^{-10} NORM-gerecht, jedoch ist hinzuzufügen, dass eine geringere Durchlässigkeit durch zusätzliche Verdichtung des Materials problemlos erreicht werden kann. Die k_f -Werte der Tone liefern also eine optimale Basis für eine etwaige Dichtmaterialnutzung.

3.4.5. Proctorversuch

Der Zweck des Proctorversuches ist es, festzustellen, bei welchem Wassergehalt sich ein Boden unter festgelegten Versuchsbedingungen am besten verdichten lässt und innerhalb welches Wassergehaltsbereiches eine bestimmte Trockendichte erzielt werden kann. Der Versuch dient der Abschätzung der im Feld unter Einwirkung von Verdichtungsgeräten erreichbaren Dichte des Bodens und liefert eine Bezugsgröße für die Beurteilung der örtlichen vorhandenen Dichte (ÖN B 4418).

Die Bestimmung der Standard-Proctordichte erfolgte gemäß ÖNORM B 4418 an sechs Durchschnittsproben, wobei jeweils drei Teilproben mit variierenden Wassergehalten in einem Proctorzylinder durch 25 Schläge verdichtet wurden.

Gemäß ÖNORM B 4418 liegt der Richtwert für eine Eignung eines Feinkornsediments als Dichtmaterial bei einer Proctordichte von $1,7 \text{ g/cm}^3$. Die in Tab. 7 zusammengefassten Untersuchungsergebnisse zeigen mit Werten von $1,8$ bis $1,9 \text{ g/cm}^3$ durchgehend eine sehr gute Verdichtbarkeit, die im Bereich des in der NORM festgelegten Richtwertes liegt.

Charakteristisch ist, dass die optimalen Wassergehalte der untersuchten Proben mit Werten von $11,3$ bis $13,8 \%$ in etwa den natürlichen Wassergehalten entsprechen, d. h., dass im Falle einer zukünftigen Verwendung als Dichtmaterial ohne weitere Wasserzugabe die notwendige Proctordichte erreicht werden kann.

Tab. 7: Ergebnisse der Verdichtungsversuche an 6 untersuchten Proben

Probe	optimaler Wassergehalt in M-%	Standard-Proctordichte in g/cm^3
TP 1A	11,3	1,91
TP 1B	11,7	1,89
TP 2A	12,8	1,80
TP 2E	13,2	1,80
TP 3A	12,9	1,80
TP 3B	13,8	1,79

3.4.6. Fließ- und Ausrollgrenze

Die Zustandsform (Konsistenz) eines Bodens hängt vom Wassergehalt ab. Er geht mit abnehmendem Wassergehalt vom flüssigen in den bildsamen (plastischen) und schließlich über den halbfesten in den festen Zustand über. Die Übergänge von einer Zustandsform in die andere wurden von Atterberg festgelegt und werden als Zustandsgrenzen bezeichnet (ÖNORM B 4411, 1974).

- Fließgrenze: Der Wassergehalt am Übergang von der flüssigen zur plastischen Zustandsform
- Ausrollgrenze: Der Wassergehalt am Übergang von der bildsamen zur halbfesten Zustandsform
- Bildsamkeit: Ist der Unterschied zwischen Fließ- und Ausrollgrenze und beschreibt die Fähigkeit, mit Wasser einen „Teig“ zu bilden, der beim Kneten, Trocknen und Brennen immer einen starken Zusammenhalt behält

Beim Versuch zur Bestimmung der Fließgrenze wurde die mit Wasser gesättigte Probe zu etwa $2/3$ in die Schale des Geräts von CASAGRANDE gefüllt, mit einem Furchenzieher durch die Probenmitte eine Furche gezogen und durch Drehen einer Kurbel diese Schale so oft angehoben

und fallengelassen, bis sich die Furche auf eine Länge von 1 cm geschlossen hatte. Die Fließgrenze ist dann der Wassergehalt einer Probe, bei der sich die Furche nach 25 Schlägen schließt.

Zur Bestimmung der Ausrollgrenze wurden die gemäß des Fließgrenze-Verfahrens vorbereiteten Proben so lange auf einer Glasplatte ausgerollt, bis die Rollen bei 3 mm Dicke zu bröckeln begannen. Der Wassergehalt der Proben in diesem Zustand beschreibt die Ausrollgrenze.

Tab. 8: Konsistenzgrenzen in M-% H₂O

Probe	natürl. Wassergehalt	Fließgrenze	Ausrollgrenze	Bildsamkeit
TP 1A	9,32	27,00	18,97	8,03
TP 1B	9,81	29,15	20,30	8,85
TP 2A	10,55	33,87	20,59	13,28
TP 2E	10,76	34,90	21,02	13,88
TP 3A	10,88	44,71	24,22	20,49
TP 3B	11,55	45,31	24,56	20,75

Sowohl Fließ- als auch Ausrollgrenze wurden an 6 Proben der Kornfraktion < 0,4 mm bestimmt. Aus Tab. 8 wird eine Zunahme der Fließgrenze von TP 1A mit 27 % nach TP 3B mit 45,3 % deutlich, was mit einem steigenden Gehalt an wasserbindenden Mineralen und einem höheren Feinkornanteil in Verbindung gebracht werden kann. Die Ausrollgrenze lässt mit Werten um 20 % bodenmechanisch die untersuchten Materialarten als mittelbindig bezeichnen.

Eine Gegenüberstellung von Plastizitätszahl und Fließgrenze im A-Diagramm von CASAGRANDE (1948) ermöglicht die Feststellung der Plastizität und eine Klassifizierung bindiger Bodenarten. So sind TP 1A, TP 1B, TP 2A und TP 2E als schwach plastisch zu bezeichnen, TP 3A und TP 3B als mittelpastisch einzustufen.

Bei Verwendung der ATTERBERG-Grenzen zur Bewertung der technischen Eignung von Ziegeltonen und -lehm sowie Töpfertonen, nach BAIN (1971) wird deutlich, dass die hier ermittelten Plastizitätszahlen mit Höchstwerten von etwa 21 % unzureichend sind für eine Eignung zur Herstellung von Keramikwaren (LORENZ & GWOSDZ 1997). Verwendungstechnisch käme hier nur ein Einsatz im Bereich der Ziegelindustrie in Frage.

Zum Vergleich sei hier der bekannte Stoober Ton (aus dem Burgenland) angeführt, der mit einer Plastizitätszahl von 44 % schon seit Jahrhunderten als Rohstoff für Töpferwaren verwendet wird.

3.4.7. Anmachwassergehalt

Unter Anmachwasserbedarf versteht man diejenige Wassermenge, die einer trockenen Masse so lange zugesetzt werden muss, bis ein in der Rezeptur genau definierter Massezustand erreicht ist. Die Ermittlung dieses Wertes dient dazu, um bei der bildsamen Herstellung von Prüfkörpern für weitere keramische Untersuchungen (z.B. Trocken- und Brennschwindung) definierte Ausgangsbedingungen zu schaffen (DKG-Richtlinie 1.5, 1981).

Zur Bestimmung des für eine Verformung notwendigen, optimalen Wassergehaltes wurde das Verfahren nach PFEFFERKORN angewendet, bei dem ein vorgefertigter Probezylinder durch eine 1192 g schwere, aus einer Höhe von 18,6 cm fallende Platte gestaucht wird. Durch graphische Gegenüberstellung der Stauchhöhen mit den dazugehörigen Wassergehalten kann eine Ausgleichsgerade gezogen werden, aus der man den Wasserbedarf nach Pfefferkorn bei einer Stauchhöhe von 16 mm abliest.

Im Zuge dieser Untersuchungen wurden an 3 Durchschnittsproben jeweils 6 Stauchversuche durchgeführt, die folgende Anmachwassergehalte ergaben:

TP 1B (23,18 %)
 TP 2A (25,76 %)
 TP 3A (30,49 %)

Diese Werte charakterisieren zur Herstellung von Hochloch- und Dachziegeln geeignete Ziegeltonen.

Im allgemeinen werden Materialien mit Anmachwassergehalten von 13 – 16 % als magere, grobsandige Lehme, jene mit Gehalten von 30 – 43 % als fette Ziegeltonen bezeichnet.

3.4.8. Trocken- und Brennschwindung

Die lineare Trockenschwindung ist die auf die Nasslänge bezogene Verkleinerung des Probekörpers nach dem Trocknen bei ca. 110°, ausgedrückt in Prozent.

Die gemäß des Anmachwasserbedarfs vorbereiteten Proben werden in angefertigte Probeplättchen (12 x 4 x 1 cm) eingeformt. Danach werden von Ecke zu Ecke Diagonalen gezogen und auf diesen je 2 Marken in Abständen von je 10 cm eingeritzt. Dann erfolgt Trocknung bei 110° bis zur Gewichtskonstanz.

Insgesamt wurden aus drei Durchschnittsproben je 4 Probekörper angefertigt, an denen sowohl die Trocken- als auch die Brennschwindung gemessen wurde.

Die auf den jeweiligen Anmachwassergehalt bezogene, lineare Trockenschwindung betrug für

TP 1B (5,30 %), TP 2A (5,69 %) und TP 3A (5,86 %).

Diese Werte charakterisieren, wie schon beim Anmachwassergehalt zur Herstellung von Hochloch- und Deckenziegeln, geeignete Ziegeltonen.

Die Brennschwindung ist der Längenverlust des Probekörpers von seiner Trocknung bis nach dem Brand. Zu Feststellung der Brennschwindung wurden die Probekörper bei langsamer Aufheizgeschwindigkeit und unterschiedlichen Spitzentemperaturen (950°, 1000°, 1050° und 1100°) im Elektroofen gebrannt (Haltezeit der Spitzentemperatur eine halbe Stunde).

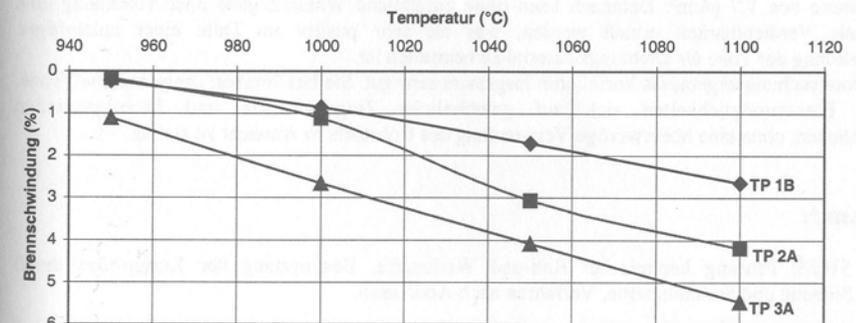


Abb. 6: Brennschwindungen bei verschiedenen Brenntemperaturen

Wie aus Abb. 6 ersichtlich, ist ein Anstieg der Brennschwindung von TP 1B (2,65 %) über TP 2A (4,19 %) nach TP 3A (5,46 %) bei 1100° vorhanden.

Die außerdem durch Eisenverbindungen hervorgerufene rot-rotbraune Brennfarbe zeigt einen Ton, dessen Verwendbarkeit sich auf die Herstellung gewöhnlicher Töpferwaren oder Ziegeleierzeugnisse beschränkt.

4. Schlussfolgerungen

Das grundlegende Ziel der vorliegenden Arbeit war die Feststellung der industriellen Nutzbarkeit der im Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier anfallenden Abraummassen. Da in den nächsten Jahren mit einer Schließung des Tagbaus zu rechnen ist, war seitens der GKB Ges.m.b.H dieses Projekt ein wichtiger zukunftsbestimmender Faktor für ein Weiterbestehen des Unternehmens.

Aus diesem Grund wurde großer Wert auf genaue mineralogische, chemische aber auch technologische Untersuchungen des Materials gelegt, um einzelne Verwendungsmöglichkeiten aufzeigen zu können.

Sowohl die Ergebnisse der granulometrischen als auch mineralogischen Untersuchungen zeigen, dass die vorliegenden Proben hinsichtlich Kornaufbau und Mineralogie keine wesentlichen Unterschiede aufweisen und demnach, bezüglich dieser Eigenschaften, als gleichwertig einzustufen sind. Generell betrachtet stellen alle Proben in ihrer primären Zusammensetzung sehr schlecht sortierte schluffige Tone dar, deren Verwendbarkeit nach WINKLER in den Dach- bzw. Deckenziegelbereich fällt. Daneben erscheint das Material auf Grund seiner Mineralzusammensetzung mit überwiegend illitschen Komponenten und Quarz, daneben Chlorit, Kaolinit, Smektit und Feldspat als für die Ziegelerzeugung grundsätzlich geeignet.

Wasseraufnahme, Blauwert und Kationenaustauschvermögen liefern zu der Mineralogie der Tone entsprechende Werte und bestätigen eine illitische Zusammensetzung mit wenig Smektit.

Sowohl Anmachwassergehalt als auch Trocken- und Brennschwindung charakterisieren zur Herstellung von Hochloch- und Dachziegel geeignete Ziegeltonen.

Mit Plastizitätswerten von 8 – 21 % sind die Tone als schwach bis mittelbindig zu bezeichnen und besitzen für eine Verwendung als keramischen Rohstoff zu niedrige Werte.

Durchlässigkeitsbeiwerte von generell 10^{-9} m/s, im Laborversuch aus Material bei natürlichem Wassergehalt ermittelt, zeigen eine für schluffige Tone übliche Durchlässigkeit. Um einen gemäß ÖNORM 44 22 geforderten Wert von 10^{-10} m/s zu erreichen, wäre eine zusätzliche Verdichtung notwendig.

Die Ergebnisse aus den Proctorversuchen zeigen eine Verdichtbarkeit von 1,8 bis 1,9 g/cm³ bei natürlichen Wassergehalten, und übertreffen somit die gemäß ÖNORM B 4418 geforderten Richtwerte von 1,7 g/cm³. Demnach kann ohne zusätzliche Wasserzugabe oder Trocknung eine optimale Verdichtbarkeit erzielt werden, was als sehr positiv im Falle einer zukünftigen Verwendung der Tone als Dichtungsmaterial zu beurteilen ist.

Die Untersuchungsergebnisse korrelieren insgesamt sehr gut. Sie beschreiben „gewöhnliche“ Tone, deren Einsatzmöglichkeiten sich auf gewöhnliche Ziegelprodukte und Dichtmaterialien beschränken, ohne eine höherwertige Verwendung des Rohstoffs in Aussicht zu stellen.

Literatur:

- DIN 51033: Prüfung keramischer Roh- und Werkstoffe, Bestimmung der Korngrößen durch Siebung und Sedimentation, Verfahren nach Andreasen.
- DKG-Richtlinie 1.5 (1981): Richtlinien und Vorschläge zur Untersuchung tonkeramischer Rohstoffe und Massen – Wasserbedarf nach Pfefferkorn
- ENGELKE, H. (1979): Deutsche Keramische Gesellschaft 56, Rasterelektronenmikroskopie, Nr. 9, GW 13
- GRIM, R. E. (1962): Applied Clay Mineralogy; McGraw – Hill Book Company, Inc.

HAAS, M. (1999): Die frühmiozänen Sedimente der Braunkohletagbaue Oberdorf und Zangtal.-Diss. Formal. und Naturwiss. Fak. Univ. Wien

LORENZ, W. & GWOSDZ, W. (1997): Bewertungskriterien für Industrieminerale, Steine und Erden. -Jb. Geol., H.2, Teil 1, 91 – 101

MEIER, L.P. & KAHR, G. (1999): Determination of the cation exchange capacity (CEC) of clay minerals using the complexes of copper (II) ion with triethylenetetramine and tetraethylepentamine.- Clays and Clay Minerals, 47, 386-388.

ÖNORM B 4411 (1974): Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze

ÖNORM B 4418 (1981): Erd- und Grundbau, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch.

ÖNORM 4422-1: Durchlässigkeitsbeiwert bei fallender Druckhöhe

PRINZ, H. (1962): Abriss der Ingenieurgeologie; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

RVS 11.062, Blatt 12 (1997): Richtlinien und Vorschriften für das Straßenbauwesen, „Enslin-Versuch“

RVS 11.062, Blatt 13(1997): Richtlinien und Vorschriften für das Straßenbauwesen, „Bestimmung des Blauwertes“

SALMANG, H. & SCHOLZE (1954): Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Keramik; Springer Verlag; 5. Auflage