

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	4 (1997), 2	S. 65 – 72	6 Tab., 25 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	-----------------

Röntgendiffraktometrische Untersuchungen als Beitrag zur substantiellen Beurteilung von Tonrohstoffen in Brandenburg*

THOMAS HÖDING

1. Einleitung

Die Tagung „Röntgenphasenanalyse bindiger Sedimente in der Geopraxis“ am 17. Januar 1996 im LGRB war Anlaß, den Einsatz der Röntgendiffraktometrie zur Beurteilung von Tonrohstoffen in Brandenburg darzustellen und die enge Verbindung zwischen dem Einsatz dieser Methode und der Erfüllung hoheitlicher Aufgaben des Landesamtes für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) als geologischer Fachbehörde des Landes Brandenburg bei der Rohstoffsicherung aufzuzeigen.

Der Beitrag geht von einer Aufzählung der Tonrohstoffe aus und stellt dann in Kurzform die wichtigsten Untersuchungsmethoden für diese dar. Aufgrund der der Materialgruppe „Tonrohstoffe“ innewohnenden Schwierigkeiten ist es meist nicht möglich, diese Rohstoffe mit nur einer Untersuchungsmethode hinreichend genau zu charakterisieren. Es ist erforderlich, mehrere Analysemethoden anzuwenden, dies meist in Kombination. Die Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung mittels Röntgendiffraktometrie stellt dabei eine Basismethode dar.

Für Tonrohstoffe des Landes Brandenburg liegen bisher nur wenige mineralogische Untersuchungen vor. Daher wurde am LGRB ein Mindestuntersuchungsprogramm für Tonrohstoffe entwickelt, das die Kenntnislücken schließen soll und es ermöglicht, Applikationsvorschläge für diese Rohstoffe zu erarbeiten, die auf der einen Seite eine bessere Sicherung der Lagerstätten in der Regional- und Landesplanung ermöglichen, zum anderen die wirtschaftlichen Aktivitäten auf diesem Sektor flankieren. Ausgewählte Ergebnisse dieser Untersuchungen werden vorgestellt.

2. Tone und Tonrohstoffe in Brandenburg

Tabelle 1 zeigt in Stichworten, über welche Tonrohstoffe das Land Brandenburg verfügt. Innerhalb dieser Rohstoffarten gibt es weitere Besonderheiten, wie z. B. Tone mit erhöhter Blähneigung oder den elsterkaltzeitlichen Lauenburger Ton, der bei den pleistozänen Bändertonen eine besondere Stellung einnimmt, da er im Vergleich zu anderen Bändertonen im allgemeinen einen höheren Anteil quellfähiger Bestandteile enthält.

Tab. 1 Tone und tonige Rohstoffe in Brandenburg

Rohstoffart	Alter	Genese, Besonderheiten
Auelehm	Quartär (Holozän)	Überschwemmungsablagerungen in den Flußniederungen; insbesondere in den Flußauen von Elbe und Havel
Interglazialton	Quartär (Pleistozän)	Seesedimentationen während der Warmzeiten zwischen den Eisvorstößen, oft Übergänge zu Bändertonen; Auftreten von Diatomeen
Bänderton	Quartär (Pleistozän)	glazilimnische Ablagerungen in Eisstauseen, zahlreiche Lagerstätten häufigster Tonrohstoff in Brandenburg
Flaschenton	Tertiär (Miozän)	tonige Verwitterungsprodukte magmatischer Gesteine der südlichen Massive; mehrere Lagerstätten in der Lausitz
Septarienton	Tertiär (Oligozän)	wurzellose Schollen in den Quartärsedimenten, durch das Inlandeis abgeschert; vor allem in Nordostbrandenburg mehrere Lagerstätten
Rötton	Trias (Buntsandstein)	im Bereich der Struktur Rüdersdorf; heute nicht mehr genutzt
Mit Einschränkungen von rohstoffwirtschaftlicher Bedeutung:		
Geschiebemergel	Quartär (Pleistozän)	Moränenablagerungen des Inlandeises
Geschiebelehm	Quartär (Pleistozän/Holozän)	entkalkte obere Rinde des Geschiebemergels, in der Vergangenheit wichtiger Ziegelrohstoff
Mudden	Quartär (Holozän)	insbesondere Kalkmudden und Tonmudden

Nach einer groben Schätzung verfügt das Land Brandenburg über erkundete Vorräte von ca. 110 Millionen Tonnen Tonrohstoffen. Dazu kommen Vorkommen von mehr als 150 Millionen Tonnen, darunter die mit Einschränkungen genannten Rohstoffe, für die eine wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeit erst geprüft werden muß. Aufgrund spezieller, nicht immer langfristig kalkulierbarer Einsatznotwendigkeiten (z. B. von Vorkommen bindiger Sedimente in geringer Distanz zu einer zu sanierenden Depone oder Altlast), ist die Nutzung einer ganzen Reihe dieser Vorkommen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten wahrscheinlich.

Nicht vorhanden sind im Land Brandenburg Kaoline, Bentonite oder Tonlagerstätten mit hohen Gehalten an Palygorskit, Sepiolith, Pyrophyllit, Talk oder anderen speziellen Tonmineralen.

3. Phasenanalytische Methoden zur Untersuchung von Tonen und Tonrohstoffen

Noch in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts herrschte weitgehende Unklarheit über die Natur der Tonminerale und Tone. Mit Hilfe der chemischen Analyse konnte zwar der Chemismus weitgehend erfaßt werden, doch erklärte dieser nicht die unterschiedlichen Eigenschaften der Tone. Auch mit lichtmikroskopischen Untersuchungen konnte man keine weiteren Erkenntnisse über Tone gewinnen, da ihr Auflösungsvermögen nicht ausreicht, um Tonminerale sichtbar zu machen. So konstatiert KÖSTER (1994) eine markante Abhängigkeit der Erforschung der Tonminerale und Tone vom Stand der Entwicklung naturwissenschaftlicher Arbeitsmethoden.

Entscheidend war dabei die Entwicklung phasenanalytischer Untersuchungsmethoden. Im Gegensatz zur chemischen Analytik sind bei der Phasenanalyse die in einer festen Probe enthaltenen Stoffe direkt Gegenstand der bestimmenden Untersuchung. Insbesondere werden dazu Präzisionsmessungen zur Bestimmung physikalischer Stoffkennwerte ausgeführt, welche für die jeweiligen Phasen spezifische Identifizierungsmerkmale darstellen, ohne dazu den Weg über die Auswertung chemischer Analyseergebnisse gehen zu müssen (SEYFARTH & KEUNE 1980). So stellt die Phasenanalyse ein eigenständiges analytisches Teilgebiet dar.

Die wichtigste phasenanalytische Methode bei der Untersuchung von Tonmineralen und Tonrohstoffen ist derzeit zweifellos die Röntgendiffraktometrie. Die für die röntgendiffraktometrischen Untersuchungen an diesen Substanzen relevanten Daten sind, außer in den internationalen Sammelwerken wie der XPDF-Datensammlung, ausführlich in mehreren Standardwerken dargestellt (z. B. BRINDLEY & BROWN 1980, MOORE & REYNOLDS 1989, JASMUND & LAGALY 1993), darüber hinaus aber auch Gegenstand einer Vielzahl von Einzelpublikationen über spezielle Tonminerale in der internationalen Literatur.

Neben der Röntgendiffraktometrie werden heute üblicherweise eine Reihe von weiteren Methoden zur Charakterisierung von Tonen herangezogen, einschließlich chemi-

scher Methoden sowie hochspezialisierter Untersuchungsverfahren, die z. T. aus einigen zuvor genannten Methoden abgeleitet wurden:

- a) Basismethoden
 - Röntgendiffraktometrie
 - Thermische Analyseverfahren
 - Korngrößenanalyse
 - Infrarotspektroskopie
 - Elektronenmikroskopie
 - Chemische Analyse
- b) Spezialmethoden
 - weitere röntgenographische Methoden
 - Elektronenstrahlmikroanalyse
 - Mikroskopische Analyse
 - Neutronenbeugung
 - Kernresonanzspektroskopie
 - Mößbauer-Spektrometrie
 - Elektronen-Spin-Resonanz
- c) abgeleitete bzw. kombinierte Methoden
 - Hochauflösende Elektronenmikroskopie
 - Hochtemperaturdilatometrie
 - Infrarot-Fourier-Spektroskopie-Ellipsometrie u. a.

So ergibt sich ein umfangreiches Instrumentarium, das je nach Aufgabenstellung gezielt für die Tonmineralanalyse eingesetzt werden kann. KÖSTER (1994) konstatiert jedoch einschränkend, daß die fortgeschrittenen Techniken zur Tonmineralanalyse nur in Sonderfällen in den Institutionen vorhanden sind, die sich mit der Untersuchung von Tonen beschäftigen. Gemeint sind damit die geologischen und mineralogischen Institute der Universitäten. Für die Möglichkeiten der staatlichen geologischen Dienste der Bundesrepublik trifft dies noch in einem weit höheren Maße zu.

Der notwendige hohe analytische Aufwand bei der Charakterisierung von Tonen und Tonmineralen resultiert aus der Tatsache, daß es sich bei diesen Substanzen im allgemeinen nicht um Phasen im streng physikalischen Sinne handelt, sondern daß ihre Gitterordnung mehr oder weniger weit vom Idealkristall entfernt ist bzw. eine nicht-stöchiometrische Zusammensetzung aufweist. Ferner treten in Tonen partiell-kristalline und amorphe Phasen auf. Diese kristallographischen Variationen sind mit einer Methode allein oft nicht zu erfassen, sondern erfordern eine Kombination mehrerer analytischer Methoden. TRIBUTH & LAGALY (1991) bezeichneten deshalb die Tonminerale als die kompliziertesten natürlichen Mineralgemenge überhaupt.

In der Praxis bewährt haben sich besonders die Kombination quantitativer röntgenographischer und thermoanalytischer Untersuchungen unter Berücksichtigung der chemischen Analyse (komplexe Mineralanalyse nach WIEGMANN et al. 1982) bzw. die Überprüfung und Korrektur der mit der Röntgendiffraktometrie gemessenen Mineralgehalte durch Rückrechnung der mittels Röntgenfluoreszenzanalyse analysierten chemischen Zusammensetzung.

Jedoch sind auch diese Methodenkombinationen nicht blind anwendbar, sondern setzen neben einer grundsätzlichen Materialkenntnis die Ermittlung von spezifischen Korrekturfaktoren voraus. Die Richtigkeit einer quantitativen Bestimmung ist ebenfalls eng mit den Fragen der Probenaufbereitung, der Probenpräparation, des Meßregimes sowie der Auswahl geeigneter Vergleichssubstanzen und Standards verbunden.

Ungeachtet aller genannten Schwierigkeiten besitzt die Röntgendiffraktometrie den entscheidenden Vorteil, daß mit dieser einen Methode eine große Anzahl von Merkmalen aufgeklärt werden kann, für deren Untersuchung sonst viele verschiedene physikalische oder chemische Untersuchungen vonnöten wären. Vorschläge für normierte quantitative Untersuchungen an Tonen wurden in den letzten Jahren z. B. von KRANZ (1991) und TRIBUTH (1991) vorgelegt.

Schließlich ist es auch eine Frage des Untersuchungsziels, inwieweit Spezialmethoden zur Klärung tonmineralogischer Fragestellungen herangezogen werden. Für den Umfang der derzeit im LGRB betriebenen Rohstoffbeurteilung ist die Abschätzung der Mineralgehalte nach Ergebnissen der Röntgendiffraktometrie ausreichend, wie nachfolgend näher erläutert wird.

4. Zur Notwendigkeit einer besseren Materialkenntnis

Nach diesen grundsätzlichen Betrachtungen sollen einige Bemerkungen zur konkreten Situation bei der Beurteilung von Tonrohstoffen im Land Brandenburg folgen. Als geologischer Fachbehörde des Landes Brandenburg obliegt dem LGRB in einem bestimmten Maße auch die substantielle Beurteilung dieser Rohstoffe (HÖDING et al. 1995). Ohne diese ist eine nach Gesamtbedeutung abgestufte Einbringung von Lagerstätten in die Abwägungsprozesse der Raumordnung nicht möglich. Nach dem Bewertungsschema von Rohstoffvorkommen für das Regionale Rohstoffsicherungskonzept Brandenburg (MWMT 1995) gehen in die Bewertung von Lagerstätten für die Rohstoffsicherung im Land Brandenburg folgende, in sich noch weiter untergliederte, Kriterien ein

- Parameter des Rohstoffkörpers
- Rohstoffqualität
- Erkundungsgrad
- Verkehrsanbindung.

Die Aussagen zur Rohstoffqualität machen dabei 30 % der Gesamtichtung aus. Selbstverständlich impliziert bereits die oben genannte Zugehörigkeit zu einer der in Brandenburg vorkommenden Rohstoffgruppen Vorstellungen über grundsätzliche Rohstoffeignungen, doch sollten einige Grundparameter immer bekannt sein. Dazu kommt, daß bei Kartierungsarbeiten des LGRB in den letzten Jahren mehrere bisher ungenutzte Tonvorkommen gefunden wurden, bei denen die stratigraphische und genetische Stellung des Rohstoffs noch nicht eindeutig geklärt werden konnte. Hier einige ausgewählte grundsätzliche Rohstoffdaten zu ermitteln, gehört zu den hoheitlichen Aufgaben

des LGRB, zur Kartierung und Inventarisierung der mineralischen Rohstoffe des Landes sowie der Beratung potentieller Investoren zu Fragen der Rohstoffnutzung. Es sei hier noch einmal an die Tatsache erinnert, daß die in der Industrie eingesetzten Tonrohstoffe je nach ihrem Bestand an Tonmineralen sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen können. Die gegenseitige Ersetzbarkeit der Tone in den modernen technologischen Prozessen ist daher begrenzt. Insbesondere vor dem Hintergrund der sehr hohen Investitionen, die zur Ansiedlung grobkeramischer Betriebe notwendig sind, ist die geologische Fachbehörde bemüht, eine Reihe von Daten zur Rohstoffqualität vorzuhalten. Dasselbe gilt für die möglichst unkomplizierte Bereitstellung von geeigneten Tonrohstoffen für Aufgaben der Umwelttechnologie, des zweiten großen Einsatzbereiches von Tonrohstoffen in Brandenburg.

Bei der Beurteilung qualitativer Parameter von Tonrohstoffen in diesem Zusammenhang steht die mineralogische Zusammensetzung an erster Stelle. Daß die Notwendigkeit einer substantiellen Rohstoffbeurteilung, insbesondere dabei die mineralogische Untersuchung, keine neue Erfindung ist, beweisen die folgenden Zitate:

„Die Mineralbestimmung toniger Rohstoffe ist in Zukunft mehr zu beachten. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den Bestimmungen der größeren Bestandteile (Siebrückstände) auf Begleitminerale und der Bestimmung der Tonminerale, denen wegen ihres Einflusses auf die Eigenschaften der Rohstoffe besondere Bedeutung zukommt. Es ist anzustreben, an charakteristischen Einzelproben – möglichst an mehreren Kornfraktionen – neben der DTA auch andere geeignete Untersuchungsmethoden (Röntgen- und Dilatometeranalyse) von Fall zu Fall anzuwenden“ (STAMMBERGER 1962).

„Zu den Aufgaben der staatlichen geologischen Dienste in der Bundesrepublik gehört es, „die rohstoffgewinnende Industrie durch die Erarbeitung wichtiger Grundlagen zu flankieren“. Die Aufgabe „heimische Rohstoffe zu inventarisieren, rechtzeitig planerisch zu berücksichtigen und Informationen zur Lösung von Zielkonflikten bei Flächennutzungen bereitzustellen“ erfordert „für das breite Feld der oberflächennahen Massenrohstoffe eine Ergänzung der herkömmlichen geowissenschaftlichen und lagerstättenkundlichen Landesaufnahme durch die Ermittlung der Materialeigenschaften und der Verwendbarkeit. Um Informationen über die Geometrie der Vorkommen, über Quantität und Qualität zu erhalten sind umfangreiche Arbeiten notwendig, insbesondere Bohrungen und Laboruntersuchungen“ (SCHMID 1994).

Bei der Aufstellung einer stofflich-genetischen Klassifizierung von Spezialtonen stellten VALTIN & ULLRICH (1991) die folgenden Merkmalskomplexe in den Vordergrund:

„Stoffliche Kennzeichnung der Tone als übergeordnetes Kriterium, insbesondere Haupttonmineralbestand“ und „Genetische Stellung des Tones zur weiteren Untergliederung der Stoffbestandsgruppen“. – Aus den stofflichen Parametern sind nach VALTIN & ULLRICH (1991) die grundsätzlichen technologischen Eigenschaftskomplexe

ableitbar, deren Untersuchung nicht primär Aufgabe der geologischen Dienste sein kann.

Leider sind diese Hinweise in der Vergangenheit nicht immer ausreichend beachtet worden. So wurden für viele Erkundungsberichte früherer Jahre zu Tonlagerstätten in Brandenburg kaum mineralogische Angaben erhoben. Manche Produktionsschwierigkeit keramischer Betriebe dürfte auf diese Weise ihren Anfang genommen haben.

5. Rohstoffanalytische Untersuchungen an Tonen im LGR Brandenburg

Das LGRB hat bei seiner Gründung im Jahre 1992 u. a. alle verfügbaren Erkundungsberichte zu Rohstofflagerstätten sowie alle analog und digital vorliegenden Daten zur Rohstoffanalyse von Vorgängereinrichtungen oder ehemals zentralen Institutionen übernommen.

Die Angaben zur Mineralogie von Tonrohstoffen waren dabei jedoch äußerst spärlich. Die vorhandenen Materialien wurden zusammengefaßt und Schritt für Schritt ergänzt. Selbstverständlich werden bei der Arbeit mit diesen Angaben die eigentumsrechtlichen Bestimmungen derar-

tig sensibler Daten strikt beachtet. Sie dienen in erster Linie zur Bewertung und Sicherung von Lagerstätten in der Regional- und Landesplanung, zur Ableitung verallgemeinernder Schlußfolgerungen für die Kartierung und für die Ausweisung neuer Lagerstätten und Vorkommen, sowie als Hilfestellung für die Durchsetzung optimaler Nutzungsstrategien für die betreffenden Rohstoffe.

Seit 1994 besteht im LGRB die Möglichkeit eigener röntgendiffraktometrischer Untersuchungen durch das Vorhandensein eines halbautomatischen Horizontalzählrohr-goniometers HZG 4, das 1996 durch ein vollautomatisches Universaldiffraktometer (XRD-3000) komplettiert wurde. Erste Ergebnisse zur Unterstützung von Sicherungs- und Nutzungsstrategien quartärer Tonrohstoffe Brandenburgs wurden 1995 durch HÖDING et al. vorgestellt.

Unter Berücksichtigung von Beiträgen aus der Literatur zur Beurteilung von Tonrohstoffen, den Erfahrungen anderer Geologischer Landesämter der Bundesrepublik und den Empfehlungen der Arbeitsgruppe Fachinformationssystem Rohstoffe der geologischen Dienste der Bundesrepublik wurde, in Übereinstimmung mit den technischen

Tab. 2 Untersuchungsmethoden für Tonrohstoffe im LGR Brandenburg

Einsatzgebiet Grobkeramik							
Korngrößenverteilung	Röntgendiffraktometrie	Röntgenfluoreszenzanalyse	Wassergehalt (105 °C)	Glühverlust	Karbonatgehalt	Brennverhalten (900–1300 °C)	
DIN 18123			VDLUF/A 2.1.1	DIN 19684	Scheibler		
insbesondere Fraktionen < 2, 2–20, > 20, < 63 µm	mineralogische Analyse	chemische Analyse	Wassergehalt in %	Glühverlust bei 550 °C bzw. 1 000 °C in %	Karbonatgehalt in %	Brennfarben, Scherbenbeschaffenheit	
Einsatzgebiet Deponietone							
Korngrößenverteilung	Röntgendiffraktometrie	Röntgenfluoreszenzanalyse	Wassergehalt (105 °C)	Karbonatgehalt	pH-Wert	KAK _{pot}	k _f -Wert
DIN 18123			VDLUF/A 2.1.1	Scheibler	DIN 19684, Teil 1	Mehlich	DIN 18130
insbesondere Fraktionen < 2, 2–20, > 20, < 63 µm	mineralogische Analyse	chemische Analyse	Wassergehalt in %	Karbonatgehalt in %	pH-Meßwert	KAK _{pot} (Summe EK) in mval/100 g Substanz	k _f Wert in m/s
Für weitere Einsatzgebiete werden mindestens diese Untersuchungsmethoden angewandt. Darüberhinausgehende, zum Teil auch gesetzlich vorgeschriebene Untersuchungen sind im allgemeinen nicht Aufgabe des LGRB. Fordert das LGRB im Rahmen seiner hoheitlichen Aufgaben weitergehende Untersuchungen bzw. werden dem LGRB von Unternehmen Ergebnisse von derartigen weiteren Spezialuntersuchungen an Tonrohstoffen mitgeteilt, so werden diese Angaben gespeichert. Für die angestrebte digitale Erfassung derartiger Daten gelten die von der AG FIS Rohstoffe und von der AG FIS Geochemie aufgestellten Regelungen.							

Möglichkeiten am LGRB, eine Empfehlung zur Anwendung von Untersuchungsmethoden bei der Erstbeurteilung von Tonrohstoffen erarbeitet (Tab. 2).

Die Methodik röntgendiffraktometrischer Untersuchungen von Tonrohstoffen am LGRB erlaubt nach LUCKERT (1995) die quantitative Bestimmung des Mineralbestandes mit einem relativen Meßfehler von ≤ 5 Masse-%:

Das bergfeucht ins Labor gelieferte Material wird zunächst bei 80 °C getrocknet und dann repräsentativ beprobt. Für die röntgenographischen Untersuchungen werden ca. 5 g Probenmaterial per Mörser auf eine Korngröße $< 32 \mu\text{m}$ zerkleinert, abgesiebt und homogenisiert. Zur Herstellung der Pulverpräparate kommen Langschlitzpräparateträger aus Glas zur Anwendung.

Der qualitative Mineralbestand und eine erste quantitative Abschätzung der Komponenten erfolgen nach einer Übersichtsaufnahme. Die genaue quantitative Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung erfolgt nach dem internal standard-Verfahren und mittels Peakhöhenanalyse. Dabei werden 1 g Probensubstanz mit 50 mg Ni-Pulver (Standard-Substanz) und 4 mg Korkmehl $< 200 \mu\text{m}$ zur texturarmen Präparation intensiv homogenisiert. Für jede Probe werden drei Messungen an jeweils vorher neu angefertigten Präparaten durchgeführt. Anhand vorliegender Eichkurven erfolgt dann die quantitative Bestimmung aller nachweisbaren kristallinen Phasen. Die Differenz der Bestandteile zu 100 % wird in Abhängigkeit von der grundsätzlichen Materialkenntnis den amorphen Anteilen zugeordnet.

Für die Bestimmung der Tonmineralverhältnisse werden Texturpräparate hergestellt und im lufttrockenen Zustand, nach der Behandlung mit Ethylenglykol sowie nach Temperung bei 400 °C röntgendiffraktometrisch untersucht.

Dieses Vorgehen bei der röntgendiffraktometrischen Analyse entspricht den vielfach in der Literatur beschriebenen Arbeitsweisen und ist für die Erfordernisse einer substan-

tiellen Rohstoffbeurteilung im Rahmen der hoheitlichen Aufgaben der geologischen Fachbehörde des Landes ausreichend.

Im folgenden Abschnitt sind Ergebnisse röntgenographischer Untersuchungen an verschiedenen Tonrohstoffen Brandenburgs dargestellt. Bei einigen Darstellungen werden Ergebnisse weiterer Untersuchungen zur Charakterisierung dieser Rohstoffe erwähnt, um die Aussagen zur substantiellen Beurteilung zu ergänzen. Neben Arbeitsergebnissen des LGRB (HÖDING 1992, LUCKERT 1995) wurden Literaturdaten einbezogen (GREIFELDT 1967, KÜCHENMEISTER 1991, SCHULZ 1991, VALTIN & ULLRICH 1991).

5.1. Geschiebemergel und Geschiebelehm

Geschiebemergel werden in Brandenburg bereits jetzt als geologische Barriere für Deponien genutzt, ebenso als Abdeckungsstoffe bei Deponiesanierungen. In der Grobkeramik werden sie teilweise als die hangenden oder liegenden Schichten der eigentlichen Ziegelrohstoffe im gleichen Abbauschnitt mitgewonnen und weiterverarbeitet. Anwendungen wie bei der Lagerstätte Krahnepuhl, wo ein besonders plastischer Geschiebemergel – teilweise unter geringem Fremdtonzusatz – verziegelt wurde, wird es sicher nicht mehr geben. Leider wurde bei der Rohstofferkundung dieser Lagerstätte keine quantitative mineralogische Untersuchung des Geschiebemergels durchgeführt, so daß in Tab. 3 keine präziseren Angaben aufgenommen werden konnten (lediglich der Karbonatgehalt wurde mit ca. 11 % angegeben).

Geschiebelehm war im 19. Jahrhundert ein weit verbreiteter Ziegelrohstoff. Heute spielt er für die Grobkeramik ebenfalls keine primäre Rolle mehr. Als vorteilhaft macht sich seine Karbonatarmut bemerkbar, die eigenschaftsverbessernd auf andere Ziegeltonen wirken kann; nachteilig ist dafür der hohe Quarzanteil. Auch Geschiebelehme können bei der Deponiesanierung Einsatz finden; vorzugsweise bei der Abdeckung und Rekultivierung.

Tab. 3 Ergebnisse quantitativer röntgendiffraktometrischer Untersuchungen an Geschiebemergeln und Geschiebelehmen in Masse-%

	Geschiebemergel Etzin	Geschiebemergel Kranepuhl	Geschiebelehm WerderscherBerg	Geschiebelehm Dallmin
Quarz	35	++	72	63
Feldspat	13	+	9	10
Calcit	14	+	-	-
Dolomit	4	(+)	-	-
Kaolinit	3	+	1	3
Chlorit	3	-	1	2
Glimmer/Illit	19	++	7	10
ml-Mineral	9	+ ¹⁾	10	12
Anteil quellfähiger Schichten im ml-Mineral	ca. 30 %	?	ca. 35–40 %	ca. 35 %

¹⁾ Als Montmorillonit beschrieben. Es dürfte sich hier aber ebenfalls um ein unregelmäßiges Montmorillonit-Muskovit-mixed layer-Mineral handeln.

Tab. 4 Ergebnisse quantitativer röntgendiffraktometrischer Untersuchungen an Bändertonen und Interglazialtonen

	Bänderton Glienick	Bänderton Rosengarten	Interglazialton Nennhausen
Quarz	32	25	34
Feldspat	7	7	5
Calcit	12	14	3
Dolomit	3	3	-
Gips	-	-	2
Pyrit	1	-	-
Hämatit	-	1	-
Anatas	-	1	-
Kaolinit	7	14	3
Chlorit	4	3	6
Glimmer/Illit	21	17	38
ml-Mineral	13	15	9
Anteil quellfähiger Schichten im ml-Mineral	ca. 40–50 %	ca. 50–60 %	ca. 50 %

5.2. Bänderton, Interglazialton

Bändertone sind die am häufigsten genutzten grobkeramischen Rohstoffe in Brandenburg. Da sich der meist hohe Karbonatgehalt dieser Rohstoffe negativ auf die Scherbenfestigkeit auswirken kann, werden die saale- und weichselkaltzeitlich gebildeten Tone oftmals mit karbonatarmen Fremdtönen versetzt. Der Lauenburger Ton, ein elsterkaltzeitliches glazilimnisches Ablagerungsprodukt, zeichnet sich durch im Durchschnitt höhere Gehalte an quellfähigen Bestandteilen aus. Rohstoffwirtschaftliche Bedeutung hat dieser Ton in einzelnen Lagerstätten der Prignitz und bei Frankfurt/Oder (Ton Rosengarten, Tab. 4). Bei selektivem Abbau hochwertiger Partien ist die Verarbeitung zu kleinformatischen Wandbausteinen oder anderen höher veredelten keramischen Erzeugnissen möglich.

Die von der TA Abfall zur Deponiedichtung geforderten Werte, insbesondere k_f -Wert und Karbonatgehalt werden durch Bändertone kaum erreicht, wirtschaftlich günstig wäre aber die Nutzung solcher Tone in der Nähe von Deponiebauten und ihre Mischung mit „höherwertigeren“ Tonen entfernterer Lagerstätten.

5.3. Flaschenton

Flaschentone weisen in Abhängigkeit von der Genese stärker differenzierte mineralogische Zusammensetzungen auf. Neben Unterschieden im Quarzgehalt treten wechselnde Anteile an Dreischichttonmineralen auf (SCHÜPPEL & KLEEBERG 1991), so daß die in Tab. 5 aufgeführten Gehalte nicht für die gesamte Rohstoffgruppe repräsentativ sind. Dies beeinflusst vor allem das Trocknungsverhalten in der grobkeramischen Fertigungstechnologie.

Die Flaschentone gehören zu den hochwertigeren Tonen in Brandenburg. Sie kommen im Südostteil des Landes, in der Lausitz, hauptsächlich als Braunkohlenbegleittone vor. Leider wurden in der Vergangenheit beim Braunkohlenabbau einige Lagerstätten überfahren, andere jedoch auch im Vorfeld des Braunkohlenbergbaus im Sonderbetrieb abgebaut und die Rohstoffe gehaldet.

Aus Flaschentonen können höherveredelte grobkeramische Produkte gefertigt werden wie Klinker, Kanalklinker, Klinkerplatten und Sonderformate sowie Steinzeug. Nach entsprechenden Anwendungstests sind auch eine Reihe von Applikationen in der Umwelttechnologie denkbar, so die Verarbeitung zu Schadstoffadsorbieren, Schlitzwandmaterial und der Einsatz in der Braunkohlensanierung.

5.4. Septarienton

Wie die Flaschentone, so gehören auch die Septarientone zu den hochwertigen Tonen in Brandenburg. Lagerstätten existieren vor allem im Nordosten des Landes als wurzellose Tertiärschollen, die vom pleistozänen Inlandeis abgeholt und mehr oder weniger weit transportiert wurden.

Namensgebend für die petrographische Bezeichnung Septarienton (stratigraphisch: Rupelton) sind bis brotlaibgroße Karbonatkonkretionen. Diese sollten während der Aufbereitung im Kollergang entfernt werden, um Produkte des keramischen Produktionsprozesses nicht negativ zu beeinflussen (unerwünschte Schmelzerscheinungen beim Brennen bzw. Abplatzen). Aufgrund des hohen Gehalts an ml-Mineralen sind Septarientone sehr trockenungsempfindlich und sollten einer schonenden Kammer-trocknung sowie beim Brand nur einem geringen Tem-

Tab. 5 Ergebnisse quantitativer röntgendiffraktometrischer Untersuchungen am Flaschenton von Klettwitz

	Klettwitz
Quarz	21
Kaolinit	50
DSTM	26
sonstige	3

DSTM = Dreischichttonminerale (Glimmer/Illit, Montmorillonit, ml-Mineral)

Tab. 6 Ergebnisse quantitativer röntgendiffraktometrischer Untersuchungen an Septarientonen (in Masse-%)

	Bad Freienwalde	Joachimsthal	Herzfelde ¹⁾
Quarz	20	25	21
Feldspat	5	5	10
Calcit	12	4	3
Dolomit	2	3	2
Siderit	-	-	1
Gips	-	3	-
Pyrit	-	-	1
Kaolinit	2	2	8
Chlorit	4	3	5
Glimmer/Illit	20	15	18
ml-Mineral	35	40	31
Anteil quellfähiger Schichten im ml-Mineral	ca. 40–50 %	ca. 40–50 %	ca. 40–50 %

¹⁾ Herzfelde, Kreis Uckermark.

peraturgefälle unterzogen werden (Tunnelofen). Gipsgehalte von einigen Prozent, wie beim Ton Joachimsthal nachgewiesen (aber auch das Bad Freienwalder Material kann Gipskristalle von mehreren cm Länge enthalten), können zu Ausblühererscheinungen am Produkt führen. Septarientone eignen sich für die Produktion einer Reihe grobkeramischer Erzeugnisse, so wurden in Bad Freienwalde jahrzehntelang Dränrohre produziert.

Für umweltrelevante Applikationen sind Septarientone ebenfalls geeignet, zum einen wegen der relativ hohen Kationenaustauschkapazität (bis ca. 50 mval/100 g), die für Adsorptionsprozesse genutzt werden kann, andererseits durch den geringen Durchlässigkeitsbeiwert. Aufgrund der Teilchenmorphologie (leistenförmige Morphologie der ml-Mineralen, plättchenförmige Morphologie der anderen Tonminerale Glimmer/Illit, Kaolinit, Chlorit) und des hohen Feinstkornanteils besitzt das Material eine gute Kompaktierungsfähigkeit, so daß k_f -Werte von $< 10^{-10}$ m/s erreichbar sind. Der Karbonatgehalt liegt ebenfalls unter dem von der TA Abfall für Deponiebasisabdichtungen genannten Grenzwert.

Zusammenfassung

Die vorangegangenen Ausführungen haben die Rolle rohstoffanalytischer, insbesondere röntgendiffraktometrischer Untersuchungen an Tonrohstoffen deutlich gemacht. Im Land Brandenburg gibt es nach derzeitigem Stand ca. 50 erkundete Tonlagerstätten, noch einmal so viele Höffigkeitsgebiete, ferner eine Reihe kleinerer Entnahmestellen bindiger Rohstoffe sowie bindige Materialien, die als Nebenprodukt, beispielsweise bei der Naßaufbereitung von Kiessanden, anfallen. Für den Einsatz von Tonrohstoffen in der Grobkeramik und der Umwelttechnologie wird für die nächsten Jahre ein ständig steigender Rohstoffbedarf prognostiziert (SCHOMBURG et al. 1994).

Aus diesem Potential resultiert die Notwendigkeit, das begonnene Analysenprogramm fortzuführen. Ziel für die geologische Fachbehörde ist es, bereits im Vorfeld der Regional- und Landesplanung sowie im Vorfeld wirt-

schaftlicher Aktivitäten grundsätzliche Kenntnisse zu einzelnen Rohstoffen verfügbar zu haben. Dadurch sind Daten und Argumente vorhanden, um hochwertige Lagerstätten planerisch schützen zu können bzw. die Industrie im Sinne einer optimalen Rohstoffnutzung zu beraten und zu begleiten.

Summary

There are about 50 clay deposits in Brandenburg and nearly the same number of expected clay deposits. The knowledge of the mineralogical composition of these raw materials is very slight. So the Geological Survey of Brandenburg has started a program to determine some important mineralogical and technological properties of clays in Brandenburg, for instance the determination of mineralogical composition by means of X-ray diffraction.

For the next years an increasing need of clays for applications in ceramics and environmental technologies is predicted (SCHOMBURG et al. 1994). - By determination of the most important material properties the Geological Survey is able to support the clay industries and to protect valuable clay deposits in the process of regional planning.

Literatur

- BRINDLEY, G. W. & B. BROWN (Eds.) (1980): Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. - Min. Soc. London
- Gesamtfassung der zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall). - Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung von besonders überwachtungsbedürftigen Abfällen vom 12. März 1991, GMBI. (1991), H. 8
- GREIFELD, I. (1967): Ergebnisbericht mit Vorratsermittlung Objekt Ziegelton Kranepuhl 1967. - Geol. Erk. Nord, BT Berlin, (unveröff.)
- HÖDING, T. (1992): Clays of the Berlin-Brandenburg region as barrier materials for waste deposits. - 12th Conf. on Clay Min. and Petrol., p. 43, Bratislava

- HÖDING, T., SCHIRRMEISTER, L. & M. PAWLITZKY (1995): Stand der Untersuchungen quartärer Tone Brandenburgs als Rohstoffe für die Grobkeramik und den Umweltschutz. - Brandenburgische Geowiss. Beitr. **2**, S. 105–112, Kleinmachnow
- HOFMANN, U. (1942): Neues aus der Chemie des Tons. - Die Chemie **55**, Nr. 37, 38, S. 283–294
- JASMUND, K. & G. LAGALY (Hrsg.) (1993): Tonminerale und Tone. Struktur, Eigenschaften, Anwendungen und Einsatz in Industrie und Umwelt. - Darmstadt, 490 S.
- KEILHACK, K. (1892): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten. Blatt Glienecke. - Berlin, Parey
- KÖSTER, H. M. (1994): Gedanken zur Erforschung der Tonminerale und Tone. - Berichte der DTTG 1994, Hrsg. E. E. Kohler, Regensburg, 1–9
- KRANZ, G., RUCHHOLZ, M. & E. MARX (1990): Neue Referenzmaterialien - Kaoline und Tone. - Silikatechnik **41**, 330–333, Berlin
- KRANZ, G. (1991): Methodik der röntgenographischen Phasenanalyse keramischer Roh- und Werkstoffe. - Handbuch der Keramik, Freiburg i. Br., Folge 270, Folge 271
- Küchenmeister Anlagenbau GmbH (1991): Werksinformation zur Mineralogie und Rohstoffeignung des Tons Herzfelde (Uckermark). - Werksprospekt
- LUCKERT, J. (1995): Quantitative Röntgenphasen- und Korngrößenanalyse an Tonproben Brandenburgs. - Bericht LGRB Kleinmachnow, (unveröff.)
- MOORE, D. M. & R. C. REYNOLDS (1989): X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. - New York.
- MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, MITTELSTAND UND TECHNOLOGIE (1995): Bewertungsschema Rohstoffvorkommen für das Projekt Regionales Rohstoffsicherungskonzept Brandenburg. - Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg, Stand Oktober 1995 (unveröff.)
- SCHMID, H. (1994) in: DOBNER, A., ECKBAUER, M., POSCHLOD, K., PÜRNER, TH., ULBIG, A. & H. WEINIG: Erkundung mineralischer Rohstoffe in Bayern. - Bayer. Geol. Landesamt, 87 S., München
- SCHOMBURG, J., CHUDZICKI, P., LÖFFLER, M. ZWAHR, H. & R. FÖRSTER (1994): Ressourcenpotentialbewertung von Steinen und Erdenlagerstätten des Landes Brandenburg unter Berücksichtigung der Karte oberflächennaher Rohstoffe (M 1 : 300 000). - Studie DURTEC GmbH, 91 S., Neubrandenburg, (unveröff.)
- SCHULZ, I. (1991): Ergebnisbericht Ziegelton Rosengarten. - Bericht GFE Halle, Filiale Berlin, (unveröff.)
- SCHÜPPEL, D. & K. KLEEBERG (1991): Lithological composition of „Flaschenton“ clay deposits in the Lausitz region/Eastern Germany and facilities of their industrial use. - Proc. 7th Euroclay Conf., 957–960, Greifswald
- SEYFARTH, H.-H. & KEUNE, H. (1980): Phasenanalyse fester Rohstoffe und Industrieprodukte. - Leipzig, 174 S.
- STAMMBERGER, F. (Hrsg.) (1962): Instruktion zur Anwendung der „Klassifikation der Lagerstättenvorräte fester mineralischer Rohstoffe“ auf Lagerstätten toniger Gesteine in der DDR. - Zeitschr. f. angew. Geol. **8**, 598–603, Berlin
- TRIBUTH, H. & G. LAGALY (1991) (Hrsg.): Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen. - Berichte der DTTG 1991, Gießen 1991, 162 S.
- TRIBUTH, H. (1991): Qualitative und „quantitative“ Bestimmung der Tonminerale in Bodentonen. - In: TRIBUTH, H. & G. LAGALY 1991, S. 37–85
- VALTIN, H.-J. & B. ULLRICH (1991): Vorschlag einer stofflichen Klassifizierung von Spezialtonen. - Keram. Z. **43**, 940–949
- WIEGMANN, J., HORTE, C.-H. & G. KRANZ (1982): Determination of the complete mineral composition of clays. - Proc. 7th. Internat. Clay Conf. 1981, Elsevier Amsterdam-Oxford-New York

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 107

Anschrift des Autors:

Dr. Thomas Höding

Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg

Stahnsdorfer Damm 77

14532 Kleinmachnow

* Vorgetragen am 17. Januar 1996 anlässlich der 1. Fachtagung des LGRB über „Röntgenphasenanalyse bindiger Sedimente – eine Standortbestimmung“.