



## Rohstoffsicherungskonzept Hessen

# Fachbericht Tonrohstoffe



Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
[www.hlug.de](http://www.hlug.de)



Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz  
[www.hmulv.hessen.de](http://www.hmulv.hessen.de)



Umweltallianz Hessen - Bündnis für nachhaltige Standortpolitik –  
[www.umweltallianz.de](http://www.umweltallianz.de)

## **Vorwort**

Der vorliegende Fachbericht Tonrohstoffe wurde von der Projektgruppe Rohstoffsicherungskonzept Hessen unter Federführung des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) verfasst. Er ist integraler Bestandteil des im Rahmen der Hessischen Umweltallianz von Verwaltung und Industrie gemeinsam erarbeiteten Rohstoffsicherungskonzeptes, das insgesamt aus folgenden Bausteinen besteht:

1. Rohstoffsicherung in Hessen (allgemeiner Teil)
2. Fachbericht Gipsrohstoffe
3. Fachbericht Kalk- und Zementrohstoffe
4. Fachbericht Natur- und Naturwerksteine
5. Fachbericht Sand und Kies
- 6. Fachbericht Tonrohstoffe**
7. Karte Rohstoffsicherung
8. Faltblatt „Wege zur Versorgung mit mineralischen Rohstoffen“

Auf der Website des HLUG können die Bausteine 1 – 6 eingesehen und von dort heruntergeladen werden:

**([www.hlug.de/medien/geologie/rohstoffe/rohstoffsicherungskonzept/index.html](http://www.hlug.de/medien/geologie/rohstoffe/rohstoffsicherungskonzept/index.html))**

Zu den Bausteinen 1-6 wurden zudem rohstoffgeologische Themenkarten im Übersichtsmaßstab 1:300.000 erstellt, die beim HLUG erhältlich sind. Die Karte Rohstoffsicherung wird digital blattschnittfrei in den Maßstäben 1:25.000 und 1:100.000 beim HLUG geführt und laufend fortgeschrieben. Das Faltblatt „Wege zur Versorgung mit mineralischen Rohstoffen“ liegt in gedruckter Form vor und kann beim HLUG angefordert werden.

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung und Übersicht</b>	<b>6</b>
<b>2. Lage</b>	<b>6</b>
<b>3. Untersuchungsstand</b>	<b>9</b>
<b>4. Geologie und Mineralogie</b>	<b>10</b>
<b>5. Eigenschaften und Qualitätskriterien</b>	<b>15</b>
<b>6. Abbausituation und Verwendung</b>	<b>21</b>
<b>7. Vorräte und Rohstoffsicherung</b>	<b>24</b>
<b>8. Transportlage</b>	<b>25</b>
<b>9. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme</b>	<b>26</b>
<b>10. Folgenutzung</b>	<b>26</b>
<b>11. Lagerstättenregionen hessischer Tonrohstoffe</b>	<b>29</b>
<b>11.1. Westerwald</b>	<b>29</b>
11.1.1. Lage	
11.1.2. Untersuchungsstand	
11.1.3. Geologie und Mineralogie	
11.1.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	
11.1.5. Abbausituation und Verwendung	
11.1.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	
11.1.7. Transportlage	
11.1.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	
<b>11.2. Taunus und Limburger Becken</b>	<b>38</b>
11.2.1. Lage	
11.2.2. Untersuchungsstand	
11.2.3. Geologie und Mineralogie	
11.2.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	
11.2.5. Abbausituation und Verwendung	
11.2.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	
11.2.7. Transportlage	
11.2.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	
<b>11.3. Gießener Raum</b>	<b>42</b>

11.3.1. Lage	
11.3.2. Untersuchungsstand	
11.3.3. Geologie und Mineralogie	
11.3.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	
11.3.5. Abbausituation und Verwendung	
11.3.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	
11.3.7. Transportlage	
11.3.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	
<b>11.4. Niederhessische Tertiärsenke und Großalmerode (Meißner-Region)</b>	<b>47</b>
11.4.1. Lage	
11.4.2. Untersuchungsstand	
11.4.3. Geologie und Mineralogie	
11.4.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	
11.4.5. Abbausituation und Verwendung	
11.4.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	
11.4.7. Transportlage	
11.4.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	
<b>11.5. Wetterauer Perm-Scholle</b>	<b>53</b>
11.5.1. Lage	
11.5.2. Untersuchungsstand	
11.5.3. Geologie und Mineralogie	
11.5.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien	
11.5.5. Abbausituation und Verwendung	
11.5.6. Vorräte und Rohstoffsicherung	
11.5.7. Transportlage	
11.5.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme	
<b>11.6. Sonstige Ton-Lagerstätten Hessens</b>	<b>57</b>
11.6.1. Ausstrichgebiete des Zechsteins, Buntsandsteins und Keupers in Nord-, Mittel- und Osthessen	
11.6.2. Östlicher Odenwald	
11.6.3. Nördliches Rheinisches Schiefergebirge	
11.6.4. Nördlicher Oberrheingraben, Untermainebene und Hanauer Becken	

### **11.6.5. Raum Wächtersbach**

### **11.6.6. Bad Homburg**

<b>12. Substitution und Recycling von Tonrohstoffen</b>	<b>70</b>
<b>13. Literatur</b>	<b>71</b>
<b>14. Nützliche Websites</b>	<b>75</b>

## 1. Einleitung und Übersicht

29 Tonnen Ton verbraucht jeder Mensch in seinem Leben. Diese große Bedeutung der Tonrohstoffe liegt unter anderem an ihren vielfältigen Einsatzmöglichkeiten: Schwerpunktmäßig werden sie von der keramischen Industrie und der Feuerfest-Industrie verarbeitet, daneben finden sie aber auch Einsatz in der Bauindustrie (Lehmbau), in verschiedenen Bereichen der Technik (Isolierungen, Katalysatoren, Filter u.a.), in der Umwelttechnik (Deponiebau), im Gartenbau (Bodensubstrat), in der Medizintechnik (Zahnimplantate, Knochenersatz), in der chemischen, pharmazeutischen und Lebensmittelindustrie (Füllstoff u.a.).

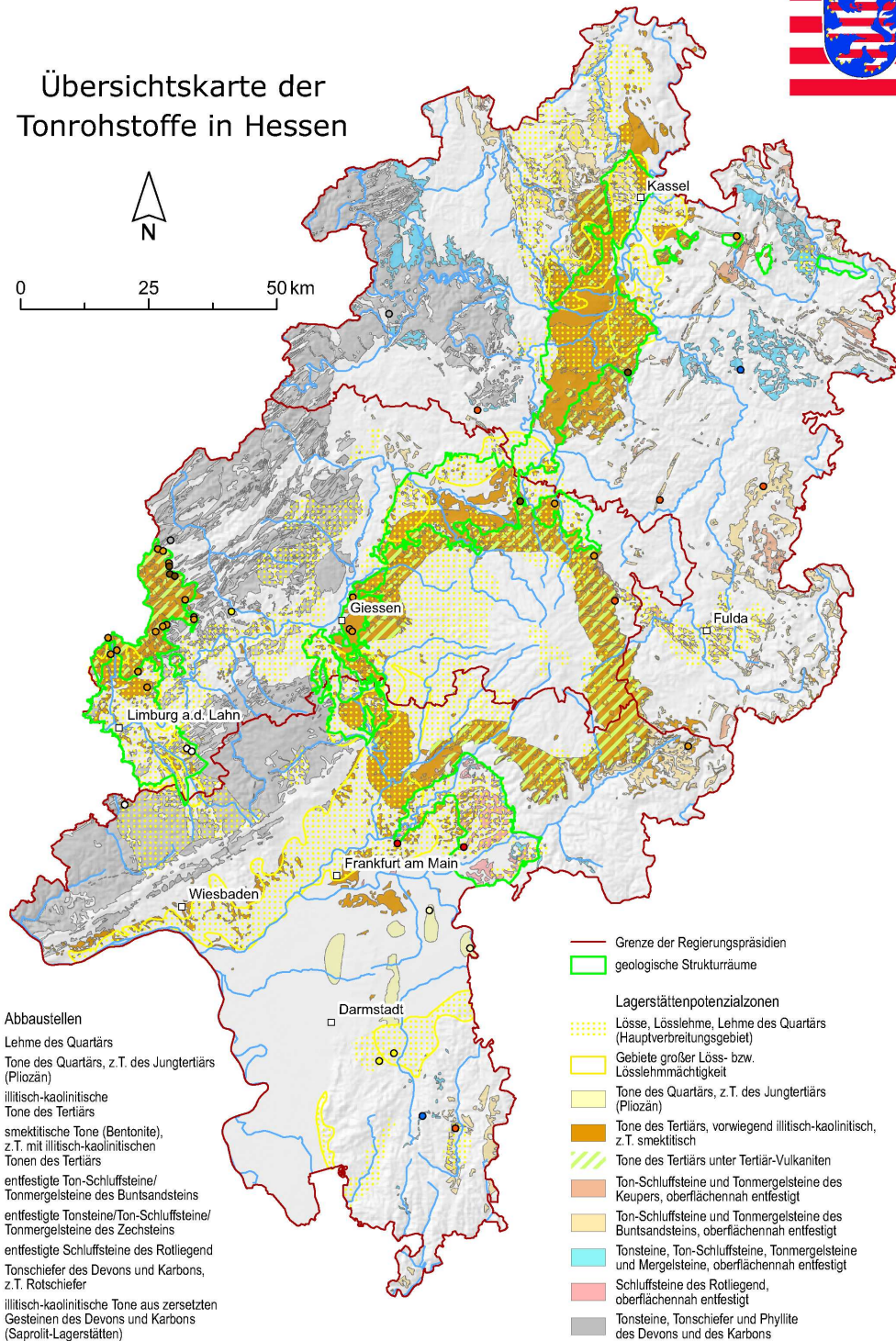
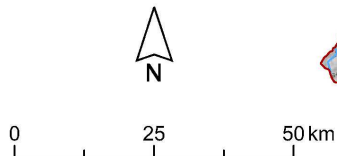
Die Tonrohstoffe zählen zu den sog. bildsamen keramischen Rohstoffen, die den keramischen Massen ihre charakteristische Plastizität und Verarbeitbarkeit verleihen. Dagegen bestimmen sog. unbildsame keramische Rohstoffe (z.B. Quarz, Feldspat) als Zusätze z.B. die Brenneigenschaften der keramischen Massen. Diese unbildsamen keramischen Rohstoffe werden in anderen Fachberichten behandelt: Die Quarzsande beispielsweise sind im Fachbericht „Sande und Kiese“ enthalten, die Einkieselungsquarzite des Tertiärs („Tertiärquarzite“) sowie Quarz-Gangfüllungen („Gangquarze“) im Fachbericht „Natursteine und Naturwerksteine“. Reine Feldspat-Lagerstätten kommen in Hessen nicht vor; in gewissem Umfang werden jedoch feinkörnige Produkte feldspat-reicher Natursteine (z.B. Granite, Diorite, Gabbros, Trachyte) in die keramische Industrie geliefert (siehe Fachbericht „Natursteine und Naturwerksteine“).

Die hessischen Tonrohstoffe haben z.T. sehr unterschiedliche Entstehungsgeschichten und Zusammensetzungen, von denen auch ihre technischen Eigenschaften und industriellen Einsatzbereiche abhängen. Daher werden die derzeit bedeutendsten Lagerstättenregionen im zweiten Teil dieses Fachberichtes gesondert beschrieben (Kapitel 11). Im einführenden Teil (Kapitel 1–10) sollen dagegen einige Grundlagen der Tonrohstoffe Hessens erläutert werden.

## 2. Lage

Die Hauptverbreitungsgebiete der hessischen Tonrohstoffe und damit auch die Schwerpunkte der Abbaustellen liegen insbesondere im **Westerwald**, aber auch im **Gießener Becken** und in der **Niederhessischen Senke**, untergeordnet auch im **Limburger Becken**, in kleineren Senkungsgebieten des **Taunus** sowie in der **Wetterauer Perm-Scholle** (Abb. 1). Die Ton-Lagerstätten bildeten sich erdgeschichtlich im Quartär, im Tertiär, im Keuper, im Buntsandstein (v.a. im Oberen Buntsandstein, Röt-Folge), im Zechstein, im Rotliegend und während des Devons und Karbons (Abb. 2, Tab. 1).

Übersichtskarte der  
 Tonrohstoffe in Hessen



**Abbaustellen**

- Lehme des Quartärs
- Tone des Quartärs, z.T. des Jungtertiärs (Pliozän)
- illitisch-kaolinitische Tone des Tertiärs
- smektitische Tone (Bentonite), z.T. mit illitisch-kaolinitischen Tonen des Tertiärs
- entfestigte Ton-Schluffsteine/Tonmergelsteine des Buntsandsteins
- entfestigte Tonsteine/Ton-Schluffsteine/Tonmergelsteine des Zechsteins
- entfestigte Schluffsteine des Rotliegend
- Tonschiefer des Devons und Karbons, z.T. Rotschiefer
- illitisch-kaolinitische Tone aus zersetzten Gesteinen des Devons und Karbons (Saprolit-Lagerstätten)

- Grenze der Regierungspräsidien
- geologische Strukturräume
- Lagerstättenpotenzialzonen**
- Löss, Lösslehme, Lehme des Quartärs (Hauptverbreitungsgebiet)
- Gebiete großer Löss- bzw. Lösslehmächtigkeit
- Tone des Quartärs, z.T. des Jungtertiärs (Pliozän)
- Tone des Tertiärs, vorwiegend illitisch-kaolinitisch, z.T. smektitisch
- Tone des Tertiärs unter Tertiär-Vulkaniten
- Ton-Schluffsteine und Tonmergelsteine des Keupers, oberflächennah entfestigt
- Ton-Schluffsteine und Tonmergelsteine des Buntsandsteins, oberflächennah entfestigt
- Tonsteine, Ton-Schluffsteine, Tonmergelsteine und Mergelsteine, oberflächennah entfestigt
- Schluffsteine des Rotliegend, oberflächennah entfestigt
- Tonsteine, Tonschiefer und Phyllite des Devons und des Karbons

Abb. 1: Übersichtskarte des Lagerstättenpotenzials für Tonrohstoffe in Hessen.





Lösse und Lösslehme des **Quartärs** (Pleistozäns; vgl. Tab. 1) sind in Hessen weit verbreitet. Besonders mächtige und großflächige Vorkommen finden sich in der Wetterau, im Vogelsberg und dessen Umrandung, im Westerwald, in der Niederhessischen Senke, am Südrand des Rheinischen Schiefergebirges und im Odenwald (v.a. Bergstraße und Dieburger Bucht). Tone des Quartärs in abbauwürdiger Mächtigkeit sind auf Flusstäler und Senkungsbereiche des Rhein-Main-Gebietes beschränkt. Die in Hessen besonders intensiv genutzten illitisch-kaolinitischen Ton-Lagerstätten des **Tertiärs** konzentrieren sich auf die Randbereiche von Westerwald und Vogelsberg, auf Beckenbereiche im Taunus und im Raum Gießen und auf die große Senkungsstruktur der Niederhessischen Senke. Bentonite des Tertiärs sind an die Vorkommen vulkanischer Gesteine, insbesondere vulkanischer Tuffe, gebunden und kommen daher v.a. im Westerwald, im Vogelsberg und im Bereich von Vulkanitvorkommen der Niederhessischen Senke vor. Ton- und Schluffsteine des **Perms** und der **Trias** streichen v.a. in Nord- und Osthessen, in der sog. Wetterauer Perm-Scholle, auf dem Sprendlinger Horst und im östlichen Odenwald aus. Tonschiefer und Phyllite des **Devons** und **Karbons** sind an das Rheinische Schiefergebirge und kleinere paläozoische Aufbrüche gebunden.

### 3. Untersuchungsstand

Der Untersuchungsstand der hessischen Ton-Lagerstätten ist sehr heterogen und richtet sich im Wesentlichen nach der derzeitigen Nutzung der Lagerstätten:

Die intensive Fortentwicklung in allen Bereichen der Keramik, aber auch in anderen Anwendungsbereichen der Tone (s.u.), erfordert immer wieder Weiterentwicklungen in der Rohstoffanalyse und Bewertung der Lagerstätten. **In Gewinnung stehende Lagerstätten** und deren potenzielle Erweiterungsbereiche werden daher durch die Abbauunternehmen mit modernen Methoden erkundet und untersucht. Unmittelbar während des Abbaus wird die Rohstoffqualität ständig überprüft, um die Abbauführung entsprechend anzupassen. Auch die gewonnenen Rohtone werden durch Materialanalysen fortlaufend überwacht. Zur Erkundung potenzieller Erweiterungsbereiche werden Bohrungen – in der Regel Kernbohrungen – abgeteuft, aus denen Material für chemische, mineralogische und technische Analysen entnommen wird. Die Erkundung mit geophysikalischen Methoden (z.B. Geoelektrik, Georadar) wird dagegen bei keramischen Lagerstätten allenfalls im Vorfeld eingesetzt, da bei diesen Methoden keine Möglichkeit für Materialuntersuchungen besteht.

**Derzeit nicht genutzte Ton-Lagerstätten** sind dagegen in der Regel nicht genauer bzw. nicht mit modernen Methoden untersucht. Informationen zur Lagerstätte finden sich zum Teil in der älteren Literatur aus Zeiten, in denen die Lagerstätte noch genutzt wurde. Diese älteren Literaturangaben entsprechen jedoch nicht den heutigen Klassifizierungsschemata für Tonrohstoffe und enthalten i.d.R. wenig verwertbare Informationen zur mineralogischen Zusammensetzung und zur technischen Verwendbarkeit des Rohstoffes. Für einige derzeit nicht genutzte Lagerstätten sind moder-

nerer geologische Grundlagenuntersuchungen veröffentlicht, jedoch in der Regel nicht mit rohstoffwirtschaftlichem Bezug. Detaillierte Beschreibungen der einzelnen Vorkommen sowie einen Überblick über nutzbare Lagerstätten sind in den Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 enthalten, soweit sie in jüngerer Zeit erschienen sind.

## 4. Geologie und Mineralogie

### *Geologische Entstehung der hessischen Tonrohstoffe*

Tonrohstoffe liegen in Hessen v.a. in Ablagerungen des Tertiärs, außerdem in den älteren Erdzeitaltern Devon, Karbon, Perm und Trias sowie im jüngsten Erdzeitalter, dem Quartär (vgl. Abb. 2). Tabelle 1 zeigt die Zeiträume der angesprochenen Erdzeitalter sowie deren Untereinheiten, sofern letztere in den nachfolgenden Abschnitten zur Geologie der einzelnen Ton-Lagerstätten erwähnt werden.

Tab. 1: Erdgeschichtliche Alter der in Hessen verbreiteten Ton-Lagerstätten (vgl. Abb. 2); grau und in Klammern eingetragen sind die Erdzeitalter ohne nennenswerte Ton-Lagerstätten in Hessen

Ära	Erdzeitalter Untereinheit	Zeitraum [Mio. Jahre vor heute]
Erdneuzeit	<b>Quartär</b>	0 – 1,8
		(Holozän) 0 – 0,01
		Pleistozän 0,01 – 1,8
	<b>Tertiär</b>	1,8 – 65
		Pliozän 1,8 – 5
		Miozän 5 – 23,8
		Oligozän 23,8 – 34
		Eozän 34 – 55
		(Paläozän) (55 – 65)
		(Kreide) (65 – 142)
	(Jura) (142 – 200)	
Erdmittelalter	<b>Trias</b>	200 – 251
		Keuper 200 – 235
		(Muschelkalk) 235 – 243
		Buntsandstein 243 – 251
Erdaltertum	<b>Perm</b>	251 – 296
		Zechstein 251 – 258
		Rotliegend 258 – 302
	<b>Karbon</b>	302 – 358
	<b>Devon</b>	358 – 417,5

Zu den in Hessen verbreiteten Tonrohstoffen zählen Tone, Löss, Lösslehme/Lehme, Ton- und Schluffsteine sowie Tonschiefer und Phyllite. Die Einteilung der tonigen Gesteine orientiert sich an der Korngröße und der mineralogischen Zusammensetzung:

- Petrologisch bezeichnet man Sedimente als **Tone**, wenn deren überwiegende Komponenten eine Korngröße unter  $2\ \mu\text{m}$  (2 Tausendstel Millimeter) besitzen. Mineralogisch setzen sich Tone v.a. aus Ton- und Glimmermineralen und geringeren Anteilen an feinkörnigem Quarz, Feldspat und z.T. auch Karbonaten, Sulfaten, Sulfiden, Eisenhydroxiden und organischen Substanzen zusammen. Tone werden in Stillwasserbereichen abgelagert, entweder in Süßwasser („limnische Tone“ in Seen, Überflutungsebenen und Altarmen von Flüssen) oder im Meer („marine Tone“). Je nach Mineralbestand bzw. Eigenschaften unterscheidet man verschiedene Tonsorten, z.B. illitisch-kaolinitische und smektitische (bentonitische) Tone (s.u.).
- **Löss** sind eiszeitliche Windablagerungen des Quartärs (Pleistozäns), die überwiegend aus Schluff (Korngröße  $2 - 63\ \mu\text{m}$ ) bestehen und karbonatreich sind. Aus ihnen bildeten sich durch Umlagerungs- und Bodenbildungsvorgänge **Lösslehme**, die neben Schluff wechselnd hohe Anteile an Ton ( $< 2\ \mu\text{m}$ ) und Sand (Korngröße  $63\ \mu\text{m} - 2\ \text{mm}$ ) enthalten und in der Regel karbonatarm bis karbonatfrei sind. Ähnliche Bildungen ohne (nachweisbare) Lösskomponente werden allgemein als **Lehme** bezeichnet.
- **Tonsteine** und **Schluffsteine** entstehen im Laufe der Gesteinsbildung aus lockeren, weichen Tonen bzw. Schluffen durch Kompaktion (Verdichtung durch die Last auflagernder Sedimentschichten) und Diagenese (u.a. Bildung von Porenraumzementen). Dabei werden vor allem das Gefüge, zum Teil aber auch die enthaltenen Minerale verändert: Ton- und Schluffsteine sind wesentlich dichter und fester als Tone bzw. Schluffe, haben meistens eine ausgeprägtere Feinschichtung und infolge diagenetischer Umkristallisationen auch eine etwas gröbere mittlere Korngröße. Unter Oberflächeneinflüssen (Niederschlag, Frost, Durchwurzelung) verwittern Ton- und Schluffsteine, so dass oberflächennah i.d.R. eine bis zu etwa 15 m mächtige Zone entfestigten Tonsteins entsteht. Je nach Verwitterungsgrad bleibt die Struktur des Ton-/Schluffsteins weitgehend erhalten, das Gestein lässt sich jedoch mehr oder weniger leicht abgraben.
- **Tonschiefer** und **Phyllite** entstehen aus Ton- und Schluffsteinen, die unter erhöhte Druck-/Temperatur-Bedingungen gelangen (z.B. bei der Gebirgsbildung) und dabei in ihrem Mineralbestand und Gefüge nochmals verändert werden. Bei dieser sog. Metamorphose werden insbesondere die Tonminerale irreversibel in stabilere Ton- und Glimmerminerale (v.a. Illit/Serizit) umgewandelt und entsprechend der herrschenden Druckbeanspruchung eingeregelt. Es entsteht ein mehr oder weniger ausgeprägtes Schieferungsgefüge, das die ursprüngliche Schichtung schließlich vollständig verschleiern kann. Auch Tonschiefer und Phyllite unter-

liegen der Verwitterung und können oberflächennah entfestigt, teilweise auch sehr tiefgründig (bis > 100 m) zersetzt sein (s.u.: Saprolite).

### ***Mineralogische Zusammensetzung hessischer Tonrohstoffe***

Die mineralogische Variationsbreite der Ton- und Glimmerminerale und ihrer Anteile in tonigen Gesteinen ist überaus groß, so dass die Palette der Tonrohstoffe extrem vielfältig ist. Allen Ton- und Glimmermineralen gemeinsam ist der Aufbau aus Aluminosilikatschichten, die sich aus Silizium, Aluminium und Sauerstoff zusammensetzen. Je nach Ton-/Glimmermineralart sind in diese Aluminosilikat-Schichtstruktur in unterschiedlichem Maße andere chemische Elemente (Eisen, Titan, Mangan, Alkali- und Erdalkalielemente) und z.T. auch Wasser eingebaut bzw. eingelagert. Beispielfähig seien hier die Tonminerale Illit, Kaolinit und Smektit genannt, die in den verschiedenen Tonrohstoffen Hessens zu großen Anteilen vorkommen können und deren Eigenschaften prägen:

- **Illit** ist ein glimmerähnliches Tonmineral, das unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen aus Ton-, Glimmer- oder anderen Mineralen entsteht. Diese Umwandlung ist i.d.R. irreversibel. Illit ist sehr stabil und daher nicht nur in den Gesteinen enthalten, in denen es gebildet wurde (z.B. Phyllit), sondern auch in deren Verwitterungs- und Umlagerungsprodukten (z.B. Ton).
- **Kaolinit** und andere Tonminerale der Kaolinit-Gruppe bestehen fast ausschließlich aus reinen Aluminosilikatschichten und können nur sehr geringe Spuren an Eisen und Titan in die Kristallstruktur aufnehmen. Minerale der Kaolinit-Gruppe entstehen v.a. durch die Verwitterung oder den hydrothermalen Zersetz von Feldspat. Relativ reine kaolinitische oder illitisch-kaolinitische Tone sind hellgrau bis nahezu weiß und je nach Mineralzusammensetzung häufig zur Herstellung von Feuerfest-Produkten geeignet.
- Unter **Smektiten** wird eine größere Gruppe von Tonmineralen zusammengefasst, die sehr variable Anteile an Eisen, Titan, Mangan, Alkali- und Erdalkalielementen in ihre Kristallstruktur einbauen und daher eine hohe Ionenaustauschkapazität haben. Natriumreiche Smektitminerale können darüber hinaus Wasser zwischen die Aluminosilikatschichten einlagern und auch wieder abgeben, so dass sie – im Unterschied zu Illit und Kaolinit – **quellfähig** sind. Smektit (z. B. Montmorillonit) sind die Hauptbestandteile der **Bentonite**, die durch Verwitterung oder hydrothermalen Zersetz basaltischer Vulkanite und Vulkaniklastite („Tuffe“) entstehen.

Die z.T. sehr unterschiedliche Zusammensetzung der Tonrohstoffe Hessens ist in Tab. 2 und Abb. 3 beispielhaft angegeben. Je nach dominierender Tonmineralgruppe lassen sich die hessischen Ton-Lagerstätten grob in illitisch, illitisch-kaolinitisch, kaolinitisch und smektitisch dominierte Tonrohstoffe einteilen; den weitaus größten Anteil aller hessischen Tonrohstoffe bilden dabei die beiden erstgenannten Gruppen:

- **Illitisch dominierte Ton-Lagerstätten** sind v.a. die Tonschiefer des Devons und Karbons (Rheinisches Schiefergebirge) sowie die Ton-/Schluffsteine des Perms und des Mesozoikums (z.B. des Rotliegend in der Wetterau, des Zechsteins im Odenwald oder des Oberen Buntsandsteins/Röt in Nord- und Osthessen).
- **Illitisch-kaolinitisch bis kaolinitisch dominierte Ton-Lagerstätten\*** sind während des Tertiärs und späten Mesozoikums durch intensive Verwitterung feldspathaltiger Gesteine und Tonschiefer unter tropischen Klimabedingungen entstanden. Aufgrund der hohen Temperaturen und hohen Niederschlagsraten wurden die Gesteine besonders intensiv und tiefgründig verwittert („mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke, MTV“, z.B. [1]). Die so entstandenen Ton-Lagerstätten werden als **saprolitische Ton-Lagerstätten** bezeichnet.

Von diesen zu unterscheiden sind die ebenfalls illitisch-kaolinitisch, untergeordnet auch kaolinitisch dominierten **sedimentären Ton-Lagerstätten** des Tertiärs: Sie entstanden durch die Abtragung der MTV durch Oberflächenwasser (Niederschlag, Bäche/Flüsse) und die erneute Ablagerung des Abtragungsmaterials unter Stillwasserbedingungen, überwiegend in Seen oder Überflutungsebenen von Flüssen.

Die saprolitischen Ton-Lagerstätten Hessens konzentrieren sich auf das südliche Rheinische Schiefergebirge inkl. Taunus und Westerwald. In Senkungsstrukturen des Taunus und im Westerwald sind sie mit sedimentären illitisch-kaolinitischen Tonen assoziiert, im Gießener Becken überwiegen die letzteren. Ausschließlich sedimentäre illitisch-kaolinitische (untergeordnet kaolinitische) Ton-Lagerstätten finden sich in der Niederhessischen Senke und in der Rhön.

- **Smektitisch dominierte Tone („Bentonite“)** kommen in den hessischen Vulkanitgebieten des Tertiärs vor (v.a. Westerwald, Vogelsberg, Niederhessische Senke), untergeordnet auch in Metavulkanitgebieten des Karbons mit erhaltener mesozoisch-tertiärer Verwitterungsdecke (Lahn- und Dillmulde des Rheinischen Schiefergebirges). Sie sind häufig „in situ“ erhalten, d.h. durch Verwitterung der Vulkanite und Vulkaniklastite ohne anschließende Umlagerung.

---

\* Die früher z.T. verwendeten Begriffe „Kaolinton“ und „Kaolin“ sollten für die hier beschriebenen hessischen Tone nicht mehr verwendet werden.

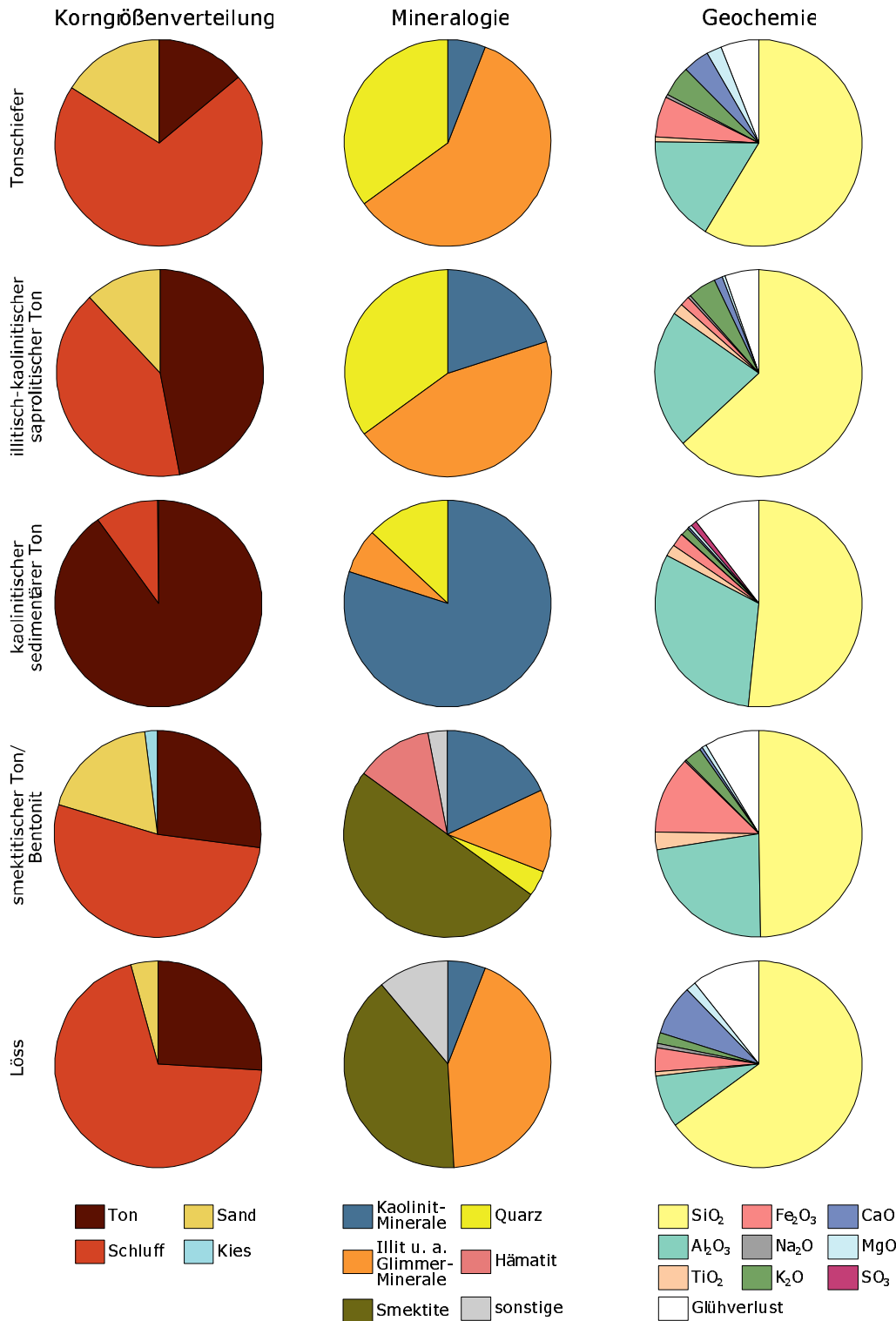


Abb. 3: Beispiele für die unterschiedliche Zusammensetzung hessischer Tonrohstoffe: Tonschiefer („Rotschiefer“) des Rheinischen Schiefergebirges (Devon, [2]), saprolitischer illitisch-kaolinitischer Ton des Rheinischen Schiefergebirges (mesozoisch-tertiär verwittertes Devon, [3]: „Kaolinton“\*), sedimentärer kaolinitischer Ton von Großalmerode (Tertiär, [4]: „Fettton“), smektitischer Ton bzw. Bentonit des Westerwaldes (Firmenprospekt), Löss aus Rauschholzhausen ([5]) bzw. der Wetterau (HLUG); vgl. Tab. 2

\*) Der Begriff „Kaolinton“ sollte für die hier beschriebenen hessischen Tone nicht verwendet werden.

Tab. 2: Beispiele für die unterschiedliche Zusammensetzung hessischer Tonrohstoffe: Tonschiefer („Rotschiefer“) des Rheinischen Schiefergebirges (Devon, [2]), saprolitischer illitisch-kaolinitischer Ton des Rheinischen Schiefergebirges (mesozoisch-tertiär verwittertes Devon, [3]: „Kaolinton“\*), sedimentärer kaolinitischer Ton von Großalmerode (Tertiär, [4]: „Fettton“), smektitischer Ton bzw. Bentonit des Westerwaldes (Firmenprospekt), Löss aus Rauschholzhausen ([5]) bzw. der Wetterau (HLUG); vgl. Abb. 3

Korngrößen [%]	Tonschiefer	illitisch-kaolinitischer saprolitischer Ton	kaolinitischer sedimentärer Ton	smektitischer Ton / Bentonit	Löss (Rauschholz., Karbonatgehalt 8,2 %)
Ton (< 0,002 mm)	14	47	90	27,1	25,9
Schluff (0,002-0,063 mm)	70	41	9,8	52,4	69,8
Sand (0,063-2 mm)	16	12	0,2	18,4	4,3
Kies (> 2 mm)				2	

Mineralogie [%]	Tonschiefer	illitisch-kaolinitischer saprolitischer Ton	kaolinitischer sedimentärer Ton	smektitischer Ton / Bentonit	Löss (Rauschholz., 8,3 % CaCO <sub>3</sub> )
Kaolinit-Minerale	6	20	80	18	6
Illit u.a. Glimmer-Minerale	59	45	7	13	43
Quarz	35	35	13	4	
Feldspäte				-	
Smekтите (u.a. quellfähige)				50	40
Hämatit				12	
sonstige				3	11

Geochemie [%]	Tonschiefer	illitisch-kaolinitischer saprolitischer Ton	kaolinitischer sedimentärer Ton	smektitischer Ton / Bentonit	Löss (Wetterau)
SiO <sub>2</sub>	58,5	62,95	52,1	49,7	64,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,55	21,8	31,4	22,8	8,20
TiO <sub>2</sub>	0,7	1,8	1,9	2,8	0,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,4	1,4	2,1	12,1	3,59
Na <sub>2</sub> O	0,45	0,45	0,1	0,2	0,73
K <sub>2</sub> O	4,8	4,4	1,2	2,7	1,74
CaO	4,15	1,35	0,3	0,5	7,86
MgO	2,3	0,45	0,5	0,7	1,52
SO <sub>3</sub>	-	-	0,9	-	-
Glühverlust	5,95	5,3	10,5	8,5	10,6

\*) Der Begriff „Kaolinton“ sollte für die hier beschriebenen hessischen Tone nicht verwendet werden.

## 5. Eigenschaften und Qualitätskriterien

### *Illitische und kaolinitische Tone*

Die für die Keramik- und Feuerfest-Industrie bedeutsamen Eigenschaften der illitischen bis kaolinitischen Tonrohstoffe lassen sich unterteilen in die Eigenschaften bei der Verarbeitung, z.B. die Plastizität, und in die Eigenschaften beim und nach dem Brand, z.B. die Brennschwindung oder die Feuerfestigkeit. Tabelle 3 zeigt dazu eine Auswahl an Eigenschaften. Die Eigenschaften der einzel-

nen hessischen Ton-Lagerstätten variieren sehr stark und werden daher in den betreffenden Kapiteln aufgeführt.

Prägend für die technologischen Eigenschaften der Tonrohstoffe ist ihre mineralogische Zusammensetzung, insbesondere das Verhältnis zwischen Tonmineralen und feinkörnigem Quarz. Bei geringen Quarz- und entsprechend hohen Tonmineralanteilen spricht man von „fetten“ Tonen, mit steigenden Quarz- und entsprechend geringeren Tonmineralgehalten werden die Tone „magerer“. Bei ansonsten gleichem Mineralbestand wird mit steigendem Quarzgehalt die Reaktivität im Brand geringer, d.h. dass z.B. die Brennschwindung abnimmt und die Wasseraufnahme ansteigt.

In das Gitter der Tonminerale eingebaute Alkali- und Erdalkali-Ionen (Kalium, Natrium, Magnesium, Kalzium) beeinflussen stark das Verhalten beim keramischen Brand, insbesondere den Grad der Sinterung. Je höher der Gehalt an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Tonerdegehalt) und je geringer der Gehalt an Flussmitteln (Feldspat, Kalzit, auch Eisen- und Titanoxide), desto höher liegt der Erweichungspunkt des Tons und desto besser ist seine Feuerfestigkeit.

Eisen- und Titangehalte beeinflussen die Brennfarbe der Tone: Bei niedrigen Eisen- und Titangehalten entstehen sehr helle Brennfärbungen, bei steigenden Eisengehalten geht die Brennfarbe in Richtung rot bzw. braun (je nach Sinterungsgrad des Scherbens), bei erhöhten Titangehalten und gewissen Eisenanteilen in Richtung gelber Brennfarbe. Auch die Brenntemperatur beeinflusst jedoch die Brennfarbe.

Keramische Rohstoffe werden für die industrielle Anwendung allerdings weniger über ihren Mineralbestand charakterisiert, sondern in der Regel über keramische Parameter (z.B. Bildsamkeit/Plastizität, Trocken- und Brennschwindung, Wasseraufnahme, Sintereigenschaften, Brennfarbe, s. Tab. 3) oder über Angaben zur chemischen Zusammensetzung, wobei die einzelnen Elementgehalte als Oxide angegeben werden. Die wichtigsten chemischen Parameter für keramische Rohstoffe sind die Gehalte an  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  und  $\text{Na}_2\text{O}$ . Je nach Verwendungszweck können weitere Gehalte von Bedeutung sein, z. B. Sulfid- und Sulfatgehalte, Karbonatgehalte und Anteile an organischem Kohlenstoff.



Tab. 3: Technologische Eigenschaften natürlicher, bildsamer keramischer Rohstoffe (Tonrohstoffe): a) bei der Verarbeitung, b) beim bzw. nach dem Brand (Zusammenstellung u.a. nach [6], [7], [8], [9])

a) Eigenschaft	Maßeinheit	Charakterisierung	abhängig von bzw. zusammenhängend mit (u.a.)
<b>Verhältnis Tonminerale:Quarz</b>	%:%	Unterscheidung „fetter“ Tone mit hohem Tonmineral- und geringem Quarzanteil gegenüber „mageren“ Tonen mit geringem Tonmineral- und höherem Quarzanteil	Korngrößenzusammensetzung
<b>Bildsamkeit/ Plastizität</b>	versch.	Eignung des Tons, durch Einwirkung einer äußeren Kraft plastisch geformt zu werden, ohne dass Risse oder Brüche entstehen, und diese Form nach Ausbleiben der Kraft beizubehalten;  wird experimentell bestimmt (z.B. Eindringprüfer/Plastometer oder Pfefferkorn-Stauchgerät) und angegeben z.B. über die Plastizitätszahl nach Pfefferkorn [%] oder über die Konsistenzgrenzen (Fließ-, Ausroll-, Schrumpfgrenze)	Feinkörnigkeit, Tonmineralzusammensetzung, Quarzgehalt
<b>Anmachwasserbedarf</b>	% (atro)	Wassermenge, die nötig ist, um eine knetbare, formbare Masse zu bilden (g H <sub>2</sub> O <sub>dest.</sub> pro 100g Rohstoff); sollte immer auf die Trockensubstanz bezogen („atro“) und in Verbindung mit der dann erreichten Plastizität (s.o.) genannt werden;  der Anmachwasserbedarf ist i.d.R. höher als der natürliche Wassergehalt des Tons (Berg-/Grubenfeuchte)	Tonmineralanteil und -zusammensetzung, Korngrößenzusammensetzung, Zerkleinerungsgrad
<b>Wasseraufnahmevermögen</b>	% (atro)	maximales Wasservolumen, das von einer bei 105 °C getrockneten Probe aufgenommen werden kann;  wird experimentell bestimmt über das Wasseraugvermögen des getrockneten Tonpulvers in Abhängigkeit der Zeit (Enslin-Gerät) und angegeben über den sog. Enslin-Wert	Tonmineralanteil und -zusammensetzung, Korngrößenzusammensetzung, Zerkleinerungsgrad
<b>Quellfähigkeit</b>		Volumenzunahme einer Tonschüttung (z.B. Pellets) unter Flüssigkeit (z.B. Wasser)	Anteil und Art quellfähiger Tonminerale
<b>Gießfähigkeit</b>		Eignung des Tons, als Suspension gegossen zu werden; wird experimentell bestimmt, z.B. über Auslaufzeit aus einer Pipette; ist u.a. abhängig vom Verflüssigungsmittel und von der Temperatur	Feinkörnigkeit, Tonmineralzusammensetzung, Anteil organischer Substanzen
<b>Trockenbiegefestigkeit</b>	N/mm <sup>2</sup>	Bruchfestigkeit einer luftgetrockneten Tonprobe	Korngrößen- und, Tonmineralzusammensetzung, Karbonatgehalt, Quarzgehalt, Anteil organischer Substanzen
<b>Trockenschwindung</b>	%	lineare Schwindung des Tons beim Trocknen	u.a. Anteil quellfähiger Tonminerale, Karbonatgehalt, Quarzanteil bzw. Magerungsmittel

b) Eigenschaft	Maßeinheit	Charakterisierung	abhängig von bzw. zusammenhängend mit (u.a.)												
<b>Brennfarbe</b>	-	Farbe nach dem keramischen Brand (temperaturabhängig), ist abhängig u.a vom TiO <sub>2</sub> - und Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Gehalt:  weiß bis cremefarben bei Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 1 %, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> < 2,6-2,7 %; gelb bei erhöhten TiO <sub>2</sub> - und niedrigen Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Gehalten und TiO <sub>2</sub> :Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ca. 2:1; rot bei Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 7 % <sup>1)</sup>	Gehalte an TiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , org. Substanz, Sulfiden, Karbonaten												
<b>Brennschwindung</b>	%	lineare Schwindung der Keramik beim Brand	u.a. Anteil quellfähiger Tonminerale, Kalkgehalt, Quarzanteil bzw. Magerungsmittel												
<b>Druckfestigkeit</b>	N/mm <sup>2</sup>	Widerstandsfähigkeit der gebrannten Keramik gegenüber äußerem mechanischem Druck, unter Einberechnung der Form des Probenstücks; entsprechend erfolgt die Einteilung in Festigkeitsklassen													
<b>Feuerfestigkeit / Erweichungspunkt / Segerkegelfallpunkt</b>	°C bzw. SK	Erweichungspunkt der Keramik oberhalb 1580 °C (wird nur für Rohstoffe für die Feuerfestindustrie ermittelt):  „feuerfest“ bei Erweichungspunkt > 1580 °C,  „hochfeuerfest“ bei Erweichungspunkt > 1790 °C;  Bestimmung über Versuche mit einem Probenkörper mit definiertem Erweichungspunkt, dem sog. Segerkegel („Segerkegelfallpunkt“, SK);  Zuordnung SK zu Erweichungstemperatur über sog. Segerkegel-Tabellen, z.B.: <table border="1" data-bbox="735 1308 1198 1417"> <tr> <td>SK</td> <td>23</td> <td>26</td> <td>29</td> <td>35</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>°C (ca.)</td> <td>1560</td> <td>1585</td> <td>1655</td> <td>1780</td> <td>1805</td> </tr> </table> (für Erhitzungsgeschwindigkeit von 150 °C/h, aus [7])	SK	23	26	29	35	36	°C (ca.)	1560	1585	1655	1780	1805	Gehalt an Kalium bzw. kaliumhaltiger Minerale, v.a. Glimmer (z.B. Muskovit, Illit)
SK	23	26	29	35	36										
°C (ca.)	1560	1585	1655	1780	1805										
<b>Säurefestigkeit</b>		Widerstandsfähigkeit der gebrannten Keramik gegen Säure (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ):  „säurefest“, wenn relativer Gewichtsverlust nach Säurebehandlung max. 2,5 % bei Erhalt von Scharfkantigkeit und Formbestand													
<b>Frostsicherheit</b>		Widerstandsfähigkeit der gebrannten Keramik gegen Frost, ist abhängig vom Wasseraufnahmevermögen nach dem Brand:  Keramik mit < 1 % Wasseraufnahme gilt als frostsicher	offener Porenraum												

Eine einheitliche Klassifikation für Tonrohstoffe gibt es nicht. In der Rohstoffwirtschaft wird mitunter je nach Verwendungszweck zwischen „**Tonrohstoffen**“ im engeren Sinne („gemeine Tone“ und „Spezialtone“) und „**Ziegeleirohstoffen**“ (Löss, Lösslehm, Schwemmlöss, Tonsteine, Tonschiefer) unterschieden. In Hessen werden nach dieser Klassifikation derzeit vorwiegend gemeine Tone und Spezialtone abgebaut.

Auch die ebenfalls verwendungsbezogene Einteilung in **feinkeramische**, **grobkeramische Tone** sowie **Feuerfesttone** ist noch üblich, die Grenzen sind jedoch auch hier fließend: Tone zur Herstellung von Feinkeramik enthalten hohe Anteile sehr feinkörniger Tonminerale, v.a. Minerale der Kaolinit-Gruppe und Illit, sowie nur Spuren von gröberen Bestandteilen, organischer Substanz, Eisenverbindungen, Karbonaten und Sulfaten. Tone und Tonsteine für grobkeramische Produkte haben demgegenüber ein breiteres Korngrößenspektrum und eine größere Variationsbreite der mineralogischen Zusammensetzung, obwohl mittlerweile auch hier für hochwertige grobkeramische Erzeugnisse sehr spezifische Anforderungen an den Tonrohstoff gestellt werden. Feuerfesttone bestehen überwiegend aus sog. „fire clay“ (fehlgeordnetem Kaolinit) und Quarz und zeichnen sich durch einen besonders hohen Erweichungspunkt aus (über 1580 °C bei feuerfesten und über 1790 °C bei hochfeuerfesten Tonen). Je nach SiO<sub>2</sub>- und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt wird bei den Feuerfesttonen zwischen „sauren“ (SiO<sub>2</sub>-reichen) und „basischen“ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-reichen) unterschieden [8].

In der keramischen Industrie ist die Einteilung der Tonrohstoffe je nach Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt in magere, halbfette und fette Tone üblich, außerdem je nach Brennfarbe in weiß-, hell-, gelb und rotbrennende Tone (vgl. a. [10]).

Darüber hinaus gibt es eine Vielfalt älterer Bezeichnungen, die sich sehr stark am – vorrangigen oder traditionellen – Verwendungszweck oder am makroskopischen Erscheinungsbild im Abbau orientieren. Aufgrund der heute sehr vielfältigen und mit der Zeit auch wechselnden Verwendungsmöglichkeiten eines Tonrohstoffs sollten diese Bezeichnungen heute nicht mehr verwendet werden, daher wird im Folgenden nur eine kleine Auswahl erläutert (ergänzt nach [9]):

- „Glashafentone“: für die Herstellung von Glashäfen, d.h. keramischen Massen für die Auskleidung von Glasgießformen, geeignete Tone: bildsam, feuerfest und relativ früh dicht sinternd
- „Töpfertone“: für die Herstellung von Irdengut geeignet, i.d.R. bildsam, kalk- und eisenreich
- „Schiefertone“: natürlich verfestigte Tone (d.h. eigentlich Tongesteine) mit schiefriger oder auch geschichteter Struktur, z.B. stark zersetzte Tonschiefer
- „Fetttone“: Tone mit hohem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt, daher „fett“ glänzend beim Darüberstreichen mit dem Finger
- „Blähtone“: Tone, die bei sehr schneller Erhitzung blähen; nicht Bestandteil dieses Fachberichts

### ***Smektitische Tone / Bentonite***

Smektitische Tone bzw. Bentonite werden in Hessen nur in wenigen Lagerstätten genutzt (Abb. 1). Sie heben sich von den übrigen im vorliegenden Fachbericht behandelten Tonrohstoffen ab, da sie nicht im eigentlichen Sinn zu den bindigen keramischen Rohstoffen zählen, sondern schwerpunktmäßig andere Einsatzbereiche haben. Entsprechend ihrer im Vergleich zu illitisch-kaolinitisch dominierten Tonen vollkommen andersartigen Zusammensetzung (s.o.) haben smektitische Tone deutlich abweichende Eigenschaften (vgl. [11]):

Smektitische Tone bzw. Bentonite zeichnen sich durch ihr großes Ionenaustauschvermögen aus, einige Bentonite darüber hinaus durch eine hohe Quellfähigkeit. Das Ionenaustauschvermögen ist abhängig vom Anteil und von der Art der Smektit-Mineraie, zusätzlich auch von der Art der Vorbehandlung des Tons (z.B. Spülung mit ionaren Lösungen). Die Quellfähigkeit hängt ebenfalls von der Art der Smektit-Mineraie ab, wobei Natrium-Bentonite i.d.R. quellfähig sind, Kalzium- oder Magnesium-Bentonite dagegen nicht. Bei den hessischen Bentoniten handelt es sich um Kalzium-/Magnesium-Bentonite, deren Quellfähigkeit jedoch durch entsprechende Vorbehandlung in gewissen Grenzen beeinflusst werden kann (z.B. „Aktivierung“ durch Spülen mit NaCO<sub>3</sub>-Lösung).

Im Zusammenhang mit den bereits genannten Eigenschaften stehen auch die hohe Plastizität von Bentoniten sowie ihre geringe Permeabilität (Wasserdurchlässigkeit). Als thixotrop werden Bentonite bezeichnet, die hoch quellfähig sind, jedoch unter mechanischer Beanspruchung ihr Volumen infolge von Wasserabgabe wieder verringern.

Je nach Einsatzgebiet kommt den unterschiedlichen Eigenschaften eines Rohbentonits – oder der Möglichkeit, durch Vorbehandlung diese Eigenschaften zu beeinflussen – unterschiedlich große Bedeutung zu.

Die **Qualität einer Ton-Lagerstätte** ist aufgrund der dargestellten Variationsbreite der Tonrohstoffe und ihrer daher sehr vielfältigen Verwendbarkeit nicht einfach abzuschätzen. Einfache charakterisierende Kriterien wie das Abraum-Ton-Verhältnis, der Mineralbestand oder das Verwendungsspektrum kommen allenfalls für Ton-Lagerstätten in Betracht, deren Tonsorten zu einem Gesamtrohstoff homogenisiert werden, wie z.B. bei Ziegeleirohstoffen. Die meisten Tonrohstoffe (gemeine Tone und Spezialtone) werden dagegen sehr differenziert nach den einzelnen in der Lagerstätte enthaltenen Tonsorten abgebaut („selektiver Abbau“, s.u.). Die einzelnen Sorten gehen häufig in unterschiedliche Produktgruppen ein, d.h. in unterschiedliche Industriesparten mit jeweils sehr unterschiedlichen Bewertungsmaßstäben. Einfache, zusammenfassende Bewertungskriterien sind in diesen Lagerstätten zwar auch wichtig, aber bei Weitem nicht so entscheidend für die Lagerstätten-Klassifikation wie bei anderen Lagerstätten.

Bei den in Abbau stehenden Ton-Lagerstätten erfolgt die Qualitätsüberwachung der Rohtone wie auch der Fertigprodukte durch regelmäßige Labortests, je nach Anforderungsprofil in unterschiedlichen zeitlichen Abständen. Die kontrollierten Eigenschaften bzw. die Qualitätsanforderungen hängen naturgemäß vom Einsatzbereich des Rohtons ab (vgl. Tab. 3): Bei Rohtonen für die keramische Industrie sind die Verarbeitbarkeit vor dem Brand, das Verhalten während des Brandes sowie die Eigenschaften der gebrannten Produkte von Bedeutung. Bei Rohtonen für die Feuerfest-Industrie sind zusätzlich die Feuerfestigkeit und die Eigenschaften bei hohen Temperaturen entscheidend. Dagegen werden Rohtone für den Einsatz in der Umwelttechnik (Deponiebau u.a.) vor allem auf Eigenschaften wie Plastizität, Quellfähigkeit, Verdichtbarkeit und Wasserdurchlässigkeit (Permeabilität) getestet.

Bei der Vermarktung von keramischen Tonen einer Lagerstätte ist darüber hinaus wichtig, dass bestimmte Tonsorten über einen langen Zeitraum in annähernd gleicher Qualität und mit gesicherten Vorräten angeboten werden können. So ist für den Kunden sichergestellt, dass rohstoffspezifisch abgestimmte Produktionsprozesse beibehalten und die hergestellte Produkte langfristig angeboten werden können. Umgekehrt erfordern die sich ändernde Marktsituation, die Fortentwicklung der Produkte und der Fertigungstechnologien, aber auch Modetrends (z.B. die aktuell bevorzugte Fliesenfarbe), eine stetige Anpassung der Produktpalette. Diese Anforderungen können durch gezielte und mittel- bis langfristige Abbauplanung, differenzierte Abbauführung, Lagerung der einzelnen Tonsorten sowie durch die Herstellung von Mischungen definierter Zusammensetzung erfüllt werden (s. folgendes Kapitel).

## **6. Abbausituation und Verwendung**

Die derzeit in Abbau stehenden Ton-Lagerstätten Hessens werden bis auf eine Ausnahme in Tagebauen abgebaut. Die Abbaubetriebe für keramische Tonrohstoffe (außer Ziegeleirohstoffen) und für Bentonite stehen unter Bergaufsicht. Auch die Gewinnungsstellen für Tonschiefer und entfettete Tonsteine unterliegen in Hessen in der Regel der Bergaufsicht, soweit sich die Rohstoffe zur Herstellung säurefester keramischer Erzeugnisse eignen. Viele Abbaustellen wurden jedoch erst seit Ende des 20. Jahrhunderts unter Bergaufsicht gestellt. Die übrigen Abbaustellen hessischer Tonrohstoffe, insbesondere Lehmgruben, haben baurechtliche und ggf. wasser-, forst- und naturschutzrechtliche Genehmigungen.



Abb. 4: Selektiver Abbau der unterschiedlichen Tonsorten einer Ton-Lagerstätte mittels Hydraulikbaggern und Transport per Bandanlage (Tagebau Wimpfsfeld, Mengerskirchen; Foto: HLUg, 2005)

Abgesehen von kleineren Ton- oder Lehmbabbauen für die Ziegeleiherzeugung und ähnliche Einsatzbereiche, stehen heute größere Ton-Lagerstätten in Gewinnung, die mehr oder weniger komplex aufgebaut sind und deren Einzelqualitäten sehr unterschiedlich sein können. Diese Lagerstätten werden deshalb in der Regel im sog. „**selektiven Abbaufahren**“ abgebaut (Abb. 4): Nach Entfernung des Abraums werden die einzelnen Tonschichten einer Lagerstätte selektiv je nach ihrer Zusammensetzung mit Hydraulik-Tieföffelbaggern abgebaut, häufig in 10 bis 20 Abbauschichten pro Lagerstätte. Der Transport zur Lagerhalle erfolgt mit LKW, Dumper, Radlader oder Förderbändern. Die Rohstoffe werden z. T. bereits in den Tagebauen auf eine bestimmte Körnung heruntergebrochen.

Dieser selektive Abbau ist grundlegende Voraussetzung, um die außerordentlich unterschiedlichen Anforderungen in der Fertigung der verschiedenen keramischen Produkte erfüllen zu können: Einzelrohstoffe, die natürlich immer noch eine gewisse Schwankungsbreite ihrer Parameter aufweisen, reichen heute nicht mehr aus, um die notwendigen engen Toleranzen in der jeweiligen keramischen Produktion zu erfüllen. Daher werden für bestimmte keramische Anwendungen in der Regel mehrere selektiv gewonnene Rohstoffe nach festgelegten Rezepturen gemischt und so die geforderten Qualitätsparameter eingestellt. Die Herstellung dieser standardisierten und homogenisierten Tonmischungen findet chargenweise in überdachten Mischbetanlagen statt. Zur Qualitätssteuerung der einzelnen Chargen werden vorlaufend im Tagebau Schlitzproben, während der Förderung der Ein-

zeltone und beim Mischbettaufbau automatisch repräsentative Proben gezogen. Die Proben werden auf die für das jeweilige Produkt festgelegten Parameter geprüft, und erst bei Erfüllung der geforderten Anforderungen wird die Charge für die weitere Verwendung freigegeben. In der gleichen Art und Weise werden auch tonige Rohstoffe für Einsatzgebiete außerhalb der Keramik hergestellt.

Ein nennenswerter Anteil dieser standardisierten und homogenisierten Tone wird in Tontrocken- und Mahlwerken zu Mahltonen, keramischen Massen und Compounds für Anwendungen außerhalb der Keramik weiter verarbeitet. Der Versand dieser Produkte erfolgt lose (Silo-LKW) oder in Säcken.

Gerade größere Ton-Abbauunternehmen gehen zunehmend dazu über, komplette keramische Massen in betriebseigenen Anlagen herzustellen und zu vermarkten. Dabei können auch lagerstättenfremde Zusätze (z.B. Farbstoffe, keramische Additive) zugemischt werden, um auf bestimmte Kundenwünsche reagieren zu können. Die keramischen Massen werden pulverförmig oder als Granulat vermarktet [12].

Die Verwirklichung dieser **mehrstufigen Aufbereitungstechnik** im Tonbergbau hat dazu geführt, dass die Lagerstättennutzungsgrade in den letzten zwei Jahrzehnten wesentlich gestiegen sind.

Wegen der mehr oder weniger hohen Plastizität des Rohstoffes Ton sind Ton-Abbaustellen potenziell rutschungsgefährdet. Die **Rutschungsgefährdung** hängt jedoch im Einzelnen von der geologischen Situation ab, u.a. von der Plastizität und Lagerung der Tonschichten, der Mächtigkeit und Ausbildung der auflagernden Schichten, der hydrogeologischen Situation und der Geländemorphologie. Die Rutschungsproblematik kann mit einer darauf abgestimmten Abbauplanung und ggf. begleitenden Sicherungsmaßnahmen im Umkreis des Abbaus in der Regel gut beherrscht oder wenigstens minimiert werden. Wichtig ist jedoch, potenzielle Rutschungsbereiche möglichst bereits im Vorfeld des Abbaus zu erkennen und in die Abbauplanung einzubeziehen. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende und fachlich fundierte Erkundung der Lagerstätte, zu der auch ingenurgeologische Vorerkundungen und ggf. Standsicherheitsgutachten gehören.

Zur Minimierung der Rutschungsgefährdung im Randbereich eines Abbaus (oder bei geringen Lagerstättenmächtigkeiten von ca. 8-10 m mit begrenzter Anzahl an einzelnen Tonsorten) wird zum Teil das sog. **Kassettenabbauverfahren** angewendet: Dabei wird eine für ein Abbaujahr ausreichend große „Kassette“ geöffnet, in kurzer Zeit – i.d.R. während einer sommerlichen Trockenwetterperiode – vollständig abgebaut und sofort danach wieder mit Abraum verfüllt. Die Außenböschungen der Kassette können dabei viel steiler als im Normalfall – fast senkrecht – gestellt werden, da die Böschungen nur wenige Wochen bis zur Wiederverfüllung standfest bleiben müssen. Der Bedarf an offener Tagebaufläche wird dadurch zusätzlich reduziert. Auf diese Weise kann auch die Rekultivierung der abgebauten Tagebaubereiche wesentlich früher beginnen. Das Kasset-

tenabbauverfahren kann daher nicht nur die Rutschungsproblematik im Tagebau deutlich einschränken, sondern auch einen möglichen Kompromiss zwischen den Interessen des Rohstoffabbaus und des Natur- und Landschaftsschutzes darstellen (vgl. [13],[14]).

Die hessischen illitischen bis kaolinitischen Tonrohstoffe werden zum größten Teil in der keramischen Industrie und der Ziegeleiindustrie eingesetzt (Abb. 5). Hier bilden sie wesentliche Rohstoffe für die Herstellung von Fein- und Grobkeramik für den häuslichen, aber auch den industriellen und technischen Bereich. Feuerfeste Tone werden für verschiedenste Feuerfest-Produkte und feuerfeste keramische Massen verwendet, v.a. für industriell-technische Einsatzgebiete.

Daneben finden hessische Tonrohstoffe in Umweltschutz und Geotechnik Verwendung, insbesondere als natürliche Barrieren und Abdichtmaterialien. Auch als Füllstoffe und Additive z.B. für Kunststoffe, verschiedenste Baustoffe und Farben werden Tonrohstoffe verwendet. Smektitische Tonrohstoffe werden v.a. zur Bodenverbesserung, beim Bohren und Ausbau von Brunnen oder Erdwärmesonden sowie für die Herstellung von Blumenerden und Katzenstreu verwendet.

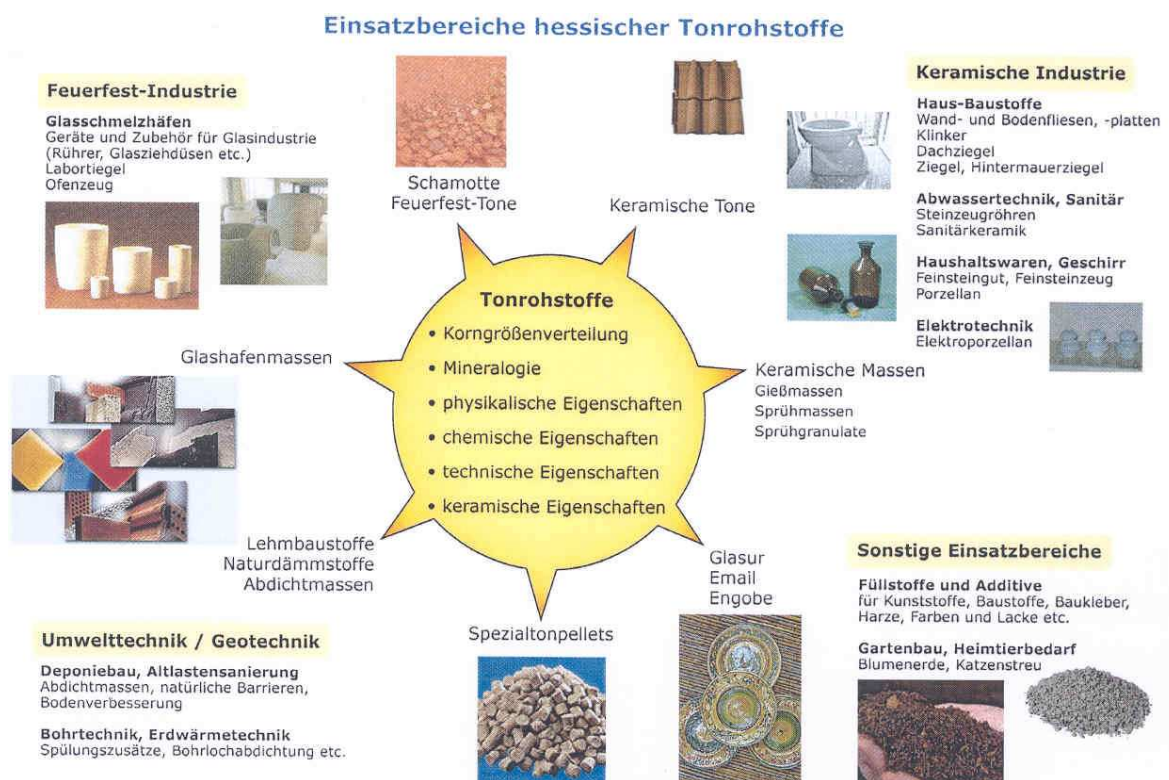


Abb. 5: Einsatzbereiche hessischer Tonrohstoffe



## 7. Vorräte und Rohstoffsicherung

Derzeit sind rund 160 km<sup>2</sup>, d.h. 0,8 % der Landesfläche Hessens, in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUg als Rohstoffsicherungsgebiete für Tonrohstoffe ausgewiesen, davon ca. 13 km<sup>2</sup> als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“.

Eine Abschätzung der Vorräte an Tonrohstoffen in Hessen ist aufgrund der überaus großen Vielfalt dieser Rohstoffgruppe kaum möglich. Quantitativ verfügt Hessen über ausreichend Reserven an Tonrohstoffen, deren Bauwürdigkeit jedoch von verschiedenen v.a. wirtschaftlichen Faktoren abhängt und zeitlich stark schwanken kann (s.u.). Qualitativ, d.h. unter Berücksichtigung der spezifischen Rohstoffeigenschaften und Qualitätsanforderungen, sind jedoch nicht für alle Tonrohstoffe ausreichend Reserven vorhanden: Bestimmte Spezialtone sind bereits heute „Mangelware“, und die verbliebenen Vorräte sind entsprechend besonders wertvoll.

Generell wird die Bauwürdigkeit einer Ton-Lagerstätte sehr stark von dem Inhalt an spezifischen Einzelrohstoffen geprägt. Für eine rentable Rohstoffgewinnung muss ein ausreichend großer Lagerstättenanteil in den unterschiedlichen Einsatzfeldern wirtschaftlich zu vermarkten sein. Wegen der intensiven Fortentwicklung in den Einsatzfeldern kann sich die Beurteilung der Bauwürdigkeit innerhalb von einigen Jahren deutlich ändern. Derzeit noch nicht genutzte, noch nicht überbaute Lagerstätten müssen daher für einen zukünftigen Abbau verfügbar bleiben.

Konkurrierende Nutzungen der hessischen Ton-Lagerstätten hängen insbesondere von der Besiedlungsdichte des jeweiligen Raumes ab: In dicht besiedelten Gebieten, wie beispielsweise dem Großraum Frankfurt – Rhein-Main oder auch dem Raum Gießen, stellen insbesondere Bebauung und Verkehrswege konkurrierende und z.T. bereits überlagernde Nutzungen dar. Dagegen sind in weniger dicht besiedelten Bereichen, z.B. im Westerwald, vorwiegend Landwirtschaft, Forst und Naturschutz konkurrierende Nutzungen. Unabhängig von der Besiedlungsdichte tritt der Grund- bzw. Trinkwasserschutz häufig in Konkurrenz mit einem Abbauvorhaben auf. Liegt eine Ton-Lagerstätte in einem Wasserschutzgebiet (Zone 3), wird bei Abwägungen über einen möglichen Abbau v.a. die Verminderung der Tonmächtigkeit und damit der grundwasserüberdeckenden Schichten betrachtet. Tone und tonige Gesteine schützen als wasserstauende bis wasserundurchlässige Schichten die unter ihnen liegenden Grundwasserleiter vor schädlichen Oberflächeneinflüssen. Falls für den Tonabbau grundwasserleitende Deckschichten entfernt werden müssen (z.B. Basaltgestein oder Sande/Kiese), so müssen auch die dadurch herbeigeführte Reduzierung des Grundwasserleitervolumens sowie daraus folgende potenzielle quantitative oder qualitative Beeinträchtigungen des Grundwassers berücksichtigt werden.

## **8. Transportlage**

Die hessischen Lagerstätten keramischer Rohstoffe sind durch das insgesamt dichte Straßen- und Schienennetz alle mehr oder weniger gut an Transportwege angebunden. Bei der Erschließung einer Ton-Lagerstätte muss in der Regel jedoch die Anbindung an das Landes- oder Bundesstraßennetz hergestellt oder für den Güterverkehr ausgebaut werden.

Der Abtransport des Rohtons erfolgt ausschließlich per LKW. Nachgeschaltet werden auch Bahn und z.T. Schiff als Transportmittel genutzt.

## **9. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme**

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der hessischen Tonrohstoffe lässt sich nicht pauschal benennen, sondern hängt von der Rohstoffqualität, der Lagerstättenprovinz und nicht zuletzt von temporär wechselnden wirtschaftlichen Faktoren ab. In der Regel – aber nicht generell – werden Tone, die tonmineralogisch und/oder von der Korngrößenzusammensetzung her besonders rein sind, wegen ihrer besonderen Eigenschaften über weitere Strecken transportiert als „Ziegeleitone“ oder Tone mit heterogener Zusammensetzung. Während jedoch in früherer Zeit Tonrohstoffe, insbesondere Lehme, für die lokale Versorgung mit Baumaterial abgebaut wurden, dienen die heute in Abbau stehenden hessischen Ton-Lagerstätten ausnahmslos der Rohstoffversorgung einer größeren Region. Das Rohmaterial wird dabei entweder vorwiegend in einem einzigen Betrieb zur Fertigung keramischer Erzeugnisse verwendet (Gewinnungsstelle eines weiterverarbeitenden Betriebes), oder es wird vom Abbaubetrieb an verschiedene weiterverarbeitende Betriebe der näheren oder auch weiteren Umgebung verkauft.

Stoffströme hessischer Tonrohstoffe sind nicht im Einzelnen erfasst. Generell finden Exporte aus den Lagerstättenregionen mit in Gewinnung stehenden Tonvorkommen in tonärmere Bereiche Hessens und Deutschlands statt. Lagerstättenregionen mit stark ausgebildeter Tongewinnung (z.B. Westerwald) exportieren Rohton oder gewinnungsnah produzierte Tonprodukte nicht nur in andere Bundesländer, sondern auch europa- oder sogar weltweit.

Nähere Angaben zur volkswirtschaftlichen Bedeutung der hessischen Tonrohstoffe sowie zu ihren Transportwegen bzw. Stoffströmen finden sich in den nachfolgenden Kapiteln zu den einzelnen Lagerstättenregionen.

## **10. Folgenutzung**

Nach der Tongewinnung wird in der Regel die Verfüllung und Rekultivierung des ehemaligen Abbaubereiches und die Wiedernutzbarmachung für die ursprünglichen Nutzer angestrebt, meist

für die Land- und Forstwirtschaft. Dabei sollen die typischen Landschaftselemente der Region möglichst wiederhergestellt werden; häufig werden in Teilbereichen Stillgewässer angelegt. In Ortsnähe bzw. in dichter besiedelten Räumen dienen ehemalige Tontagebauareale auch oft als Gewerbe- bzw. Bebauungsgebiete. Die Nutzung ehemaliger Tongruben als Deponien war in früherer Zeit sehr verbreitet, wird jedoch seit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschaftsgesetzes 1996 i.d.R. nicht mehr vorgesehen.

Zur **Verfüllung** einer Tongrube oder von Teilbereichen werden neben eigenem Abraummateriale z.T. auch Fremdmassen angenommen, v.a. Erdaushub aus Bauprojekten der näheren oder auch weiteren Umgebung. Zum Schutz des Grundwassers und des Bodens muss vor dem Einbau nachgewiesen werden, dass die Fremdmassen bestimmte chemische Grenzwerte erfüllen. Der Einbau von Erdaushub bei der vorgeschriebenen Rekultivierung eines Tagebaus gilt abfallrechtlich als stoffliche Verwertung mineralischer Abfälle, für die nach dem sog. „Tongrubenurteil“ des Bundesverwaltungsgerichts vom 14. April 2005 die Vorschriften des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) zu beachten sind. Auf die daraus möglicherweise entstehenden Probleme und Konsequenzen für die Verfüllpraxis von Abbaubetrieben wird im allgemeinen Teil des Rohstoffsicherungskonzepts eingegangen.

In die Pläne zur **Rekultivierung** fließen im Allgemeinen auch naturschutzfachliche Aspekte ein, so dass für Teilbereiche eine ökologische Aufwertung vorgesehen ist. Tonabbaubereiche zeichnen sich ökologisch meist durch extreme Standortbedingungen aus, z.B. Wasserarmut, Staunässe und temporäre oder dauerhafte Stillgewässer, dichte Böden und starke Erwärmung bei Sonneneinstrahlung. Auf kleinem Raum bildet sich eine Vielfalt unterschiedlichster Lebensräume aus. Solche Extremstandorte besitzen eine hohe naturschutzfachliche Bedeutung, weil sie geeignete Primärlebensräume für spezialisierte Arten und Lebensgemeinschaften bieten. In optimal renaturierten Tonabbaubereichen ist daher eine besonders hohe Artendiversität zu finden [15]. Typische Bewohner ehemaliger Tontagebaue sind Amphibien wie Laubfrosch, Kammmolch oder Feuersalamander.

Im stark wasserstauenden Boden von Ton-Lagerstätten können beispielsweise durch die Anlage von kleineren Flachgewässern Lebensräume für bestimmte Tier- und Pflanzenarten geschaffen werden. Bereits während der Abbauphase entstehen temporäre oder auch dauerhafte Flachgewässer, die als Laichgewässer z.B. von der Kreuzkröte oder der Gelbbauchunke genutzt werden, solange sie nicht bewachsen sind. Werden diese Gewässer einige Monate sich selbst überlassen, folgen auf die Primärbesiedler im Zuge einer natürlichen Vegetationsentwicklung andere Pflanzen- und Tierarten, welche die Primärbesiedler z.T. verdrängen. Gerade in noch betriebenen Tonabbaubereichen ist jedoch durch die Abbautätigkeit gesichert, dass neue Flachgewässer entstehen und für die Pionierarten als Lebensraum zur Verfügung stehen. Aufgrund dieser räumlichen Verlagerung der einzelnen Biotoptypen spricht man auch von „Wanderbiotopen“.



Abb. 6: Abschnittsweise Verfüllung und Rekultivierung neben laufendem Abbau (Tagebau Wimpfsfeld, Mengerskirchen; Foto: HLUG, 2005)

Die Rekultivierung eines Tontagebaus erfolgt gerade bei größeren Lagerstätten abschnittsweise (Abb. 6). So befinden sich abgebaute Teilbereiche der Lagerstätte bereits in Rekultivierung, während andere Abschnitte gerade abgebaut werden. Auf diese Weise wird der Flächenbedarf der Tongewinnung auch bei großen Lagerstätten möglichst gering gehalten. Werden in den Rekultivierungsabschnitten naturschutzfachliche Maßnahmen verfolgt, ergibt sich die Notwendigkeit, bereits während des Tagebaubetriebes bestimmte ökologische Aspekte – beispielsweise des Artenschutzes – zu beachten. Eine für beide Seiten verträgliche Einigung zwischen Naturschutz und Rohstoffabbau wird in aller Regel erreicht, nicht zuletzt aufgrund der Erkenntnis, dass gerade der Rohstoffabbau zur Schaffung ökologisch wertvoller Biotoptypen beitragen kann (s.o.) – und dies in der Vergangenheit auch bereits getan hat. Immer mehr Abbaubetreiber legen auch Wert auf öffentlich wahrnehmbaren betrieblichen Umweltschutz und dokumentieren die von ihnen geschaffenen Biotope und deren Entwicklung z.B. in Umweltberichten (z.B. [13],[14]). Weitere gute Beispiele für die Vereinbarkeit von Tonabbau mit Naturschutz finden sich in der Studie „Tonabbau und Naturschutz in der Ziegelindustrie“ [15].

## **11. Lagerstättenregionen hessischer Tonrohstoffe**

### **11.1. Westerwald**

#### **11.1.1. Lage**

Das Westerwälder Tonrevier erstreckt sich über den gesamten Süd- und Ostrand des Westerwaldes von Höhr-Grenzhausen (Rheinland-Pfalz) über Dornburg und Waldbrunn bis nach Haiger [16]. In Hessen liegt nur der kleinere, östliche Anteil des Reviers, der größere Anteil liegt in Rheinland-Pfalz (s. Abb. 1).

#### **11.1.2. Untersuchungsstand**

Die Westerwälder Ton-Lagerstätten sind vergleichsweise sehr gut erkundet, ihre Lage ist grundsätzlich bekannt. Für den weitaus größten Teil liegen detaillierte Kenntnisse durch Kernbohrungen oder früheren untertägigen Abbau vor. Für den Abbau vorgesehene neue Lagerstättenbereiche werden in der Regel mittels Kernbohrungen und anschließenden geochemischen und keramiktechnischen Analysen sehr detailliert untersucht, so dass Lagerstättenaufbau und vorhandene Tonqualitäten bereits vor Beginn des Abbaus bekannt sind. Welche Parameter im Einzelnen untersucht werden, hängt stark von den jeweiligen Abbauunternehmen und den vorgesehenen Anwendungsfeldern ab.

Über die Westerwälder Ton-Lagerstätten existieren zahlreiche geologische und lagerstättenkundliche Veröffentlichungen (z.B. [16] - [24]). Die amtlichen geologischen Karten im Maßstab 1:25.000 beruhen ausnahmslos auf Kartierungen des 19. und frühen 20. Jahrhunderts. Für überregional vertriebene Tonsorten liegen öffentlich zugängliche Materialanalysen vor (z.B. der Deutschen Keramischen Gesellschaft, DKG).

#### **11.1.3. Geologie und Mineralogie**

Der Tonabbau konzentriert sich im hessischen Teil des Westerwaldes vorwiegend auf illitisch-kaolinitische Tone des Alttertiärs (Eozän, z.T. Unter-Oligozän; vgl. Tab. 1). In wesentlich geringem Umfang werden daneben auch smektitische Tone bzw. Bentonite des Ober-Oligozäns (höchstes Alttertiär) gewonnen (Abb. 7). Tone des Pliozäns (jüngstes Tertiär) werden im hessischen Teil des Westerwaldes derzeit nicht abgebaut.

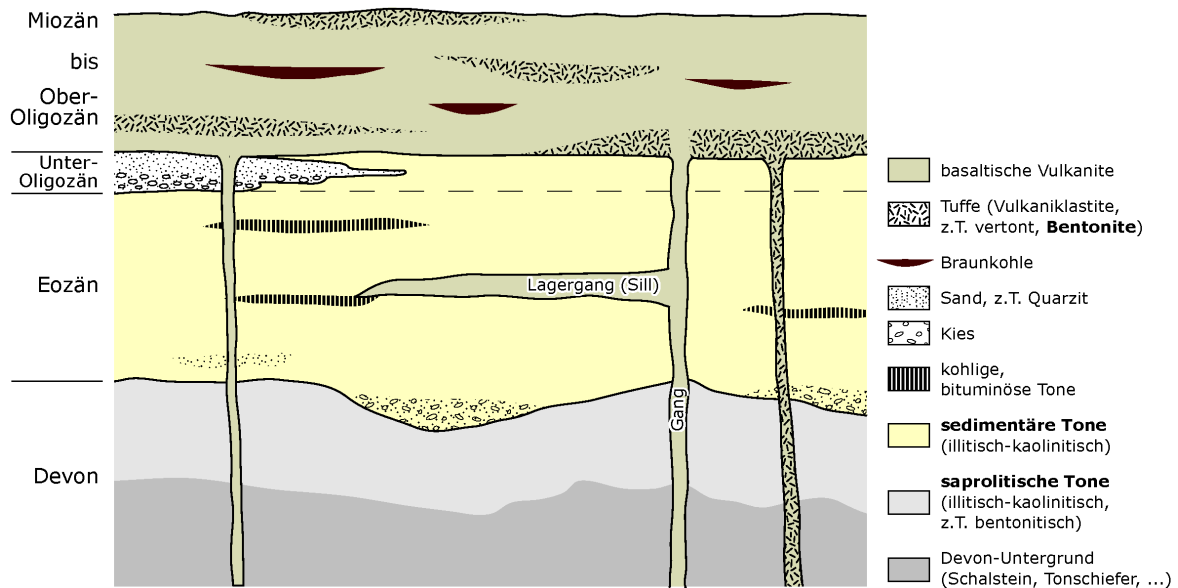


Abb. 7: Schema der Westerwälder Ton-Lagerstätten

### ***Illitisch-kaolinitische Tone („Westerwälder Tone“)***

Illitisch-kaolinitische Tone treten im Westerwald in zwei Lagerstätten-Typen auf: als Saprolit-Lagerstätten und als sedimentäre Tone. Derzeit werden überwiegend die sedimentären Ton-Lagerstätten oder kombinierte Lagerstätten (mit sedimentären und saprolitischen Tonen) genutzt. Die derzeit betriebenen knapp 20 Abbaustellen weisen Rohstoffmächtigkeiten von 10 m bis über 60 m aus. Abraummächtigkeiten sind i.d.R. gering (wenige Meter), können im Einzelfall jedoch bis über 40 m betragen.

Die **Saprolit-Lagerstätten** entstanden während der mesozoisch-tertiären Verwitterungsphase aus Gesteinen des Devons und Karbons, und zwar überwiegend aus Tonschiefern, Metabasalten („Diabasen“) oder Metavulkaniklastiten („Schalsteinen“; s. Kap. Geologie und Mineralogie der Einführung). In der Regel hat sich ein zonierter Lagerstättenaufbau ausgebildet: Die oberen Zonen sind am stärksten verwittert und mit zunehmender Teufe geht der Umwandlungsgrad zurück, bis schließlich das Ausgangsgestein unverändert vorliegt. Strukturen des Ausgangsgesteins (z.B. Schieferung von Tonschiefern, Pillowstrukturen von Metabasalten) sind auch in den stark zersetzten Zonen eines Saprolits z.T. noch gut erhalten. In Bezug auf die Redoxverhältnisse kann innerhalb eines Saprolits eine Oxidationszone von einer darunter liegenden Reduktionszone unterschieden werden (z.B. [1], [25]).

Sofern die Oxidationszone nicht bereits durch Erosion abgetragen wurde, liegt sie als weiß bis hellgelblich-grau gebleichter, bei etwas höheren Eisengehalten als hellgelblich bis hellrötlich brauner Rohstoffkörper vor. Ihre Mächtigkeit kann bis zu 60 m betragen, liegt aber meist zwischen 15 und 13 m. Primäre organische Substanz und Sulfide sind hier oxidiert, primäre Karbonate sind gelöst. Eisen liegt in oxidiert Form vor ( $\text{Fe}^{3+}$  bzw.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Die Intensität der Enteisung schwankt innerhalb der Oxidationszone, z.T. wurde Eisen auch lateral wieder zugeführt, so dass rote bis violette Farben entstehen. Der Mineralbestand der Oxidationszone ist durch Tonminerale aus der Kaolinit- sowie der Glimmergruppe geprägt, daneben treten immer nen-

nenswerte Quarzgehalte auf. Feldspäte sind aufgrund der intensiven Verwitterung (Kaolinisierung) in dieser Zone nicht mehr enthalten.

Im meist nur wenige Meter mächtigen Übergangsbereich zur darunter liegenden Reduktionszone liegt Eisen überwiegend in reduzierter Form ( $\text{Fe}^{2+}$  bzw.  $\text{FeO}$ ) vor, was zu grünen bis olivgrünen Farben führt. Die Eisengehalte liegen bei 8 bis >10 %. In dieser Zone können im Gegensatz zu den oberen noch nennenswerte Gehalte an Feldspäten enthalten sein.

Die Reduktionszone einer Saprolit-Lagerstätte zeichnet sich durch dunklere Farbe (je nach Ausgangsgestein) sowie die Erhaltung ggf. vorhandener primärer organischer Substanz, Sulfiden und Karbonaten aus. Ihre Mächtigkeit kann stark schwanken, z.T. fehlt die Reduktionszone auch vollständig. Die Tonmineralzusammensetzung wird von Glimmern und Kaolinit geprägt, mit nach unten zunehmenden Anteilen an Chloriten und Wechsellagerungsmineralen.

Neben der beschriebenen mesozoisch-tertiären Verwitterung waren z.T. auch aufsteigende  $\text{CO}_2$ -reiche Wässer Ursache der intensiven Alteration der paläozoischen Gesteine. Die Aufstiegswege dieser Wässer sind meist an tiefreichende Störungszonen gebunden. Die Gesteine können dann bis mindestens 500 m unterhalb der Tertiärbasis zersetzt (kaolinisiert) sein, und die oben beschriebene vertikale Zonierung fehlt dann. Der hydrothermale Zersatz findet ausschließlich unter reduzierenden Bedingungen statt, z.T. kann später von der Geländeoberfläche eine Oxidation ausgehen [25].

Die **sedimentären Ton-Lagerstätten** des Westerwaldes entstanden im Alttertiär (Eozän, untergeordnet im Unter-Oligozän) durch Abtragung der oben beschriebenen mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecke und Ablagerung des tonigen Materials in einer Vielzahl von größeren und kleineren Süßwasser-Becken. Folglich sind auch die sedimentären Tone illitisch-kaolinitisch geprägt, können jedoch Beimengungen weiterer Tonminerale aus anderen abgetragenen Gesteinen enthalten (s.u.) oder in einzelnen Lagen kaolinitisch dominiert sein. Die eozänen Tone bilden den Hauptteil der Lagerstätten, sie sind relativ fest und weisen z.T. spröde Bruchstrukturen auf. Dagegen sind die bereichsweise auflagernden unteroligozänen Tone i.A. wesentlich weicher und zeigen z.T. plastische Verformungen. Zum Teil sind auch unteroligozäne Quarzsande und -kiese eingeschaltet, in denen Einkieselungsquarzite vorkommen, die z.T. ebenfalls abgebaut werden („Findlingsquarzite“, siehe Fachbericht Natur- und Naturwerksteine). Die Ton-Vorkommen werden häufig überlagert von oberoligozänen bis miozänen, z.T. auch pliozänen Vulkaniten und Vulkaniklastiten (Tuffen). Basaltische Tuffe sind zum Teil zu Bentonit zersetzt (s.u.), der potenziell als Nebenprodukt der Tongewinnung abgebaut werden kann. Das Liegende der sedimentären Ton-Lagerstätten bilden Gesteine des Devons und Karbons. Sind diese im oberen Bereich kaolinitisch zersetzt, kann die sedimentäre Ton-Lagerstätte nach unten in eine Saprolit-Lagerstätte (s.o.) übergehen.

Die einzelnen Lagerstätten sedimentärer illitisch-kaolinitischer Tone sind im Westerwald in der Regel durch einen vielschichtigen Aufbau charakterisiert. Die Rohstoffparameter variieren innerhalb einer Schicht im Lagerstättenmaßstab nur wenig, können aber von Schicht zu Schicht stark voneinander abweichen.

Hauptgemengteile der Westerwälder Tone sind Tonminerale der Kaolinitgruppe, Illit, Hydroglimmer und Quarz. Nachgeordnet treten Smektite und akzessorische Minerale auf, wie z.B. Eisenoxide, Eisensulfide (Pyrit bzw. Markasit) oder unverwitterte Feldspäte. Die mineralogische Zusammensetzung der Westerwälder Tone reicht je nach Mischungsverhältnis der Hauptgemengteile von sehr reinen („fetten“) Tonen, die nahezu vollständig aus Tonmineralen und Glimmer bestehen und nur marginale Anteile freien Quarzes und akzessorischer Mineralien aufweisen, bis hin zu Magertonen mit rund 20 % Tonmineral- und 80 % Quarzgehalten (vgl. Tab. 4).

Geochemisch sind die Westerwälder Tone aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{SiO}_2$  sowie  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , untergeordnet auch  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  und  $\text{Na}_2\text{O}$  zusammengesetzt. Die verschiedenen Schichten einer Lagerstätte können – entsprechend der mineralogischen Variationsbreite – deutliche Unterschiede in der geochemischen Zusammensetzung aufweisen (vgl. Tab. 4). So können beispielsweise die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalte der Tone einer Lagerstätte zwischen 10 und 38 Gew.-% variieren, die  $\text{K}_2\text{O}$ -Gehalte zwischen 0,3 und 3 % und die  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Gehalte zwischen 0,5 und mehr als 10 %.

### ***Bentonite des Westerwaldes***

Bentonite sind smektitreiche Tone, die sich in ihrer mineralogischen Zusammensetzung und ihren Eigenschaften grundsätzlich von den oben beschriebenen illitisch-kaolinitischen Tonen unterscheiden (s. Kap. 4). In den derzeit in Abbau befindlichen Bentonit-Lagerstätten des Westerwaldes liegen die bentonitischen Tone als in-situ-Verwitterungsbildung v.a. aus Vulkaniklastiten („Tuffen“) des Tertiärs und aus Metavulkaniklastiten („Schalsteinen“) des Unterkarbons vor.

Die Mächtigkeit der Bentonitlager variiert lateral und kann bis zu 10 Metern betragen. Die Abraummächtigkeit schwankt in der Regel zwischen 2 und 10 m, kann jedoch auch 20 m und mehr betragen. In diesem Fall hängt die Bauwürdigkeit der Lagerstätte von der Qualität und dem aktuellen Marktwert der einzelnen Tonrohstoffe ab.

Häufig stehen im Liegenden dieser Bentonit-Lagerstätten auch sedimentäre illitisch-kaolinitische Tone an, die ebenfalls abgebaut werden.



Tab. 4: Beispiele für unterschiedliche Zusammensetzungen von Tonen des Westerwaldes (KF: Beispiel für fetten illitisch-kaolinitischen Ton aus der Lagerstätte Beilstein, [16]; KM: Beispiel für illitisch-kaolinitischen Magerton aus der Lagerstätte Langenaubach, [16]; B: Beispiel für Bentonit, Firmenprospekt)

Korngrößen [%]	Korngrößen			Mineralogie [%]	Korngrößen			Geochemie [%]	Korngrößen		
	KF	KM	B		KF	KM	B		KF	KM	B
Ton (< 0,002 mm)	96,4	55,7	27,1	Kaolinit-Minera-le	70	30	18	SiO <sub>2</sub>	46,3	71,5	54,3
Schluff (0,002–0,063 mm)	3,3	38,7	52,4	Illit u.a. Glimmer-Minera-le	13	18	13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,7	17,8	24,9
Sand (0,063–2 mm)	0,3	5,6	18,4	Quarz	6	47	4	TiO <sub>2</sub>	2,56	1,76	3,1
Kies (> 2 mm)	-	-	2	Feldspäte	-	3	-	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,58	0,48	13,2
				Smektit	8	2	50	Na <sub>2</sub> O	0,24	0,31	0,2
				Hämatit	3	-	12	K <sub>2</sub> O	0,94	1,47	3
				u.a. Fe-Minera-le				CaO	0,48	0,28	0,5
				sonstige	-	-	3	MgO	0,28	0,39	0,8
								SO <sub>3</sub>	k.A.	k.A.	-
								Glüh-verlust	14,5	5,6	8,5 (oben bereits ver-rech-net)

#### 11.1.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

##### *Illitisch-kaolinitische Tone („Westerwälder Tone“)*

Das Spektrum der Westerwälder Tone reicht je nach Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt von fett bis mager, aber auch hoch-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-haltige Tone mit bis über 38 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kommen vor. Insgesamt sind die Westerwälder illitisch-kaolinitischen Tone gut bildsame, dichtbrennende Tone mit breitem Sinterintervall. Die Sinterfähigkeit der Westerwälder Tone ist auf Grund der hohen Flussmittelgehalte recht intensiv. Die Brennfärbungen variieren von weiß bis creme bei den weiß gebleichten, eisenarmen Tonen („weißbrennende Tone“) über graubraun bei den Tonen mit mittleren Eisengehalten bis hin zu braun oder intensiv rot bei den höher eisenhaltigen Sortierungen („rotbrennende Tone“). Tab. 5 verdeutlicht die Variabilität der technischen Eigenschaften von Westerwälder Tonen an zwei Beispielen.

Die wichtigsten chemischen Parameter der Westerwälder Tone sind die Anteile an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> und TiO<sub>2</sub>. Daneben sind MgO, CaO und Na<sub>2</sub>O von Bedeutung. Diese Hauptparameter sowie unter Umständen eine Reihe weiterer kunden- bzw. lieferantenspezifische Parameter werden zur Rohstoffbeschreibung und zur Gestaltung der Versätze in der Produktion benutzt. Bei Verwen-

nung in der Keramik sind die Gehalte an Alkalien und Erdalkalien (Kalium, Natrium, Magnesium, Kalzium) entscheidend für das Verhalten beim keramischen Brand, insbesondere für den Grad der Sinterung.

### ***Bentonite des Westerwaldes***

Die Bentonite des Westerwaldes sind Ca-Mg-dominiert (s. Tab. 4). Sie zeichnen sich durch hohe Plastizität aus. Aufgrund ihres hohen Eisen- und Titangehalts brennen sie braun (Tab. 5). Ihre Verwendung liegt jedoch vorwiegend nicht im keramischen Bereich (s.u.).

Tab. 5: Technische Eigenschaften von Tonen des Westerwaldes  
 (KF: Beispiel für fetten illitisch-kaolinitischen Ton aus der Lagerstätte Beilstein, [26]; KM: Beispiel für illitisch-kaolinitischen Magerton aus der Lagerstätte Langenaubach, [27]; B: Beispiel für Bentonit, Firmenprospekt)

	KF	KM	B
Plastizitätszahl (Pfefferkorn)	50,7	29,2	k.A.
Anmachwasserbedarf	48,5 gH <sub>2</sub> O/100g	27,5 gH <sub>2</sub> O/100g	37,0 %
Trockenschwindung	7,6 %	4,9 %	11,5 %
Trockenbiegefestigkeit	3,26 ± 0,09 N/mm <sup>2</sup>	3,95 ± 1,47 N/mm <sup>2</sup>	8,0 N/mm <sup>2</sup>
Brennfarbe	je nach Brenntemperatur weiß-creme, weiß-grau, gelb-grau	je nach Brenntemperatur weiß-hellbeige-hellgrau	braun
max. Brennschwindung	14,1 % bei 1300 °C	5,6 % bei 1300 °C (für T > 1300 °C k.A.)	n.b.
offener Porenraum nach Brennen	0 % nach Brennen bei 1400 °C	0,9 % nach Brennen bei 1300 °C (für T > 1300 °C k.A.)	n.b.
Seegerkegelfallpunkt	SK 33/34	SK 27/28	n.b.

Qualitätskriterien für die im Westerwald abgebauten Spezialtone lassen sich kaum pauschal benennen. Der Grund hierfür liegt v.a. in der sehr differenzierten Zusammensetzung der Lagerstätten mit 10 bis 20 Tonsorten und der daran angepassten selektive Abbauweise (s. Kap. 6). Die einzelnen Tonsorten fließen häufig in verschiedene Produktgruppen ein, d.h. unterschiedliche Keramiksparten mit jeweils unterschiedlichen Bewertungsmaßstäben, so dass für die gesamte Lagerstätte nicht ein einzelner Bewertungsmaßstab angelegt werden kann.

Für das Erreichen der Bauwürdigkeit muss ein ausreichend großer Lagerstättenteil einen ausreichend großen Ertrag abwerfen, wobei die Erlöse pro Tonne bei den einzelnen Tonsorten weitaus stärker variieren als bei anderen Rohstoffen. Einzelne gut marktgängige und relativ hochpreisige Tone sind für die Bauwürdigkeit einer Lagerstätte wesentlich stärker prägend als weniger markt-gängige. Die Marktgängigkeit von Tonsorten wird u.a. auch durch z.T. sehr schnelllebige Faktoren beeinflusst, wie z.B. Modeerscheinungen im Fliesen-Design oder die immer zügigere Entwicklung der keramischen Technologie.

Vor diesem Hintergrund sind einfache, zusammenfassende Bewertungskriterien, wie z.B. das Abraum-Ton-Verhältnis, zwar auch wichtig für die Bauwürdigkeit einer Ton-Lagerstätte im Westerwald, jedoch bei Weitem nicht so entscheidend für die Lagerstättenbewertung wie bei anderen Rohstoffen. Bei der Bewertung einer Spezialton-Lagerstätte ist deshalb neben den objektiven, geologisch-technischen Maßstäben auch die subjektive Einschätzung des Abbaunternehmers entscheidend, in die häufig jahrzehntelange Erfahrung und Kenntnis der speziellen Absatzmöglichkeiten und -märkte einfließen.

### 11.1.5. Abbausituation und Verwendung

Die **illitisch-kaolinitischen Tone** des Westerwaldes („Westerwälder Tone“) werden heute ausschließlich im Tagebau gewonnen, üblicherweise im selektiven Abbaufahren mit mehrstufiger Aufbereitungstechnik (s. Kap. 6). Auch das Kassettenabbaufahren wird im Westerwald angewendet, insbesondere in den Randbereichen der Tagebaue (s. Kap. 6). Untertägiger Abbau wurde im hessischen Teil des Westerwaldes bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts betrieben. Reste alter Stollensysteme werden zum Teil in heutigen Tagebauen angetroffen.

In Lagerstätten, in denen neben illitisch-kaolinitischen Tonen auch andere Rohstoffe vorkommen – im Westerwald insbesondere Bentonite und/oder basaltische Vulkanite im Hangenden der Tone, z.T. auch Einkieselungsquarzite (s.o.) –, werden diese z.T. ebenfalls gewonnen (Abb. 8). Dazu ist jedoch eine Anpassung des Abbaufahrens und der Abbauführung sowie der Aufbereitung notwendig. Dies ist bei kombinierter Gewinnung von Ton und Naturstein (Basalte oder Einkieselungsquarzite) offenkundig. Auch die Gewinnung von Bentonit neben illitisch-kaolinitischen Tonen erfordert jedoch eine spezielle Anpassung der Abbauführung und der Aufbereitung, insbesondere die saubere Trennung der beiden Tonrohstoffe, da Verunreinigungen des einen im Aufbereitungsgang des anderen zu erheblichen Beeinträchtigungen führen können.



Abb. 8: Ton- und Quarzabbau unter überlagernden Basalt- und Tuffschichten in der Grube Stoß, Haiger-Langenaubach (Fotos: HLUg, 2000)

Westerwälder Tone werden zu etwa 70–80 % in der keramischen Industrie verwendet. Die weiß bis hell brennenden Sortierungen der Westerwälder Tone werden überwiegend in der Feinkeramik eingesetzt, die farbig brennenden Sortierungen schwerpunktmäßig in der Grobkeramik. Aufgrund steigender Qualitätsanforderungen an Ziegeleiprodukte werden rotbrennende Westerwälder Tone zunehmend auch als Zusätze zur Veredelung von Ziegeleitononen verwendet. Ein Teil der farbig brennenden Tone geht auch in den Deponiebau, da sie mitgewonnen werden, aber für die hochwertigen Einsatzbereiche nicht oder nur bedingt geeignet sind. Etwa 10–15 % der Westerwälder Tone finden in der Feuerfestindustrie Anwendung. Auch Füllstoffe und Bodensubstrate werden z.T. aus Westerwälder Tonen hergestellt.

Die Tone der Saprolit-Lagerstätten stellen aufgrund ihrer besonderen Eigenschaftspalette günstige Ergänzungsrohstoffe für sedimentäre Westerwälder Tone, aber auch für lokale Lagerstätten in Westdeutschland und im angrenzendem Ausland dar.

**Bentonite** werden derzeit nur in wenigen Lagerstätten des Westerwaldes als Hauptrohstoff abgebaut. Verwendung finden sie v.a. bei der Herstellung von Katzenstreu und als Bodenverbesserer im Gartenbau, aber auch als Deponieabdichtung, in der Bohrtechnik, bei der Weinreinigung, als Füllstoff in der Arzneimittelproduktion sowie als Sprengmittel beim Marmorabbau.

Bentonite, die in illitisch-kaolinitisch dominierten Lagerstätten vorkommen – meist im Bereich der Abraumschichten –, können potenziell als beibrechender Rohstoff gewonnen werden. Dies wird jedoch häufig nicht realisiert, vor allem weil die Rohstoffeigenschaften der Bentonite in den meisten Lagerstätten zur wirtschaftlichen Verwendung nicht ausreichen. Zudem sind Analyse-, Aufbereitungs- und Fertigungstechnik sowie Produktpalette des Abbaunternehmens auf illitisch-kaolinitische Tone abgestimmt. Die Bentonite werden dann als Abraum- und Verfüllmassen verwendet.

#### **11.1.6. Vorräte und Rohstoffsicherung**

Die Vorratslage der Westerwälder Tone ist schwierig zu fassen. Die geologischen Vorräte sind begrenzt, insbesondere für Westerwälder Tonsorten spezieller Zusammensetzung, für die bereits heute deutliche Versorgungsprobleme auftreten (s.a. Kap. 7). Zusätzlich schränken konkurrierende Nutzungen – v.a. Siedlungsgebiete, Naturschutz, Forst, Grundwasserschutz – die Abbaumöglichkeiten deutlich ein. Detaillierte Zahlen zu den Vorräten der Lagerstätten liegen nur in Einzelfällen vor und unterliegen dem Vertrauensschutz.

Derzeit sind rund 5500 ha der Ton-Lagerstätten des Westerwaldes in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUg als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen, davon 695 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“.

### **11.1.7. Transportlage**

Der östliche Westerwald ist über das dichte Landstraßennetz an das überregionale Straßenverkehrsnetz (A45, B49, A3) angebunden. Der teilweise nachgeschaltete Schiffsverkehr erfolgt über den Rhein ab dem Hafen Bendorf (Rheinland-Pfalz). Darüber hinaus wird ein nennenswerter Teil mit der Bahn transportiert. Die Verladepunkte liegen im Lahntal (Löhnberg) bzw. an verschiedenen Punkten im rheinland-pfälzischen Westerwald.

### **11.1.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme**

Der Westerwald gilt als das weltweit größte bekannte Lagerstättenrevier für keramische Spezialtone [12] und hat europaweite und sogar weltweite Bedeutung:

Der weitaus größte Teil der illitisch-kaolinitischen Westerwälder Tone findet in den o.g. Einsatzfeldern EU-weit Verwendung, z.B. in der italienischen Keramikindustrie. Für sanitärkeramische Rohstoffe entwickelten sich v.a. die Märkte in den osteuropäischen Ländern. Darüber hinaus finden besondere Tone in der Keramikindustrie in Übersee Absatz. Ein vergleichsweise kleiner Teil der Westerwälder Tone wird von der ansässigen keramischen Industrie vor Ort verarbeitet.

Zunehmend höhere Anforderungen an die aus Tonen produzierten Baustoffe erfordern immer kompetentere Rohstoffe. Bei zahlreichen grobkeramischen Lagerstätten in der BRD und umliegenden Staaten sind die Fortentwicklungsmöglichkeiten bei den Produkten aufgrund der lokal vorhandenen Rohstoffe begrenzt. Der Einsatz oder Zusatz von Westerwälder Tonen ermöglicht hier in vielen Fällen wesentliche Schritte in der Produktfortentwicklung.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Westerwälder Tone für die Rohstoffversorgung erstreckt sich demnach von lokal bis international.

Die Westerwälder Bentonite werden vorwiegend lokal bis regional eingesetzt. Sie spielen gegenüber Bentoniten aus Bayern oder dem Mittelmeerraum eine eher untergeordnete Rolle.

## **11.2. Taunus und Limburger Becken**

### **11.2.1. Lage**

Die Ton-Lagerstätten des Tertiärs im Taunus und im Limburger Becken konzentrieren sich v.a. auf den Raum zwischen Limburg, Idstein und Aarbergen (s. Abb. 1). Historisch bedeutende, noch nicht vollständig abgebaute Lagerstätten liegen darüber hinaus im Rheingau bei Geisenheim und Rüdenheim.

In denselben Bereichen sowie entlang des Taunus-Südrandes treten Lösslehme des Quartärs in größerer Mächtigkeit auf.

### **11.2.2. Untersuchungsstand**

Die wenigen heute in Gewinnung stehenden Ton-Lagerstätten des Tertiärs im Taunus und im Limburger Becken sind durch die Betreiber im Abbau- und näheren Erweiterungsbereich durch Bohrungen und Materialanalysen erkundet. Dagegen fehlen moderne Erkundungsergebnisse für die meisten der derzeit nicht genutzten Lagerstätten.

Die rohstoffgeologische Literatur ist überwiegend mehrere Jahrzehnte alt (z.B. [28] - [31]), es gibt jedoch einige moderne Arbeiten (z.B. [32]). Allgemeine geologische Informationen, auch zu den Lagerstätten, finden sich z.B. in [1] sowie in den Erläuterungen zu den amtlichen geologischen Karten 1:25.000 (z. B. [33],[34]). Viele amtliche geologische Karten und zugehörige Erläuterungen sind jedoch im Bereich des Taunus und Limburger Beckens sehr alt und entsprechen nicht mehr dem heutigen Kenntnisstand.

Über die Lagerstätten und den historischen Tonbergbau im Rheingau berichten u.a. [35] - [39].

### **11.2.3. Geologie und Mineralogie**

Im Taunus und Limburger Becken bestehen die meisten Ton-Lagerstätten aus tiefgründig zersetzten Gesteinen des Devons (Saprolite, sog. „mesozoisch-tertiäre Verwitterungsrinde“, MTV; s. Kap. 4). Dabei handelt es sich zum weitaus größten Teil um Tonschiefer (z.B. in den Lagerstätten Kettenbach und Eisenbach, s.u.), z.T. aber auch um Metavulkanite, die in die devonischen Metasedimente eingelagert sind (z.B. Lagerstätte Geisenheim, s.u.). Die als Zersetzungsprodukte dieser Gesteine entstandenen Tone sind demnach illitisch-kaolinitisch dominiert, wobei der Kaolinitanteil vom primären Feldspatgehalt des Ausgangsgesteins abhängt. Die MTV kann im Taunus mehrere Zehnermeter mächtig sein; sie ist insbesondere in Senkungsgebieten bzw. tektonischen Tiefschollen wie dem Limburger Becken, dem Wiesbaden-Diezer Graben und in der Idsteiner Senke noch erhalten, aber auch im Rheingau [40], [41]. Etwa ab dem mittleren Eozän (Tertiär, vgl. Tab. 1) wurde die MTV verstärkt erodiert und in verschiedenen Becken abgelagert, so auch in den o.g. Sen-

kungsgebieten. Daher sind hier neben den saprolitischen Ton-Lagerstätten auch Lagerstätten sedimentärer, ebenfalls illitisch-kaolinitisch dominierter Tone des Tertiärs erhalten geblieben. Insbesondere im Raum Limburg treten Tone des Pliozäns (jüngstes Tertiär) in größeren Mächtigkeiten auf. Derzeit werden jedoch nur die saprolitischen Ton-Lagerstätten genutzt. Der Abraum, meist quartärer Lösslehm, übersteigt in den genutzten Lagerstätten in der Regel Mächtigkeiten von 10 m nicht.

Auch unzersetzte devonische Tonschiefer des Taunus stellen potenzielle Ton-Lagerstätten dar, werden jedoch derzeit nicht für keramische Zwecke genutzt. Tonschiefer kommen weitflächig im Hintertaunus nördlich des Taunuskammes vor (v.a. „Hunsrückschiefer“ des Unter-Devons) sowie in schmalen Schuppen im Vordertaunus südlich des Taunuskammes („Bunte Schiefer“, Phyllite). Im Rheingau wurden verwitterte Tonschiefer früher in kleinen sog. „Schieferkauten“ abgebaut und zur Düngung der Weinberge benutzt.

An den Taunushängen zum Rheintal (Rheingau) kommen tertiäre, marine bis litorale (küstennahe) Sedimente des Mainzer Beckens vor. Hier sind Ton-Lagerstätten als Zwischenlagen in den vorwiegend sandigen Sedimenten des Mittel-Oligozäns (Rupelton und Schleichsand) und des Pliozäns enthalten [33]. Sie werden jedoch derzeit nicht als Rohstoffe genutzt.

Lösse bzw. Lösslehme des Quartärs (Pleistozäns) sind in größerer Mächtigkeit in den o.g. Senkungsgebieten, aber auch an den Hängen größerer Täler sowie am Taunus-Südrand, erhalten geblieben. Sie wurden früher in kleineren Tagebauen (Lehmgruben) ebenfalls gewonnen, v.a. zur Herstellung von Backsteinen und Ziegeln.

Bei den saprolitischen Ton-Lagerstätten des Taunus und Limburger Beckens handelt es sich um tonig-sandige Schluffe, die etwa 25-30 % Tonfraktion gegenüber 20-40 % Sandfraktion aufweisen. Dominierendes Tonmineral ist Illit neben unterschiedlichen Gehalten an Kaolinit (Tab. 6, 7). Daher sind die saprolitischen Tone als illitisch-kaolinitische Tone einzustufen; die im Rohstoffbereich z.T. gebräuchliche Bezeichnung „Kaolin“ sollte hier aufgrund der tonmineralogischen Zusammensetzung nicht verwendet werden.

Die mineralogische Zusammensetzung der saprolitischen Tone – und damit auch die physikalisch-chemischen und technischen Eigenschaften (s.u.) – variieren je nach Art des Ausgangsgesteins und nach dessen Grad der Zersetzung. Letztere nimmt in der Regel nach unten ab, so dass insbesondere der Gehalt am Zersetzungsprodukt Kaolinit nach unten abnimmt. Umgekehrt nehmen Glimmeranteile (v.a. Illit/Serizit) in der Regel nach unten zu, ebenso wie der Eisengehalt. Letzterer ist dafür verantwortlich, dass in den Ton-Lagerstätten des Taunus häufig weißbrennende Tone in den oberen Lagerstättenbereichen und gelb- bis rotbrennende Tone in den unteren Abschnitten liegen (Tab. 6, vgl. [32]).

Tab. 6: Zusammensetzung der Kettenbacher Rohtone  
 (KR = rotbrennender Rohton, KG = gelbbrennend, KW = weißbrennend,  
 zusammengestellt nach [32])

Korn- größen [%]	KR	KG	KW	Minera- logie [%]	KR	KG	KW	Geo- che- mie [%]	KR	KG	KW
	Ton (< 0,002 mm)	30,0	28,1		25,5	Kaolinit-Minerale	17		20	27	SiO <sub>2</sub>
Schluff (0,002-0,063 mm)	48,2	43,7	48,0	Illit u.a. Glimmer-Minerale	48	49	43	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,4	19,5	18,6
Sand (0,063-2 mm)	21,8	28,1	26,3	Quarz	27	25	26	TiO <sub>2</sub>	0,9	0,9	0,9
				Feldspä- te	2	2	2	Fe <sub>2</sub> O	6,7	3,1	0,9
				Smektite	-	-	-	<sup>3</sup> Na <sub>2</sub> O	0,1	0,1	0,1
				sonstige	6	4	2	K <sub>2</sub> O	3,3	3,1	2,7
								CaO	0,1	0,1	0,1
								MgO	0,4	0,4	0,3
								SO <sub>3</sub>	k.A.	k.A.	k.A.
								Glüh- ver- lust	4,9	4,3	4,4

Tab. 7: Zusammensetzung der Geisenheimer Rohtone (Mischprobe)  
 (Korngrößen des Rohtons nach [37], alle anderen Daten nach [38]).

Korn- größen [%]	Rohton		Mineralogie [%]	Geochemie [%]
	Rohton	aufbereitet		
Ton (< 0,002 mm)		22	Kaolinit-Minerale	15
Schluff (0,002-0,063 mm)	Ton+Schluff: 62	78	Illit u.a. Glimmer-Minerale	33
Sand (0,063-2 mm)	38	0	Quarz	52
			Feldspäte	
			Smektite	
			sonstige	
				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
				Na <sub>2</sub> O
				K <sub>2</sub> O
				CaO
				MgO
				SO <sub>3</sub>
				Glühverlust



### 11.2.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die physikalisch-technischen Eigenschaften der saprolitischen Tone des Taunus hängen von ihrer mineralogischen Zusammensetzung ab, die v.a. vom Ausgangsgestein und dessen Grad der Zersetzung bestimmt wird (s.o.). Neben der oben bereits erwähnten Variation der Brennfarbe je nach Eisengehalt wird beispielsweise auch die Plastizität vom Kaolinitgehalt bestimmt: So weisen intensiv zersetzte Lagerstättenbereiche mit relativ hohem Kaolinitgehalt eine immerhin mäßige Plastizität auf. Die Plastizität nimmt nach unten zusammen mit dem Kaolinitgehalt stark ab, man spricht dann von „sandigem“ oder „schiefrigem“ Ton (vgl. [32]). Entsprechend variieren auch andere technische Eigenschaften, so z.B. die Trocken- und Brennschwindung (Tab. 8).

Tab. 8: Technische Eigenschaften der Rohtone von Eisenbach und Kettenbach  
 (E = Eisenbacher Rohton, zusammengestellt nach [42]; KR = Kettenbacher rotbrennender Rohton,  
 KG = gelbbrennend, KW = weißbrennend, zusammengestellt nach [32])

	E	KR	KG	KW
Plastizitätszahl (Pfefferkorn)		21	21	18
Trockenschwindung	2,6 %	2,4 %	2,7 %	2,5 %
Trockenbiegefestigkeit		1,2 N/mm <sup>2</sup>	1,1 N/mm <sup>2</sup>	1,2 N/mm <sup>2</sup>
Brennfarbe	rot	rot	gelb	weiß
max. Brennschwindung	9,1 % bei 1150° C	5,4 % bei 1200° C	7,2 % bei 1200° C	7,8 % bei 1200° C
Wasseraufnahme nach Brennen	< 0,1 % nach Brennen auf 1150° C	4,3 % nach Brennen auf 1200° C	5,2 % nach Brennen auf 1200° C	7,2 % nach Brennen auf 1200° C

### 11.2.5. Abbausituation und Verwendung

Die saprolitischen Tone des Taunus und Limburger Beckens werden im Tagebau mittels Tieflöfelbagger selektiv gewonnen, per LKW oder Bandanlage abtransportiert und nahe an der Gewinnungsstelle nach Tonsorten getrennt gelagert. Aus den Rohton-Vorratshalden werden dann je nach Bedarf verschiedene Tonmischungen hergestellt. Der Rohton wird entweder unzerkleinert, geschreddert, zusätzlich gesiebt oder getrocknet und gemahlen abgegeben.

Saprolitische illitisch-kaolinitische Tone des Taunus wurden früher v.a. in der Papierindustrie und als Füllstoffe eingesetzt. Heute werden sie überwiegend als Grund- und Zusatzstoffe für die grob- und feinkeramische Industrie gewonnen, z.B. zur Herstellung von Klinker-, Ziegel- und Fliesenkeramik oder für keramische Gießmassen.

Die Ton-Lagerstätten des Rheingaus werden derzeit nicht für keramische Zwecke genutzt. Die Geisenheimer illitisch-kaolinitischen Tone (früher als „Kaoline“ bezeichnet) wurden bis 1975 im Tagebau, z.T. auch in kleineren Stollen abgebaut. Aus den Rohtonen wurde Kaolin hergestellt und v.a. für die Papierherstellung verwendet, daneben auch in der feinkeramischen Industrie, jedoch nicht zur Porzellanproduktion. Als Nebenprodukte der Kaolinherstellung wurden Quarzsand und unzersetzter Feldspat gewonnen.

### **11.2.6. Vorräte und Rohstoffsicherung**

Derzeit sind rund 790 ha der Ton-Lagerstätten des Taunus und des Limburger Beckens in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUg als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen, davon 47 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“. Dies macht nur einen Bruchteil der insgesamt vorhandenen Vorräte aus. Bei den derzeit ausgewiesenen Rohstoffsicherungsflächen handelt es sich fast ausschließlich um saprolitische Ton-Lagerstätten der heute – oder bis in jüngste Zeit – aktiven Abbaustellen und deren Umgebung. Lösslehm-Lagerstätten werden in dieser Region aufgrund des fehlenden oder sehr geringen Bedarfs derzeit nur sehr untergeordnet gesichert.

### **11.2.7. Transportlage**

Die derzeit in Abbau stehenden Ton-Lagerstätten des Taunus und des Limburger Beckens sind gut an das Bundesstraßen- und Autobahnnetz angebunden.

### **11.2.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme**

Die insgesamt recht unterschiedlichen Tonrohstoffe aus dem Taunus und dem Limburger Becken finden in der keramischen Industrie, aber auch darüber hinaus Einsatz. Ihre ganz spezifischen Eigenschaften ergänzen häufig die Anwendungsmöglichkeiten von Tonrohstoffen anderer Provenienzen so günstig, dass dort die Produkte deutlich verbessert werden können. Daher werden Tone aus dem Taunus als wichtige Zusatzrohstoffe EU-weit eingesetzt.

## **11.3. Gießener Raum**

### **11.3.1. Lage**

Die Gießener Ton-Lagerstätten erstrecken sich ungefähr von Staufenberg nordöstlich Gießen bis etwa Bad Nauheim im Süden (s. Abb. 1). Der Schwerpunkt des heutigen Tonabbaus liegt südöstlich von Gießen im tertiärzeitlichen Sedimentationsraums des sog. Gießener Beckens. Das südlich anschließende Butzbacher Becken sowie das Rockenberg-Münzberger Becken (Nordrand der Wetterauer Tertiärsenke) sind geologisch ähnlich aufgebaut und werden daher in Abb. 1 einbezogen, obwohl die dortigen Ton-Lagerstätten derzeit nicht genutzt werden.

### **11.3.2. Untersuchungsstand**

Die Lagerstätten im Raum Gießen sind durch Kernbohrungen erkundet, im Bereich der Tagebaue und in deren Umgebung besonders detailliert. Die geologischen Karten dieses Raumes stammen bis

auf das Blatt 5518 Butzbach [43] von Anfang des 20. Jahrhunderts (z.B. [44], [45]), die Erläuterungen hierzu wurden jedoch z.T. modern überarbeitet (z.B. [46],[47]) und es gibt jüngere Literatur zu den Ton-Vorkommen des Gießener Raumes (z.B. [48],[49],[20]). Eine detaillierte Untersuchung der Lagerstättensituation südöstlich Gießen wurde im Rahmen eines unveröffentlichten Gutachtens des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung vorgenommen ([50],[51]).

### 11.3.3. Geologie und Mineralogie

Im Raum Gießen kommen v.a. sedimentäre Ton-Lagerstätten des Tertiärs vor, deren Tone die in Stillwasser abgelagerten Umlagerungsprodukte der mesozoisch-tertiären Verwitterung darstellen (vgl. Kap. 11.1.3 und 11.2.3). In einigen Bereichen ist auch die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke aus paläozoischen Gesteinen in situ (nicht umgelagert) erhalten geblieben („saprolitische Tone“).

Die heute im Gießener Raum in Abbau stehenden **sedimentären Tone** der sog. „**Gail’schen Serie**“ wurden im jüngeren Tertiär (Mittel- bis Ober-Oligozän, vgl. Tab. 1) unter Süßwasserbedingungen abgelagert. Linsen- oder rinnenförmig in die Tone eingeschaltet sind quarzreiche Sand- und Kieslagen oder -bänke, deren Häufigkeit und Mächtigkeit lateral wechseln. Aus der Geometrie der Sand- und Kieslagen ergibt sich ein lateral stark wechselndes Sand-Ton-Verhältnis und eine entsprechend heterogene Verbreitung mächtigerer Ton-Lagerstätten im Gießener Raum. Das Liegende der Gail’schen Serie bilden unterschiedliche Sedimente des Tertiärs, in der Umgebung von Gießen meist tertiäre Sande („Gießener Meeressand“, Unter-Oligozän). Im Hangenden der Gießener Tone liegt die sog. Hangelstein-Serie, die aus Quarzsanden, Tonen und z.T. einzelnen Braunkohlelagen aufgebaut wird, wobei die Tone gegenüber den Sanden stark zurücktreten und daher nicht abbauwürdig sind. Darüber folgen entweder Vulkanite des Miozäns oder – wo diese abgetragen wurden – quartäre Sedimente.

Die Tone der Gail’schen Serie sind – abhängig von Vorkommen und Gehalt an Eisenverbindungen – meist hellgrau, z.T. auch gelblich oder rötlich gefärbt oder bunt gebändert. Besonders reine Qualitäten sind fast weiß. Nach der Korngrößenverteilung sind es schluffige Tone mit nur sehr geringen Feinsandgehalten: 70-85 % Tonfraktion (< 0,002 mm), 25-30 % Schlufffraktion (0,002-0,063 mm) und bis 3 % Sandfraktion (> 0,063 mm). Hauptgemengteile sind Tonminerale der Kaolinit-Gruppe (53 %, nach [50]), Illit und Hydroglimmer (28 %) und Quarz (19 %), es handelt sich also um illitisch-kaolinitische Tone. Nachgeordnet treten akzessorische Minerale wie Eisen- oder Titanoxide auf. Die in Abbau stehenden Tone der Gail’schen Serie enthalten kein Pyrit (Eisensulfid) und kein Karbonat. Die mittlere chemische Zusammensetzung ist in Tab. 9 angegeben. Die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte können faziell bedingt lateral stark zurückgehen bis auf ca. 10 %, bei gleichzeitig durch

höheren Schluff- und Feinsandanteil gestiegenem SiO<sub>2</sub>-Gehalt, so dass die Tone dann wesentlich magerer sind.

Tab. 9: Zusammensetzung der Tone der Gail'schen Serie (Raum Gießen; zusammengestellt nach [50])

Korngrößen [%]		Mineralogie [%]		Geochemie [%]	
Ton (< 0,002 mm)	70-85	Kaolinit	53	SiO <sub>2</sub>	64
Schluff (0,002-0,063 mm)	25-30	Illit	28	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25
Sandfraktion (0,063-2 mm)	bis 3	Quarz	19	TiO <sub>2</sub>	1-1,5
natürlicher Wassergehalt (Grubenfeuchte) [%]	13-17	Fe-, Ti-Oxide	akzessorisch	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-1,7
				Na <sub>2</sub> O	< 1
				K <sub>2</sub> O	1,3
				CaO	< 0,5
				MgO	< 0,5
				Glühverlust	6-6,5

Ältere, z.T. Karbonat führende Tonvorkommen des Tertiärs („Ältere Sand- und Tonserie“, „Melaninton“, „Rupelton“) sind im Raum Gießen wegen zu mächtiger Überdeckung oder zu geringer Lagerstättengüte (Reinheit, Mächtigkeit) nicht abbauwürdig. In sehr begrenztem Umfang werden sie als beibrechender Rohstoff im Kiessand- oder Quarzsand-Abbau gewonnen.

Die kalkfreien Tone des Pliozäns, die z.B. im südöstlich angrenzenden Horloff-Graben vorkommen, werden derzeit nicht genutzt [52].

**Saprolitische Ton-Lagerstätten** (s. Einführung) bildeten sich im Raum Gießen aus feldspathaligen Gesteinen des Karbons. Bei sandigem Ausgangsgestein (z.B. Grauwacken) sind auch die entstandenen saprolitischen Tone noch stark sandig, oft klebsandartig. Die nutzbare Mächtigkeit der Gießener saprolitischen Ton-Lagerstätten variiert stark, beträgt aber in der Regel vermutlich nicht mehr als 15 m. Von der tonmineralogischen Zusammensetzung her sind auch die saprolitischen Tone des Gießener Raums nicht als „Kaoline“ zu bezeichnen, wie in der Rohstoffliteratur häufig geschehen, sondern als illitisch-kaolinitische Tone.

Ebenfalls auf tiefgründige in-situ-Verwitterung zurückzuführen sind die sog. „**Roterden**“, rote Lehme, die aus der lateritischen Verwitterung von Basaltzersatz und Tuffen während des Miozäns (Tertiär, vgl. Tab. 1) entstanden sind. Sie wurden früher z.T. als Ziegeleirohstoff abgebaut, werden jedoch heute nicht mehr gewonnen [43].

**Löse und Lösslehme** des Pleistozäns (Quartär) erreichen im Raum Gießen, insbesondere im Süden am Rand zur Wetterauer Tertiärsenke, z.T. besonders große Mächtigkeiten. Sie wurden früher als Ziegeleirohstoff abgebaut, z.T. in Kombination mit unterlagernden älteren Tonrohstoffen (z.B. den saprolitischen Tonen von Langgöns). Heute stehen sie jedoch nicht mehr in Abbau [43].

### 11.3.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die Gießener Tone der Gail'schen Serie sind hochplastische bis weniger plastische Tone mit hoher Bildsamkeit. Die Brennfarbe ist überwiegend hell-creme, zum Teil auch dunkler, z.B. gelb-ocker (Tab. 10). Die Brenntemperaturen liegen aufgrund des relativ niedrigen Tonerdeanteils ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und der Alkali- und Titangehalte bei 1200-1250° C, d.h. die Gießener Tone sind nicht feuerfest. Aufgrund des relativ hohen Anteils an Alkalien (bis 3,5 Gew.-%  $\text{K}_2\text{O}$  und  $\text{Na}_2\text{O}$ ) sind die Tone sehr sinterfreudig. Die mineralogische Zusammensetzung bedingt ein günstiges Dehnungs-Schwindungs-Verhalten und damit eine hohe mechanische Stabilität des Scherben. Diese Eigenschaften sowie die Frostbeständigkeit des Scherben infolge einer geringen Wasseraufnahme nach dem Brennen (< 1 %), wie auch die Säure- und Laugenbeständigkeit, machen die Gießener Tone besonders geeignet für baukeramische Verwendungszwecke.

Tab. 10: Technische Eigenschaften der Tone der Gail'schen Serie (Raum Gießen; zusammengestellt nach [50])

Trockenbiegefestigkeit	2,5-2,9 N/mm <sup>2</sup>
Tonerdeanteil ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	meist 20-25 Gew.-%
mittlerer Feinstquarzanteil	10 - 40 %
Kohlenstoffanteil	< 0,1 Gew.-%
Brennfarbe	i.d.R. cremefarben, z.T. auch dunkler
Wasseraufnahme nach Brennen	< 1 Gew.-%

Besondere Qualitätsanforderungen an die Gießener Tone werden aufgrund des schwerpunktmäßigen Einsatzes in der Baukeramik (s.u.) vor allem an die Bildsamkeit vor dem Brand sowie an die mechanische Stabilität und die Frostsicherheit nach dem Brand gestellt.

### 11.3.5. Abbausituation und Verwendung

Die **sedimentären Tone** der Gail'schen Serie werden ausnahmslos im Tagebau gewonnen (Abb. 9). Die nutzbare Lagerstättenmächtigkeit schwankt ungefähr zwischen 10 und 20 Meter. Abraummächtigkeiten sind in den heutigen Abbaugebieten in der Regel gering (bis 3 m), können jedoch bei mächtigeren pleistozänen und jungtertiären Deckschichten bis auf 15 m ansteigen. Den Abbau erschweren können die in die Tone eingelagerten Sand- und Kieslagen, die häufig wasserführend sind.



Abb. 9: Gießener Tone der Gail'schen Serie im Tagebau Schiffenberger Forst bei Gießen (Foto: HLUG, 2000).

Die Tone der Gail'schen Serie („Gießener Tone“) werden hauptsächlich für fein- und grobkeramische Zwecke verwendet, vorwiegend für Baukeramik (Fliesen, Spaltplatten, Klinker). Für Feuerfest-Produkte sind Gießener Tone weniger geeignet. Besonders stark gelb-ocker gefärbte Tone („Ockertone“) wurden früher aufgrund ihres hohen Eisengehaltes als Farberde abgebaut.

Ein in den letzten Jahren entwickelter Schwerpunkt liegt in der Herstellung plastischer Massen und Sprühgranulate für die Weiterverwendung in der Baukeramik. Der Rohton wird dazu selektiv mit Hydraulik-Tieflöffelbaggern abgebaut und per LKW zur Aufbereitung transportiert. Nach Vorzerkleinern der Tonschollen werden die verschiedenen Tonsorten getrennt aufgehaldet. Die weitere Aufbereitung der Massen erfolgt entweder nass (Schlämmen, Sprühtrocknen), halbnass (Grobauaufbereitung) oder trocken (Feinaufbereitung in Trockenmahanlage). Nach der Feinaufbereitung können in der nachgeschalteten Mischanlage noch im Abbaubetrieb kundenspezifische Anforderungen an die Zusammensetzung des Tonprodukts erfüllt werden. Dabei werden in der Regel neben Gießener Ton („Eigenton“) auch Tone oder Zuschlagstoffe aus anderen Abbauregionen („Fremdton“) zugemischt.

Die **saprolitischen Tone** von Langgöns (früher als „Kaoline“ bezeichnet) wurden bis ins 20. Jahrhundert im Tagebau gewonnen. Sandige, unreinere Teile des Rohtons wurden in der Zementindustrie verwendet. Feinere und reinere Teile wurden geschlämmt und der gewonnene „Kaolin“ wurde als Füllstoff vorwiegend in der Papierindustrie eingesetzt. Der Abbau wurde jedoch schon während des 20. Jahrhunderts nur in begrenztem Umfang betrieben und 1993 bis auf weiteres eingestellt. Auch „Roterden“ oder Lössen bzw. Lösslehme werden derzeit im Gießener Raum nicht abgebaut.

### **11.3.6. Vorräte und Rohstoffsicherung**

Derzeit sind 1554 ha der Gießener Ton-Lagerstätten in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUg als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen, davon 81 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“.

Die Rohstoffreserven der sedimentären und der saprolitischen Ton-Lagerstätten des Gießener Raums stehen häufig in Konflikt mit anderen Nutzungsansprüchen, v.a mit Bebauungsgebieten, Verkehrswegen, Natur- und Grundwasserschutzgebieten.

### **11.3.7. Transportlage**

Die Gießener Ton-Lagerstätten liegen in unmittelbarer Nähe des Bundesautobahnnetzes und sind daher infrastrukturell bestens erschlossen.

### **11.3.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme**

Die Ton-Lagerstätten des Gießener Raums sind aufgrund ihrer Rohstoffeigenschaften von großer Bedeutung. Zurzeit werden sie jedoch nur in wenigen Tagebauen gewonnen. Der Absatz der gewonnenen Roh-tone bzw. der produzierten keramischen Massen und Fertigprodukte erfolgt in ganz Europa.

## **11.4. Niederhessische Tertiärsenke und Großalmerode (Meißner-Region)**

### **11.4.1. Lage**

Die Niederhessischen Tertiärsenke und die an sie gebundenen Ton-Lagerstätten erstrecken sich in einem 10 – 20 km breiten Senkungsgebiet von Allendorf/Lumda und Alsfeld am Vogelsberg-Nordrand nach Nordnordosten über Homberg/Efze und Fritzlar bis nach Oberkaufungen. Die Lagerstätten in den tertiären Becken um Amöneburg und Neustadt am Südrand der Niederhessischen Senke werden hier mit einbezogen. Geologisch ähnliche Ton-Lagerstätten liegen in kleineren Becken zwischen Söhrewald und Großalmerode nordöstlich der Niederhessischen Senke (s. Abb. 1).

### **11.4.2. Untersuchungsstand**

Der Untersuchungsstand dieser großen Lagerstättenregion ist sehr heterogen. Geologische Karten mit Erläuterungen liegen teilweise in moderner Form, teilweise jedoch nur in Fassungen von Ende des 19. oder Anfang des 20. Jahrhunderts vor. Die rohstoffgeologische Literatur konzentriert sich auf die Bereiche, in denen traditionell keramische Rohstoffe gewonnen wurden bzw. noch heute gewonnen werden (u.a. [52] - [58]). Für überregional vertriebene Tonsorten liegen öffentlich zugängliche Materialanalysen vor (z.B. der Deutschen Keramischen Gesellschaft, DKG).

### 11.4.3. Geologie und Mineralogie

Bei den Ton-Lagerstätten der **Niederhessischen Tertiärsenke** handelt es sich um sedimentäre Tone des Alttertiärs (Eozän bis Unter-Oligozän, vgl. Tab. 1), die im Wechsel mit Quarzsanden und Braunkohlen in unterschiedlich großen Teilbecken unter Süßwasserbedingungen abgelagert wurden. Im Mittel- bis Ober-Oligozän wurden dagegen überwiegend marine und daher kalkhaltige Tone (und Sande) sedimentiert, die für keramische Zwecke weniger geeignet sind. In der Regel werden diese Sedimente überlagert von jungtertiären (miozänen) Basalten, welche die Ton-Lagerstätten vor Erosion geschützt haben. In die Basalte eingelagerte Tuffe sind z.T. vertont zu Bentoniten, die ebenfalls gewonnen werden können, jedoch i.d.R. nicht für keramische Zwecke (s.u. und Kap. 11.1.).

Die eozänen bis unter-oligozänen Tone der Niederhessischen Senke sind illitisch-kaolinitisch bis kaolinitisch dominiert und führen unterschiedliche Gehalte an Quarzsand. In der Regel handelt es sich um graue bis hellgraue, z.T. weiße Tone, die z.T. lagenweise kohlig sind. Die Zusammensetzung dieser Tone variiert sowohl zwischen den einzelnen Schichten einer Lagerstätte als auch von Lagerstätte zu Lagerstätte relativ stark, und auch die Art der Wechsellagerung bzw. Verzahnung mit Quarzsanden und Braunkohlen unterscheidet sich in den einzelnen Lagerstätten. Die Ursache für diese Variabilität liegt einerseits in der Ablagerung der Tone in mehr oder weniger kleinräumigen Teilbecken, andererseits in der nur unvollständigen, fleckenhaften Erhaltung der Tertiärsedimente in überwiegend kleinen Erosionsresten (s.o.) innerhalb der Niederhessischen Senke.

Die sog. „**Großalmeroder Tone**“ wurden im Ober-Eozän (Tertiär, vgl. Tab. 1) in Süßwasser-Seen abgelagert. Sie werden überlagert vom unter-oligozänen „Melanienton“ (brackische Ablagerungsbedingungen) und vom mittel-oligozänen „Rupelton“ (marin) [56]. Diese oligozänen Tone werden im Gebiet von Großalmerode jedoch nicht als keramische Rohstoffe gewonnen.

Die eozänen „Großalmeroder Tone“ lassen sich unterteilen in den sog. „Ober-“ oder „Töpferton“, den darunter liegenden „Fetton“ und den „Glashafenton“ an der Basis. Die Mächtigkeit des Fettons variiert zwischen 2 und 10 m, die des Glashafentons zwischen 2 und 25 m [57]. Eigenschaften und Verwendung dieser Tonsorten werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

Die Haupttensorten der Großalmeroder Lagerstätten unterscheiden sich v.a. im Quarz-Tonmineral-Verhältnis bzw. in dem davon abhängenden  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis: Die Glashafentone bestehen etwa zur Hälfte aus Tonmineralen, v.a. solchen der Kaolinit-Gruppe, und zur anderen Hälfte aus sehr feinkörnigem Quarzsand. Die Fetttone haben dagegen Tonmineralgehalte von etwa 80 % bei 13 % Quarzanteil. Unter den Tonmineralen herrschen auch bei den Fetttönen solche der Kaolinit-Gruppe bei weitem vor, Illit tritt nur in Anteilen von 7-11 % auf (vgl. Tab. 11). Diese mineralogi-



schen Unterschiede machen sich auch in der chemischen Zusammensetzung der beiden Tonsorten bemerkbar (s. Tab. 11). Tonmineralogisch sind sowohl Glashafen- als auch Fettton als (illitisch-) kaolinitisch dominierte Tone einzustufen.

Tab. 11: Zusammensetzung der Großalmeroder Tone (GT = Glashafenton, FT = Fettton; zusammengestellt nach [4])

<b>Korngrößen [%]</b>	GT	FT	<b>Mineralogie [%]</b>	GT	FT	<b>Geochemie [%]</b>	GT	FT
Ton (< 0,002 mm)	61	90	Kaolinit-Minerale	41	80	SiO <sub>2</sub>	74,7	58,2
Schluff (0,002-0,063 mm)	38,5	9,8	Illit	11	7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,5	35,0
Sandfraktion (0,063-2 mm)	0,5	0,2	Quarz	48	13	TiO <sub>2</sub>	2,2	2,1
natürlicher Wassergehalt (Grubenfeuchte) [%]	~ 12	~ 18				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	2,3
						Na <sub>2</sub> O	0,1	0,1
						K <sub>2</sub> O	0,5	1,3
						CaO	0,4	0,3
						MgO	0,1	0,6
						SO <sub>3</sub>	0,4	1,0
						Glühverlust	6,4	10,5

Die tertiäre Abfolge liegt in der Niederhessischen Senke in der Regel auf Gesteinen des Buntsandsteins, in schmalen tektonischen Gräben auch auf solchen des Muschelkalks und des Keupers. Tonsteindominierte Abschnitte dieser mesozoischen Einheiten – v.a. des Oberen Buntsandsteins (Röts) oder des Keupers – sind oberflächennah häufig stark entfestigt und wurden in der Niederhessischen Senke v.a. früher als Ziegeleirohstoffe gewonnen. Sie sind jedoch nicht Gegenstand dieses Kapitels, sondern werden im Kapitel „Sonstige Ton-Lagerstätten Hessens“ kurz erläutert.

#### 11.4.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien

Die sedimentären illitisch-kaolinitischen Tone der **Niederhessischen Tertiärsenke** sind in Zusammensetzung und Eigenschaften in den einzelnen Lagerstätten recht variabel (s.o.) und können hier nicht im Einzelnen besprochen werden. Insgesamt handelt es sich um überwiegend gut plastische, z.T. auch mittelfeste, hellbrennende Tone, die sich für die fein- und grobkeramische Industrie und z.T. auch für Feuerfestprodukte eignen [52]. Als Beispiel zeigt Tab. 12 die Eigenschaften der illitisch-kaolinitischen Tertiärtone von Remsfeld bei Homberg/Efze.

Tab. 12: Technische Eigenschaften der illitisch-kaolinitischen Tertiärtone von Remsfeld (zusammengestellt nach [42])

	R1	R2
Trockenschwindung	5,6 %	6,4 %
Brennfarbe	beige-gelb	hellrot
max. Brennschwindung	6,1 % bei 1150° C	9,9 % bei 1150° C
Wasseraufnahme nach Brennen	0,1 % nach Brennen bei 1150° C	< 0,1 % nach Brennen bei 1150° C

Die **Großalmeroder Glashafentone** zeichnen sich durch geringe Trockenschwindung und hohe Bruchfestigkeit im getrockneten Zustand aus, d.h. durch insgesamt sehr günstige Trocknungseigenschaften. Auch die Brennschwindung ist relativ klein. Aufgrund des hohen SiO<sub>2</sub>-Gehaltes brennen die Glashafentone nicht vollständig dicht, sondern behalten bei der Dichtbrenntemperatur von 1450° C noch einen Volumenanteil offener Poren von 4 %. Die Erweichungstemperatur liegt bei 1630-1650° C (Seegerkegelfallpunkt von 28-29), d.h. die Glashafentone sind feuerfest. Hinzu kommen hohe Stand- und Zerreifestigkeiten unter Belastung bei hohen Temperaturen (Druckerweichungsverhalten): Der Erweichungsbeginn liegt bei 1455° C bei einer Belastung von 2 kg/cm<sup>2</sup>, bei derselben Temperatur entstehen erst bei einer Belastung von 1 kg/cm<sup>2</sup> Brüche bzw. Risse (aus [59]).

Die **Großalmeroder Fetttone** sind plastischer als die Glashafentone und zeigen dementsprechend höhere Trocken- und Brennschwindung (Tab. 13). Sie sind mit einem Seegerkegelfallpunkt von 33 feuerfest und bereits ab einer Brenntemperatur von 1100° C aufgrund der dann deutlich unter 1 % liegenden Wasseraufnahme zudem frostsicher.

Tab. 13: Technische Eigenschaften der Großalmeroder Tone (zusammengestellt nach [59] - [61] und [4])

	Glashafenton	Fettton
Plastizitätszahl (Pfefferkorn)	21	30
Trockenschwindung	6,9 %	8,7 %
Trockenbiegefestigkeit	3,48 N/mm <sup>2</sup>	4,40 N/mm <sup>2</sup>
Brennfarbe	weiß-beige-gelb	weiß-beige-grau
max. Brennschwindung	ca. 5 % bei 1200° C	ca. 12 % bei 1200° C
Wasseraufnahme nach Brennen	4 % nach Brennen auf 1450° C	0,5 % nach Brennen auf 1300° C
Erweichungstemperatur	SK 28-29 (1630-1650° C)	SK 33 (ca. 1730° C)

#### 11.4.5. Abbausituation und Verwendung

Die Gewinnung keramischer Rohstoffe beschränkt sich in der Niederhessischen Senke derzeit auf den nördlichen Vogelsberg-Rand (Raum Neustadt – Alsfeld – Lauterbach), den Knüllwald (Lagerstätte Remsfeld) und auf das Gebiet um Großalmerode (Meißner-Region). Der Abbauumfang dieser Lagerstättenregion ist heute insgesamt trotz vorhandener Rohstoffreserven gering. Zahlreiche

früher betriebene Abbaustellen in der Niederhessischen Senke liegen bereits seit mehreren Jahrzehnten still.

Die heute betriebenen Abbaustellen der Niederhessischen Senke (außer Großalmerode, s.u.) gewinnen illitisch-kaolinitische Tone für keramische Verwendungszwecke. In einigen Abbaustellen werden zusätzlich bentonitische Tone gewonnen, die im Hangenden der illitisch-kaolinitischen Tone vorkommen (s.o.). Sie werden v.a. für die Herstellung von Blumenerden eingesetzt (vgl. Kap. Westerwald). Auch zwischengelagerte Quarzsande werden von einigen Betrieben parallel gewonnen, meist für die keramische und Feuerfest-Industrie.

Im Gebiet um **Großalmerode** werden hochwertige Feuerfest-Tone im Untertagebetrieb gewonnen. Der Ton wird in bergmännisch ausgebauten Stollen mittels Ton-Bohrmaschinen und Fräsen gelöst und per Bänder zu den Aufbereitungsanlagen transportiert (Abb. 10).

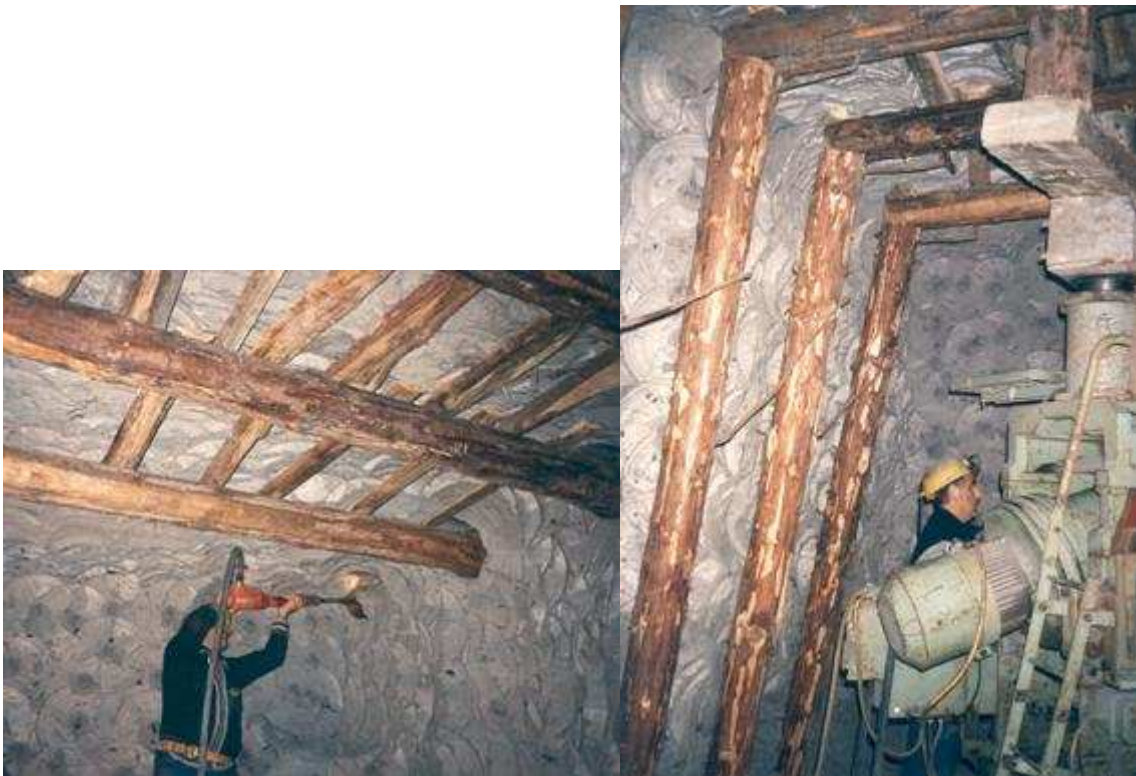


Abb. 10: Untertagegewinnung von Großalmeroder Ton (Fotos: HLFb, 1989)

Die „Großalmeroder Glashafentone“ wurden seit dem Mittelalter als Feuerfestmaterial für die Auskleidung von Glasschmelzhäfen verwendet. Dieser Einsatzbereich blieb bis ins 20. Jahrhundert der Schwerpunkt des Großalmeroder Tonbergbaus, insbesondere für die mageren Tonqualitäten („Glashafentone“). Auch Labortiegel, Glasziedrüsen, Rührer etc. werden aus Großalmeroder Glashafentonen hergestellt. Fetttone aus Großalmerode werden zur Herstellung von feuerfester Industriekeramik, z.B. Metall-Schmelztiegeln oder Schamottesteinen, verwendet. Moderne Einsatzberei-

che kamen in den 1960er Jahren mit der Müllverbrennungs- und Brennhilfsmitteltechnik hinzu. Der sog. „Ober-“ oder „Töpferton“ wurde für Töpfereiprodukte und Dachziegel verwendet.

Die Förderraten der Großalmeroder Tongruben sind im Verlauf des 20. Jahrhunderts stetig zurückgegangen (Abb. 11).

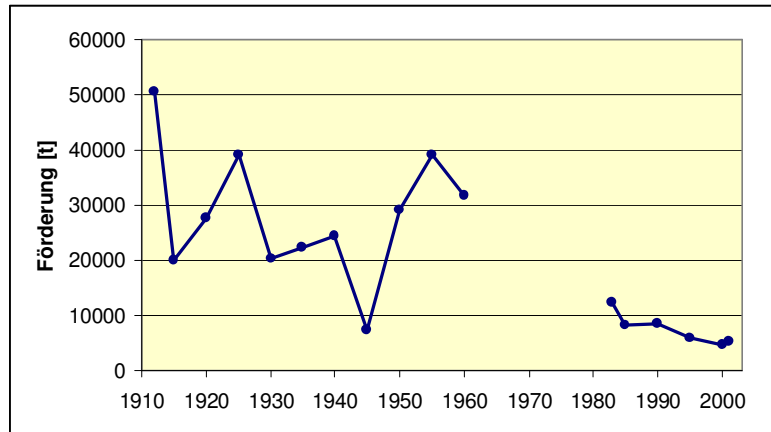


Abb. 11: Jährliche Fördermengen der Vereinigten Großalmeroder Thonwerke (VGT) bzw. deren Nachfolger und Pächter (nach [58])

#### 11.4.6. Vorräte und Rohstoffsicherung

In der Niederhessischen Senke werden derzeit mit 3755 ha relativ große Flächen als Ton-Lagerstätten in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUg gesichert, allerdings häufig als kombinierte Rohstoffsicherungsflächen für Ton, Quarzsand und Braunkohle. 140 ha der Sicherungsflächen sind „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“.

Im Großalmeroder Tonrevier sind noch hochwertige Rohstoffreserven vorhanden. Derzeit sind 216 ha in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUg als Rohstoffsicherungsflächen ausgewiesen, davon 51 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“. Sollten die heute noch in Betrieb stehenden Tongruben ebenfalls geschlossen werden, wäre eine zukünftige Wiedererschließung mit erheblichem technischen und verwaltungsrechtlichen Aufwand verbunden.

#### 11.4.7. Transportlage

Die Ton-Lagerstätten der Niederhessischen Tertiärsenke und des Raumes um Großalmerode sind mehr oder weniger direkt an das Straßennetz angeschlossen.

#### 11.4.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme

Die Tone der Niederhessischen Senke haben derzeit – wie auch in früherer Zeit, trotz der damals intensiveren Nutzung – eher lokale Bedeutung.

Großalmerode ist weltweit bekannt für seine hochwertigen Glashafentone, aber auch für feuerfeste und feinkeramische Tone. Es ist eines der ältesten und bedeutendsten Tonreviere der BRD. Die Großalmeroder Tone, insbesondere die Glashafentone, wurden insbesondere im 20. Jahrhundert weltweit vermarktet. Die Glashafentone sind in ihrer Qualität nahezu einmalig und deckten über lange Zeit den Weltbedarf an diesem Rohstoff [57]. Entsprechend entstanden in Großalmerode auch weiterverarbeitende Betriebe der Glas- und Schmelztiegelindustrie, die gegen Ende des 20. Jahrhunderts die Hauptabnehmer der Großalmeroder Tone waren. Derzeit werden Großalmeroder Tone in der Oberpfalz (Bayern) weiterverarbeitet [57].

## **11.5. Wetterauer Perm-Scholle**

### **11.5.1. Lage**

Die geologische Struktureinheit der „Wetterauer Perm-Scholle“ liegt zwischen Vogelsberg und Spessart und bezeichnet ein Verbreitungsgebiet von Sedimenten des Perms, vorwiegend des Rotliegend. Die derzeit noch genutzten tonig-sandigen Schluffsteine des höheren Rotliegend (s.u. und Tab. 1) streichen nahezu in der gesamten Wetterauer Perm-Scholle, zwischen Bleichenbach (südwestlich Ortenberg) und Langenselbold, oberflächennah aus. Die zurzeit ausgewiesenen und z.T. in Gewinnung stehenden Lagerstätten konzentrieren sich auf den Raum um Langenselbold (Kinzigtal; s. Abb. 1). Vorwiegend im NW des Verbreitungsgebietes der Rotliegend-Schluffsteine werden diese z.T. überlagert von Schichten des Tertiärs, in denen abbauwürdige Tone und Tonmergel neben Sanden und Kalksteinen enthalten sind (s.u.). Abbauwürdige Vorkommen von Tonsteinen des Zechsteins (vgl. Tab. 1) sind dagegen auf den Ostrand der Wetterauer Perm-Scholle beschränkt.

### **11.5.2. Untersuchungsstand**

Die Rotliegend-Sedimente der Wetterauer Perm-Scholle wurden detailliert geologisch untersucht durch [62] u.a.. Die Verbreitung und Ausbildung der einzelnen Sedimenteinheiten sowie ihre potenzielle Eignung als Rohstoffe für die keramische Industrie, aber auch für die Werksteingewinnung, ist daher gut bekannt. Speziell lagerstättenkundlich orientierte Arbeiten fehlen jedoch weitgehend.

Über die Tone und Tonmergel des Tertiärs gibt es zahlreiche Veröffentlichungen mit paläontologisch-stratigraphischem Schwerpunkt (z.B. [63],[64]). Rohstoffgeologische Aspekte werden darin nicht oder nur sehr untergeordnet behandelt.

Einen Überblick über die Lagerstätten von Ton und Ziegeleirohstoffen des Rotliegend, Zechsteins, Tertiärs und Quartärs (s.u.) geben die lagerstättenkundlichen Kapitel der Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:25.000 (z.B. [65]).

### 11.5.3. Geologie und Mineralogie

Die heute z.T. noch in Gewinnung stehenden Ton-Lagerstätten der Wetterauer Perm-Scholle bestehen aus oberflächennah entfestigten tonigen Schluff- und Feinsandsteinen des höheren **Rotliegend**, der sog. „Bleichenbach-Schichten“ ([62], vgl. Abb. 12 und Tab. 1). Die rein terrestrisch abgelagerte Schichtenfolge wird vorwiegend aus rotbraunen, tonigen, oft sandigen Schluffsteinen und Feinsandsteinen aufgebaut, denen dolomitische Mergelsteine eingelagert sind. Diese für die Ziegeleiindustrie nutzbare Faziesausbildung der Bleichenbach-Schichten ist jedoch nicht im gesamten Verbreitungsgebiet vertreten, sondern variiert lateral: In einem langgezogenen Nord-Süd-gerichteten Bereich zwischen Langenselbold und Düdelsheim sind die Bleichenbach-Schichten grobsandig ausgebildet, und zum Spessarttrand hin gehen die Bleichenbach-Schichten in eine sehr grobkörnige Fazies aus Konglomeraten und Brekzien über (sog. „Rodenbach-Schichten“, [62], vgl. Abb. 13). Die Bleichenbach-Schichten werden in der feinkörnigen Fazies bis über 300 m mächtig [62]. Sie führen Pflanzenreste, die häufig verkieselt sind. In die Schluff- und Feinsandsteine sind neben Mergelsteinlagen auch mehrere umgelagerte Tuffhorizonte eingelagert, die lateral nicht durchhalten. Diese Tuffhorizonte enthalten Smektitminerale sowie deutlich mehr Feldspat und Glimmer als die Tonsiltsteine. Auffallend grüne Umrandungen von Pflanzenresten in diesen Tuffhorizonten bestehen aus besonders chromreichen Tonmineralen [66]. Das Liegende der Ton-Lagerstätte der Bleichenbach-Schichten bilden die vorwiegend aus Sandsteinen und Konglomeraten aufgebauten Schöneck-Schichten [62].



Abb. 12: Oberflächennah entfestigte tonige Schluffsteine und Feinsandsteine der Bleichenbach-Schichten des Rotliegend (Ravolzhausen; Foto: HLUg).



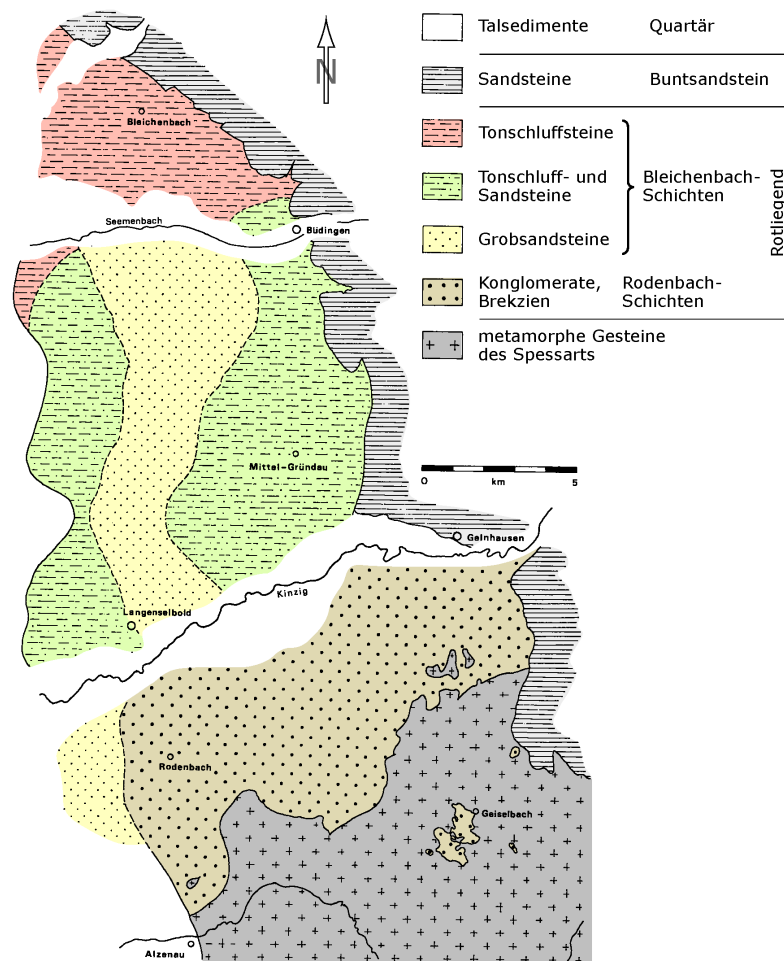


Abb. 13: Oberflächennahe Verbreitung und Faziesausbildung der Bleichenbach-Schichten des höheren Rotliegend (aus [62]: Abb. 18, modifiziert).

Neben den Rotliegend-Tonsteinen wurden früher auch Tonsteine des höheren **Zechsteins** („Obere Zechsteinletten“, ungefähr z3-z4) als Ziegeleitone abgebaut, z.B. bei Meerholz und Hailer [52]. Die Tonsteine des höheren Zechsteins sind z.T. sehr tonmineralreich und schluffarm. Das Liegende der Ton-Lagerstätte wird durch einen Dolomitstein mit z.T. sehr unregelmäßiger Oberfläche gebildet („Plattendolomit“ bzw. Leine-Karbonat, z3CA). Auch im tieferen Teil der Lagerstätte ist mindestens eine Dolomitbank eingeschaltet, deren Mächtigkeit meist unter 1 m liegt (Aller-Karbonat, z4CA). Der höchste Zechstein („Bröckelschiefer“, ungefähr z5-z7) besteht aus rotbraunen tonigen und z.T. stark sandigen Schluffsteinen.

Vor allem im NW des Verbreitungsgebietes werden die Tonsteine des Rotliegend von tonreichen Schichten des **Tertiärs** (Oligozän und Miozän, vgl. Tab. 1) überlagert, die ebenfalls als Ziegelei- rohstoff abgebaut werden können. Allerdings sind die Tone und Schluffe des Tertiärs in der Wetterauer Perm-Scholle infolge zunehmend mariner Ablagerungsbedingungen überwiegend kalkhal-

tig, z.T. auch bituminös und gipshaltig. Im Durchschnitt sind sie eisenärmer als die Rotliegend-Schluffsteine und enthalten weniger Alkali- und Erdalkalielemente (Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium). Die tertiären Tone und Schluffe wechsellagern mit Sanden oder lehmigen Sanden, Mergeln und Kalken (s. z.B. [62]). Häufig treten feste Konkretionen unterschiedlicher Form und Größe auf.

Lösse und Lösslehme des **Quartärs** (Pleistozäns) kommen in der Wetterau in besonders großer Mächtigkeit vor und wurden früher zur Ziegel- und Backsteinherstellung abgebaut [65], [67].

#### **11.5.4. Eigenschaften und Qualitätskriterien**

Rotliegend-Schluffsteine eignen sich zur Herstellung säurefester keramischer Erzeugnisse. Sie zeichnen sich u.a. durch besonders geringe Brennschwindung aus [65].

#### **11.5.5. Abbausituation und Verwendung**

Die entfestigten Rotliegend-Sedimente unterliegen der Bergaufsicht und werden im Trockenabbau gewonnen. Die genutzte Lagerstättenmächtigkeit liegt bei etwa 15-20 m, bei bis zu 5 m Abraummächtigkeit [65]. Das gewonnene Material dient als Basisrohstoff für Ziegelprodukte, v.a. für Spezialziegel und Hintermauerziegel. Als Zuschlagstoff werden z.T. Westerwälder Tone verwendet. Die Ziegeleien liegen im näheren Umkreis der Abbaustellen.

Die Zechstein-Tonsteine wurden z.T. als beibrechender Rohstoff ebenfalls für die Ziegelindustrie gewonnen. Beim Abbau muss der Tonrohstoff sorgfältig vom liegenden Dolomit und von eingeschalteten Dolomitlagen oder -linsen getrennt werden, da Dolomit zum Springen der Ziegel beim Brand führen kann, sofern er nicht fein verteilt ist. Diese Trennung von Tonstein und Dolomit schon beim Abbau kann zeitaufwändig und problematisch sein, da die Oberfläche des liegenden Dolomits häufig sehr unregelmäßig verläuft und auch die eingeschalteten Dolomitlagen und -linsen in Verlauf und Mächtigkeit lateral stark variieren können. Wegen der z.T. sehr hohen Plastizität der oberflächennah entfestigten Zechstein-Tonsteine (besonders der tonmineralreichen Sorten) können die Abbaubereiche stark rutschungsgefährdet sein.

Die Tone und Schluffe des Tertiärs wurden v.a. früher als Ziegeleitone abgebaut, z.B. der oligozäne Rupelton ([68], s.a. [63]) oder die ebenfalls oligozäne Cyrenenmergelgruppe [69]. Heute werden die Tone nur als Misch- und Zusatztone für die Ziegelproduktion je nach Bedarfslage abgebaut, wenn sie in einer Abbaustelle zusammen mit den unterlagernden Rotliegend-Schluffsteinen vorkommen. Aufgrund des raschen Wechsels zwischen Ton-, Schluff- und Feinsandschichten neigen die Ablagerungen der Cyrenenmergelgruppe zu Hangrutschungen („Schleichsand“, [69]).

Lösse und Lösslehme des Quartärs werden in der Wetterauer Perm-Scholle derzeit nicht gewonnen, außer für sehr kurzfristigen und mengenmäßig begrenzten lokalen Bedarf als Baustoff.



### **11.5.6. Vorräte und Rohstoffsicherung**

Derzeit sind rund 990 ha der Ton-Lagerstätten der Wetterauer Perm-Scholle in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUG als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen, davon 51 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“.

Die Bleichenbach-Schichten des Rotliegend, in denen die Tonabbaustellen der Wetterauer Perm-Scholle liegen, enthalten nicht selten Spuren von Amphibien und Reptilien (z.B. [70]), die für die Paläontologie von großem wissenschaftlichen Wert sind und daher z.T. für den Denkmalschutz in Betracht kommen. Auch die Sedimente des Tertiärs enthalten zahlreiche Fossilien. Es kommt daher z.T. zum Interessenskonflikt zwischen Rohstoffabbau und Erhalt von bedeutenden Fundstellen und Abbauwänden. Dieser Konflikt kann jedoch durch eine enge Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen Rohstoffindustrie und Paläontologen bzw. Denkmalschützern in der Regel für beide Seiten zufriedenstellend gelöst werden, zumal durch den Rohstoffabbau nicht nur vorhandene Fundstellen entfernt, sondern auch neue eröffnet werden.

### **11.5.7. Transportlage**

Die derzeit in Gewinnung stehenden Ton-Abbaustellen der Wetterauer Perm-Scholle sowie die ausgewiesenen Rohstoffsicherungsgebiete liegen sehr nahe am Bundesautobahn-Netz, das die Region mit dem Rhein-Main-Gebiet, dem Raum Gießen, mit Osthessen und mit Bayern (Landkreis Aschaffenburg) verbindet. Der gewonnene Rohstoff wird per LKW zu den im näheren Umkreis der Abbaustellen verarbeitenden Betrieben (Ziegeleien) befördert. Der Vertrieb der Produkte erfolgt größtenteils über Vertriebspartner, die sie regional bis überregional vermarkten.

### **11.5.8. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Stoffströme**

Die Tonrohstoffe der Wetterauer Perm-Scholle dienen der Versorgung der unmittelbaren Umgebung, der Rhein-Main-Region und des angrenzenden bayrischen Gebietes mit Ziegeleirohstoffen und -produkten.

## **11.6. Sonstige Ton-Lagerstätten Hessens**

### **11.6.1. Ausstrichgebiete des Zechsteins, Buntsandsteins und Keupers in Nord-, Mittel- und Osthessen**

Ton-Lagerstätten aus oberflächennah entfestigten Ton- bzw. Tonschluffsteinen finden sich in allen Ausstrichgebieten des Oberen Buntsandsteins (Röt-Folge) und des tonig ausgebildeten Oberen Zechsteins (früher „Zechsteinletten“/„Zechsteinton“ und „Bröckelschiefer“; s.a. Tab. 1). Untergeordnet können auch die feinsandig-tonig ausgebildeten Schichten des Unteren Buntsandsteins und

die z.T. tonig dominierten höheren Abschnitten der einzelnen Folgen des Mittleren Buntsandsteins (vorwiegend in Nordhessen, z.B. Detfurth-Ton, Volpriehausen-Wechselfolge) als Tonrohstoffe verwendet werden. Tonsteine des Keupers kommen in Mulden- und Grabenbereichen Nord- und Osthessens vor und machen flächenmäßig insgesamt nur einen geringen Teil der hessischen Ton-Lagerstätten aus. Überlagernde Löss- oder Lösslehmschichten werden häufig mitgewonnen. In Osthessen kommen sehr lokal auch Tone des Tertiärs in kleinräumigen Senkungsgebieten, z.T. Subrosionssenken, vor („kesselartige Einbrüche in der Hochfläche“, [52]). Auch sie wurden früher für keramische Zwecke genutzt.

Im Gegensatz zu den unverfestigten sedimentären Tonen des Tertiärs und Quartärs weisen die entfestigten Tonsteinlagerstätten noch Strukturen des ursprünglichen Festgesteins auf, je nach Grad der Entfestigung mehr oder weniger ausgeprägt. So ist die Schichtung i.d.R. noch sehr deutlich erhalten, ebenso wie die Klüftung oder auch Störungsbereiche. Die Schichtlagerung ist i.d.R. flach (0–15°), kann in tektonischen Mulden oder in der Nähe von Grabenstrukturen, die das gesamte Buntsandstein-Ausstrichsgebiet von Hessen durchziehen, jedoch auch deutlich steiler sein. Klüfte und Störungen stellen häufig Wasserwegsamkeiten im ansonsten geringleitenden oder stauenden Gestein dar. An Störungen ist – insbesondere in der Nähe von Grabenstrukturen – mit z.T. größeren Versatzbeträgen zu rechnen, so dass Lagerstättenmächtigkeiten sich u.U. abrupt ändern können. Die Tabelle 14 zeigt die einzelnen Teilregionen der hier beschriebenen Ton-Lagerstätten.

Tab. 14: Teilregionen der Ton-Lagerstätten in den Ausstrichgebieten des Zechsteins, Buntsandsteins und Keupers in Nord-, Mittel- und Osthessen (zu Erdzeitaltern vgl. Tab. 1)

Teilregion	als Tonrohstoffe gewinnbare Gesteine				
	Zechstein	Buntsandstein	Keuper	Tertiär	Quartär
Nordhessen: Raum Volkmarsen–Wolfhagen–Hofgeismar		x	(x)		
Nordosthessen: Raum Witzenhausen–Eschwege–Hessisch-Lichtenau	x	x	x		x
Nordosthessen: Raum Rotenburg–Sontra	x	(x)	(x)		
Mittelhessen: Raum Kirchhain–Neustadt		x		x	x
Osthessen: Raum Schenklengsfeld–Hünfeld–Lauterbach–Fulda–Rhön		x	x	(x)	x
Osthessen: Raum Schlüchtern–Sinntal („Landrücken“)		x		x	

Die **Ton- und Tonmergelsteine des Zechsteins** (früher „Zechsteinletten“) sind grau oder rotbraun, häufig karbonatisch und z.T. sulfatführend. Oberflächennah sind die Karbonat- und Sulfatgehalte jedoch als Folge der Auslaugung z.T. stark verringert. Im höchsten Zechstein liegen dunkelrot-

braune, wechselnd stark sandige Tonschluffsteine („Bröckelschiefer“). Auch sie enthalten z.T. noch Karbonat oder Sulfat, häufig in Form von Konkretionen.

Die **Tonschluffsteinlagen im Unteren Buntsandstein und** in den höheren Abschnitten der einzelnen Folgen des **Mittleren Buntsandsteins** – vorwiegend in der Volpriehausen- und Detfurth-Folge – sind rotbraun, nur vereinzelt grüngrau, und in aller Regel frei von Karbonat oder Sulfat. Sie enthalten immer deutliche Gehalte an Glimmermineralen, vorwiegend Hellglimmer bzw. Illit. Im Unteren Buntsandstein wechsellagern die Tonschluffsteine mit Feinsand- und Schluffsteinen, in abbauwürdigen Vorkommen meist in einer Ton-Schluff-dominierten dünn-schichtigen Wechsellaagerung. Im Mittleren Buntsandstein sind die Tonschluffstein meist ebenfalls als dünne Lagen in Fein- bis Mittelsandsteinen eingeschaltet, es kommen jedoch z.T. auch dezimeter- bis max. metermächtige Tonschluffsteinlagen vor.

Im nördlichen Vogelsberg-Vorland (Raum Kirtorf) sind feldspatreiche Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins besonders tiefgründig verwittert und liegen als kaolinitreiche Sande oder „Klebsande“ vor, vergleichbar mit den Lagerstätten im Raum Wächtersbach (s. Kap. 11.6.5.). Diese Vorkommen wurden zeitweise intensiver erkundet, es kam jedoch nicht zum Abbau.

Die **Ton-, Tonschluff- und Tonmergelsteine des Oberen Buntsandsteins (Röt-Folge)** sind überwiegend violettrotbraun, untergeordnet auch grau, feingeschichtet und enthalten im Gegensatz zu denen des Mittleren Buntsandsteins i.d.R. Karbonat und Sulfat als Zement, Konkretionen oder auch als sekundäre Bildungen (z.B. Kluftfüllungen aus Fasergips). Im tiefsten Teil der Röt-Folge kann Gips auch als dünne Sedimentlagen in die Tonsteine eingeschaltet sein. Auch dünne Sandsteinlagen (meist quarzitisches zementiert) kommen in den feingeschichteten Tonsteinabfolgen vor. Von den feingeschichteten Bereichen der Röt-Folge haben sich die Schichten des Röt 3 ab, die etwa in der Mitte der Röt-Folge auftreten und aus ungeschichteten rotbraunen, leicht sandigen Tonschluffsteinen bestehen. Auch hier treten Karbonat und Sulfat auf, vorwiegend als Konkretionen. Oberflächennah sind die Karbonat- und Sulfatgehalte jedoch als Folge der Auslaugung z.T. stark verringert. In den Ton- und Tonmergelsteinen der Röt-Folge kann das Tonmineral Corrensit auftreten, das aufgrund seiner Quellfähigkeit die keramischen Eigenschaften des Tonrohstoffes negativ beeinflussen kann. Ansonsten sind die Röt-Tonsteine weitgehend frei von quellfähigen Tonmineralen und daher kaum trocknungsempfindlich. Der relativ hohe Gehalt an Eisen (meist 5–6 %) bedingt rote Brennfärbungen, außerdem (als Flussmittel) eine herabgesetzte Garbrandtemperatur.

Die **Ton-, Tonschluff- und Tonmergelsteine des Keupers** sind grau oder rotbraun und enthalten – ähnlich wie die Tonsteine des Zechsteins – häufig Karbonat oder Sulfat. Oberflächennah sind die Karbonat- und Sulfatgehalte jedoch als Folge der Auslaugung z.T. stark verringert. In den Ton- und Tonmergelsteinen des Keupers kann das Tonmineral Corrensit auftreten, das aufgrund seiner Quellfähigkeit die keramischen Eigenschaften des Tonrohstoffes negativ beeinflussen kann.

Soweit **Tone des Tertiärs** in den hier beschriebenen Regionen gewonnen werden, sind sie in Zusammensetzung und Eigenschaften ungefähr mit denen der Niederhessischen Senke vergleichbar (s. Kap. 11.4.).

**Löss und Lösslehm des Quartärs (Pleistozäns)** überlagern in einigen Regionen die als Tonrohstoffe gewinnbaren Tonsteine und werden dann häufig mitgewonnen. Die Eigenschaften von Löss und Lösslehm wurden bereits in der Kap. 4 erläutert.

Entfestigte Tonsteine werden derzeit hessenweit in fünf Abbaustellen gewonnen, z.T. zusammen mit überlagerndem Lösslehm. Der Abbau erfolgt ausschließlich im Tagebau und Trockenabbau. Der Rohstoff kann aufgrund der Entfestigung ohne Sprengung mittels Hydraulikbagger oder Raupe gelöst und per Radlader oder LKW zur Aufbereitung transportiert werden. Die Gewinnung erfolgt i.d.R. unter Baurecht. Wenn die Eignung der Rohtone zur Erzeugung säurefester Produkte nachgewiesen werden konnte, wurde die Gewinnungsstelle unter Bergrecht gestellt.

Mächtige Löss- oder Lösslehmvorkommen wurden noch im 20. Jahrhundert in eigenen Abbaustellen gewonnen, diese liegen jedoch derzeit still.

Rohtone aus entfestigten Tonsteinen und Lösslehm werden in örtlichen Ziegelwerken (i.d.R. in unmittelbarer Nähe der Abbaustelle) als Grundrohstoff für Ziegelprodukte, z.T. auch für Grobkeramik eingesetzt. Absatzgebiete sind überwiegend Hessen und z.T. benachbarte Bundesländer. Die Vorräte an Tonrohstoffen aus entfestigten Tonsteinen sind in Hessen sehr groß. Eine Gewinnung lohnt sich jedoch i.d.R. nur in der Nähe eines Ziegelwerkes, daher sind die derzeit ausgewiesenen Rohstoffsicherungsgebiete vorwiegend auf (aktuelle und z.T. auch ehemalige) Ziegeleistanorte konzentriert.

Derzeit sind rund 1700 ha als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen, davon ca. 70 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL, Bestand und Planung)“.

### **11.6.2. Östlicher Odenwald**

Die Odenwälder Ton-Lagerstätten liegen im östlichen Odenwald, dem sog. „Buntsandstein-Odenwald“, wo die Schichten des Zechsteins und Oberen Buntsandsteins (vgl. Tab. 1) zutage austreichen.

Die amtlichen geologischen Karten und Erläuterungen des Buntsandstein-Odenwaldes liegen ausnahmslos als faksimilierte Nachdrucke der Erstausgaben aus der Zeit von 1894–1928 vor. Neuere Informationen, insbesondere zu aktuellen und ehemaligen Abbaustellen, finden sich in diversen geologischen Einzelveröffentlichungen und Exkursionsführern, z.B. [71] - [73]. Lagerstättenkundli-

che Untersuchungen existieren nur teilweise, i.d.R. als unveröffentlichte betriebsinterne Untersuchungen.

Die Odenwälder Ton-Lagerstätten liegen einerseits in den tonig-schluffigen Ablagerungen des hier in Randfazies ausgebildeten Zechsteins („Bröckelschiefer-Fazies“), andererseits in den tonig-schluffigen Schichtabschnitten des Oberen Buntsandsteins (Röt-Folge, hier insbes. die sog. „Oberen Röt-Tone“ am Top). In beiden Fällen handelt es sich um rotbraune, lagenweise auch grüngraue, z.T. feinsandige Tonschluffsteinabfolgen mit eingelagerten geringmächtigen Feinsandsteinlagen. Die Schichten lagern horizontal bis flach ( $5-10^\circ$ ) einfallend. Die Zechstein-Tonsteine liegen z.T. auf Dolomit- oder Mergelstein des Zechsteins, auf Brekzien des Rotliegend oder direkt auf kristallinen Gesteinen und werden überlagert von Sandsteinen des Unteren Buntsandsteins. Die Röt-Tonsteine (Obere Röt-Tone) liegen auf quarzitischen Sandsteinen des Röt und werden überlagert von Kalk- und Mergelsteinen des Muschelkalks. Die maximale Lagerstättenmächtigkeit der Zechstein-Tonsteine liegt bei etwa 30–40 m, die der Röt-Tonsteine bei etwa 25–30 m.

Sowohl die Tonschluffsteine des Zechsteins als auch die der Röt-Folge sind Illit-dominiert und bestehen zum größten Teil aus Schluff (ca. 50–70 % nach [72]), bei wechselnden Ton- (ca. 20–30 %) und Feinsandgehalten (ca. 10–20 %). Je nach Sand- und Tongehalt handelt es sich um magere oder halbfette, z.T. sogar fette Tone. Sand- und Tongehalt wechseln von Schicht zu Schicht innerhalb einer Lagerstätte, variieren jedoch lateral innerhalb einer Schicht nur über größere Distanzen. In den Zechstein-Lagerstätten liegen an der Basis meist die fettesten (tonreichsten) Qualitäten und am Top die magersten (sandreichsten). Nach [73] enthalten die Zechstein-Tonsteine an Tonmineralen außer dem dominierenden Illit nur Kaolinit, dessen Anteil nach oben zunimmt (ca. 10–50 %). Die Röt-Tonsteine führen außer Illit (50–90 % nach [72]) geringe Anteile an Chlorit (ca. 10 %, selten max. 20 %), z.T. auch Kaolinit oder (alternativ) Smektite. Teilweise kann in den Röt-Tonsteinen auch Corrensit enthalten sein (6–18 %).

Die Tonschluffsteine des Zechsteins und des Röt werden ausschließlich im Tagebau gewonnen. Derzeit sind nur zwei Abbaustellen in Betrieb (Michelbach und Reichelsheim, vgl. Abb. 14). Die Tonsteine sind oberflächennah bis in mehrere Zehnermeter Tiefe so stark entfestigt, dass sie ohne Sprengtechnik mit Hydraulikbaggern abgegraben werden können. Der Abtransport erfolgt per Radlader und LKW.



Abb. 14: Tagebau „Vierstöck“, Reichelsheim, Abbau von Tonschluffsteinen des Zechsteins (Foto: HLUG, 2000)

Die Tonschluffsteine werden als Rohtone in der Ziegelindustrie und Baukeramik und für andere grobkeramische Produkte eingesetzt. Dazu wurde z.T. die Säurefestigkeit der Rohtone geprüft und nachgewiesen. Besonders magere Qualitäten werden z.T. als Zuschlagstoff (Magerungsmaterial) verwendet. Um trotz der variierenden Zusammensetzung der einzelnen Tonschichten einer Lagerstätte möglichst homogene Rohtone erzeugen zu können, werden die Tonqualitäten z.T. selektiv gewonnen und anschließend in geeignetem Verhältnis gemischt.

Derzeit sind rund 40 ha der Ton-Lagerstätten des Odenwaldes in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUG als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen, davon ca. 17 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“.

Die Zechstein- und Röt-Tonsteine des Odenwaldes werden vorwiegend in nahe gelegenen Ziegelwerken verarbeitet, z.T. werden die Rohtone auch an Großhändler als Zulieferer für die keramische Industrie verkauft. Der Absatz konzentriert sich auf Hessen und angrenzende Bundesländer (Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz).

### **11.6.3. Nördliches Rheinisches Schiefergebirge**

Im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge (nördlich des Taunus) liegen Ton-Lagerstätten in Sedimentschichten des Devons und des Karbons (vgl. Tab. 1), wenn in diesen Tonsteine bzw. Tonschiefer gegenüber Metasandsteinen und Grauwacken dominieren. Entsprechend dem tektonischen Schuppen- und Faltenbau des Rheinischen Schiefergebirges erstrecken sich die Lagerstätten i.d.R.

in SW–NE-Richtung. Der Grad der Schieferung ist unterschiedlich, er reicht in den tonigen Sedimenten des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges ungefähr von sehr schwach bis mäßig. Die Tonsteine und Tonschiefer des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges sind i.d.R. nicht wie im Taunus tiefgründig kaolinisiert. Stattdessen tritt häufig eine Rotfärbung auf, die auf Verwitterung während des Perms und die Oxidation von zweiwertigem Eisen zu dreiwertigem zurückgeht (s.u.).

Bei den „Tonsteinen“ und „Tonschiefern“ des Devons und Karbons handelt es sich i.d.R. um tonig-feinsandige Schluffsteine (s. Tab. 15). Bei den Ton- und Glimmermineralen herrscht Illit bzw. Serizit gegenüber Kaolinit bei weitem vor, daneben ist Quarz in erheblichen Anteilen enthalten. Entsprechend sind auch die SiO<sub>2</sub>-Gehalte relativ hoch und die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte gering.

Tab. 15: Zusammensetzung devonischer Tonschiefer („Rotschiefer“) bei Haiger, Grube Kreuz („Kreutz-Ton“, zusammengestellt nach [2])

Korngrößen [%]		Mineralogie [%]		Geochemie [%]	
Ton (< 0,002 mm)	16	Kaolinit	6	SiO <sub>2</sub>	58,5
Schluff (0,002-0,063 mm)	70	Illit	59	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,55
Sandfraktion (0,063-2 mm)	14	Quarz	35	TiO <sub>2</sub>	0,7
natürlicher Wassergehalt (Grubenfeuchte) [%]	ca. 3 %	Fe-, Ti-Oxide	k.A.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,4
				Na <sub>2</sub> O	0,45
				K <sub>2</sub> O	4,8
				CaO	4,15
				MgO	2,3
				Glühverlust	5,95

Die Gesteine sind oberflächennah häufig leicht entfestigt (bis zu „halbfest“) bzw. der Gesteinsverband ist aufgelockert. Der Grad der Entfestigung ist jedoch i.d.R. wesentlich geringer als bei den Tonsteinen der Buntsandstein-, Zechstein- und Keuper-Ausstrichgebiete (s.d.). Bei schwacher Schieferung zerfallen die Tonschiefer häufig in längliche splittrige Bruchstücke (z.T. „griffelartig“, s. Abb. 15), bei etwas stärkerer Schieferung in plattig-blättrige Scheiben. Bei der Rotverwitterung während des Perms (s.o.) wurde SiO<sub>2</sub> abgeführt, so dass die roten Tonsteine und Tonschiefer weicher sind als die ursprünglich grauen und sich daher leichter abbauen und weiterverarbeiten lassen [74].



Abb. 15: Splittrig brechende Rotschiefer des Unterkarbons aus der Tongrube Sachsenberg, nördliches Rheinisches Schiefergebirge (Foto: HLUG).

Die Tonstein- und Tonschiefer-Lagerstätten ergeben Rohtone mit relativ niedriger Sintertemperatur und breitem Sinterintervall (DKG 1966c, vgl. Tab. 16). Entsprechend dem Eisengehalt sind sie rotbrennend. Für die Verwendung in der keramischen Industrie von Bedeutung sind außerdem die geringe Trockenempfindlichkeit, die gute Gießfähigkeit und die Plastizität bzw. Verformbarkeit, besonders wenn der Rohton mit höher plastischen Tönen gemischt wird.

Tab. 16: Technische Eigenschaften devonischer Tonschiefer („Rotschiefer“) bei Haiger-Langenaubach, Grube Kreuz („Kreuz-Ton“, zusammengestellt nach [2])

Plastizitätszahl (Pfefferkorn)	21
Trockenschwindung	6 %
Trockenbiegefestigkeit	15,1 kp/cm <sup>2</sup> = 1,48 N/mm <sup>2</sup>
Brennfarbe	hellrot bis tiefrot
max. Brennschwindung	9,3 % bei 1050 °C
Wasseraufnahme nach Brennen	9,7 % nach Brennen auf 1050 °C
Erweichungstemperatur	1100 °C



Derzeit existieren nur zwei aktive Gewinnungsstellen auf Tonschiefer im hessischen Teil des Rheinischen Schiefergebirges. Der Tonschiefer wird heute ausschließlich im Tage- und Trockenabbau gewonnen. Aufgrund der Entfestigung des Tonschiefers ist das Lösen mittels Hydraulikbaggern oder Raupen möglich, gesprengt werden muss nur in Ausnahmefällen bei festerem Gesteinsverband. Der Transport erfolgt per Radlader oder LKW. Die Tonschiefer werden z.T. auch für mehrere Monate aufgehaldet, um von natürlichen Entfestigungsprozessen der Verwitterung zu profitieren.

Die Tonschiefer werden in örtlichen Ziegel- und Klinkerwerken weiterverarbeitet. Es werden gemahlene Massen, Terrazzokörnungen, Ziegel- und Klinkerprodukte hergestellt. Die Weiterverarbeitung des lokalen Tonrohstoffs bildet derzeit z.T. nur noch eines von mehreren Standbeinen der noch tätigen Betriebe.

Aufgrund der geringen Abbautätigkeit werden derzeit nur wenige Tonschiefer- (und Lösslehm-) Lagerstätten des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUg als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen, derzeit rund 700 ha, davon ca. 30 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“. Die gesicherten Vorräte an Rotschiefer reichen noch für mehrere Jahrzehnte.

Bei der Erkundung und Erschließung neuer Abbauflächen ist die Verbreitung der Rotfärbung des Schiefers wegen der damit verbundenen Entfestigung von Bedeutung. Die Einschaltung von Meta-sandstein- oder Grauwackenbänken in die Tonschiefer begrenzt deren wirtschaftlichen Abbau.

Der Transport des Rohstoffs von der Abbaustelle in die nahe gelegene Weiterverarbeitung (Ziegel-, Klinkerwerk) erfolgt per LKW, ebenso der Vertrieb der Produkte.

Der Tonschieferabbau hat derzeit eher lokale Bedeutung (örtliche Ziegel-, Klinkerwerke), z.T. auch überregionale (Vertrieb keramischer Massen und Produkte). Die Weiterverarbeitung des lokalen Tonrohstoffs bildet derzeit nur noch eines von mehreren Standbeinen der noch tätigen Betriebe.

Abgebaute Bereiche werden meist teilverfüllt und unter naturschutzfachlichen Aspekten „renaturiert“, z.T. aber auch an angrenzende Gewerbegebiete angeschlossen.

#### **11.6.4. Nördlicher Oberrheingraben, Untermainebene und Hanauer Becken**

Im Bereich des Nördlichen Oberrheingrabens, der Untermainebene und des Hanauer Beckens (inkl. Dieburger Becken) stellen Tone des Pliozäns (jüngstes Tertiär, vgl. Tab. 1) und des Pleistozäns

(Quartär) potenzielle – heute nur noch teilweise genutzte – Ton-Lagerstätten dar. Auch pleistozäne Lösslehme kommen hier in z.T. abbauwürdiger Mächtigkeit vor, häufig als Überlagerung der o.g. Tone (s. Abb. 1). Untergeordnet wurden früher auch Tone des älteren Tertiärs, z.B. Rupelton oder Cyrenenmergel bei Hochheim und Igstadt, als Ziegelei- und z.T. auch Zementrohstoff genutzt [68], [75].

Die Ton-Lagerstätten des Nördlichen Oberrheingrabens, der Untermainebene und des Hanauer Beckens (inkl. Dieburger Becken) sind im Rahmen der amtlichen geologischen Kartierung relativ detailliert erkundet worden, es liegen teilweise moderne geologische Karten mit Erläuterungen vor (z.B. [75], [76], [68]). Aufgrund des historischen Tonabbaus ist auch die Lage der Ton-Lagerstätten auf älteren geologischen Kartenblättern bekannt und in den zugehörigen Erläuterungen meist relativ detailliert beschrieben worden (z.B. [77], [78]). Darüber hinaus liegen mehrere unveröffentlichte lagerstättenkundliche Gutachten vor.

Bei den pliozänen Tonen handelt es sich um bunte, nahezu kalkfreie, dicht gelagerte, z.T. bituminöse, wechselnd feinsandige schluffige Tone (Tongehalte 40-50%) bis tonige Schluffe (Tongehalte 5-30 %; [79]). Sie sind überwiegend – abhängig vom Tonmineralgehalt – relativ reich an  $Al_2O_3$  (20–24 %: „halbfett“, z.T. bis 38 %: „fett“). Zum Teil sind Braunkohle-, Sand- und Kieslagen eingeschaltet.

Die pleistozänen Tone („**Langener Ton**“) sind ebenfalls von der Korngrößenverteilung her wechselnd sandige schluffige Tone (Tongehalte 40-60%) bis tonige Schluffe (Tongehalte 30–40 %; [79]). Im Gegensatz zu den pliozänen Tonen sind sie jedoch meist karbonatführend, weniger dicht gelagert sowie häufig deutlich sandiger und dann  $Al_2O_3$ -ärmer (9–13 %: „mager“), obwohl auch hier halbfette bis fette Qualitäten vorkommen [77], [78]. Eingeschaltete Sandlagen können bis über 1 m mächtig sein.

Sowohl die pliozänen als auch die pleistozänen Ton-Lagerstätten sind relativ kleinräumige Lagerstätten: Die Tonlager variieren in Mächtigkeit und Zusammensetzung auf relativ kurzer Distanz, und auch die Anzahl und Mächtigkeit eingeschalteter Sand- und Kiesschichten ändert sich lateral relativ rasch. Vor der Bewertung und Ausbeutung einer Lagerstätte sind daher gründliche Erkundungsarbeiten (Bohrungen) erforderlich.

Insbesondere die halbfetten und fetten Tonqualitäten wurden noch bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts als Rohstoff für keramische und Feuerfest-Erzeugnisse genutzt [52]. Frühere Abbaustellen, Töpfereien und Ziegeleien lagen z.B. bei Mörfelden, Egelsbach und Langen sowie zwischen Urberach und Dieburg [77], [78]. Von letzterem Bereich werden Lagerstättenmächtigkeiten von 10 m beschrieben [78].

Heute werden pleistozäne und pliozäne Tone noch in der Umgebung von Seligenstadt (Hainstadt und Mainflingen) abgebaut. Die Mächtigkeit der Tonlager liegt im Mittel bei 4–6 m, teilweise auch bei bis zu 10 m, teilweise sind zwei Tonlager ausgebildet. Die Tone wechsellagern mit Sanden, die in diesem Gebiet häufig nahezu kiesfrei und relativ quarzreich sind und zusammen mit den Tonen abgebaut werden. Teilweise werden bei der Produktion für die Ziegelindustrie und Grobkeramik weitere keramische Rohstoffe aus anderen Lagerstättenregionen zugemischt (z.B. Westerwälder Tone oder Tonmergel des Tertiärs aus dem Rhein-Main-Gebiet).

Lösslehme des Quartärs wurden früher in zahlreichen Abbaustellen als Ziegeleirohstoff gewonnen, z.B. am nördlichen Mainufer zwischen Hochheim und Frankfurt-Zeilsheim oder bei Bensheim-Heppenheim (hier in Verbindung mit quartären Auensedimenten). Heute beschränkt sich der Lehmbau auf die Umgebung von Reinheim und Ober-Ramstadt am SW-Rand der Dieburger Bucht, wo Lösslehm und z.T. unterlagernde Tone und entfestigte Tonschluffsteine als Ziegeleirohstoffe abgebaut werden. Die Lösslehmächtigkeit erreicht hier 10–15m.

Derzeit sind rund 1250 ha der Ton-Lagerstätten des Nördlichen Oberrheingrabens, der Untermainebene und des Hanauer Beckens in der „Karte der Rohstoffsicherung 1:25.000 (KRS 25)“ des HLUG als Rohstoffsicherungsgebiete ausgewiesen, davon ca. 60 ha als „Gebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten (GAoL)“.

Der Absatz der pleistozänen und pliozänen Tone des Nördlichen Oberrheingrabens, der Untermainebene und des Hanauer Beckens beschränkt sich größtenteils auf Hessen, z.T. auch auf das benachbarte Unterfranken (Bayern). Ein geringerer Anteil wird nach Angaben der Abbaufirmen auch europaweit vermarktet.

#### **11.6.5. Raum Wächtersbach**

Am Südrand des Vogelsberges zwischen Ortenberg, Büdingen, Wächtersbach und Brachtal liegen Ton-Lagerstätten aus intensiv kaolinisiertem Buntsandstein und aus sedimentären Tonen des Tertiärs (vgl. Tab. 1).

Die Wächtersbacher Ton-Lagerstätten sind insbesondere an den ehemaligen Abbaustellen vielfach untersucht und in Gutachten und z.T. Veröffentlichungen dokumentiert worden, z.B. durch [80]. Am Südrand des vulkanischen Vogelsberges sind Sandsteine des Buntsandsteins z.T. intensiv und tiefreichend kaolinisiert, so dass hier kaolinitisch-illitische Ton-Lagerstätten vorliegen (Abb. 16). Die im Rohstoffbereich z.T. gebräuchliche Bezeichnung „Kaolin“ sollte hier aufgrund des sehr hohen Sand- bzw. Quarz-Gehalts (s. Tab. 17) nicht verwendet werden. Die Ursache der Kaolinisierung wird vorrangig auf mesozoisch-tertiäre Verwitterung unter tropisch-humidem Klima zurück-

geführt, die bereits für die saprolitischen Ton-Lagerstätten des Taunus und des Westerwaldes erläutert wurde (s.d.; [80]). Da die Kaolinisierung des Buntsandsteins in Hessen jedoch vorwiegend in auffallender Nähe zum vulkanischen Vogelsberg (miozäner Vulkanismus) auftritt, kommen auch zirkulierende vulkanogene CO<sub>2</sub>-reiche Wässer als Mitursache in Betracht (hydrothermaler Zersatz).

Auch in den nördlich und östlich des Vogelsberges gelegenen Ausstrichgebieten des Buntsandsteins kommen z.T. tiefgründig zersetzte und kaolinisierte Bereiche vor, z.B. im Raum Kirtorf am Nordrand des Vogelsberges. Diese Vorkommen werden derzeit jedoch nicht als Lagerstätten genutzt oder gesichert.



Abb. 16: Tiefgründig zersetzter, kaolinisierter Buntsandstein (Volpriehausen-Wechsel-  
folge, Mittlerer Buntsandstein) im ehemaligen Tagebau Ortenberg (Foto: HLfB, 1990).

Das kaolinisierte Buntsandstein-Material enthält – je nach Zusammensetzung des Ausgangsgesteins – sehr hohe Sandanteile und vergleichsweise wenig Ton (s. Tab. 17). Die Ton- und Feinschlufffraktion besteht jedoch überwiegend (ca. 80 %) aus Kaolinit, außerdem aus Illit bzw. Glimmermineralen (10–20 %). Smektite kommen nicht vor, und das Material ist frei von Karbonat- oder Schwefelmineralen.

Tab. 17: Zusammensetzung des tiefgründig kaolinitisch zersetzten Mittleren Buntsandsteins (Volpriehausen-Wechselfolge) von Ortenberg (aus [80])

Korngrößen [%]		Mineralogie [%]	Ton- u. Feinschluff-Fraktion (< 0,0063 mm)	Mittelschluff-Fraktion (0,0063–0,02 mm)	Grobschluff- u. Sand-Fraktion (> 0,02 mm)
Ton (< 0,002 mm)	11	Kaolinit-Minerale	75-83	30	1-2
Schluff (0,002-0,063 mm)	4	Illit	18-10	16	1-3
Sandfraktion (0,063-2 mm)	84,9	Quarz	7	54	97-95
		Feldspat	gering (n.b.)	gering (n.b.)	gering (n.b.)

Außer den Verwitterungslagerstätten aus Buntsandstein kommen im Raum Wächtersbach sedimentäre Tone des Tertiärs (Oligozän bis Unter-Miozän, [20]) im Liegenden der Basaltischen Vulkanite vor. Es handelt sich um helle kaolinitisch-illitische Tone mit wechselndem, z.T. sehr hohem Sandgehalt und eingelagerten Einkieselungsquarziten und Braunkohlelagen. Sandige Tonlagen haben z.T. die Eigenschaften von Glassand (s. Kap. 11.4.).

Bei Wächtersbach und Brachtal wurden früher die kaolinitisch-illitischen sedimentären Tone des Tertiärs und kaolinisierter Buntsandstein für die örtliche, bis heute international bekannte Steingut- und Porzellanindustrie abgebaut. Heute werden jedoch keine lokalen Tonrohstoffe mehr verwendet. Derzeit werden 224 ha der Wächtersbacher Ton-Lagerstätten als Reservegebiete für die Ton-Gewinnung gesichert.

Die Ton-Lagerstätten im Raum Wächtersbach haben derzeit keine volkswirtschaftliche Bedeutung. Die ehemaligen Abbaustellen sind i.d.R. verfüllt oder teilverfüllt und „renaturiert“.

### 11.6.6. Bad Homburg

In Bad Homburg wird in sehr geringem Umfang und nur sporadisch Ton des Unter-Miozäns (Tertiärs, vgl. Tab. 1) gewonnen, der traditionell als „Bad Homburger Ton“ bzw. „Bad Homburger Heilerde“ für den Bad Homburger Kurbetrieb eingesetzt wird [81]. Es handelt sich um einen grauen, relativ fetten, ausgeprägt plastischen schluffigen Ton (ca. 65 % Ton, 30 % Schluff, 5 % Sand). Die Tonmineralfraktion setzt sich aus ca. 70 % Kaolinit, ca. 20 % Illit und ca. 10 % Smektiten zusammen. Eingeschaltet in den Ton sind Sandlagen und –linsen, deren Verbreitung und Häufigkeit lateral und vertikal auf kurzer Distanz wechselt. Die gewinnbaren Tonvorkommen sind daher i.d.R. räumlich sehr eng begrenzt.

Für den genannten Einsatzbereich ist die hohe Wärmeleitfähigkeit und das hohe Sorptionsvermögen des Tons von besonderer Bedeutung, außerdem die mikrobiologisch-hygienisch unbedenkliche Beschaffenheit. Wegen der Verwendung als lokaltypisches Heilmittel ist in diesem Fall auch die Herkunft des Tons aus der unmittelbaren Umgebung des Kurortes Bad Homburg ein besonders

wichtiges Kriterium bei der langfristigen Rohstoffsicherung und ggf. notwendigen Planung neuer Abbaustellen.

## 12. Substitution und Recycling von Tonrohstoffen

Bei der Herstellung keramischer Produkte wurden anfallende Reste an Rohmaterial (z.B. Späne-massen, Abdrehreste, überschüssige Schlicker, Glasuren), z.T. auch Bruch von bereits getrockneter oder gebrannter Ware wieder eingesetzt [82]. **Recycling** ist von daher in der keramischen Industrie nicht neu. Auch heute ist die Recyclingrate innerhalb eines Produktionsprozesses i.d.R. hoch, bei manchen Produktionsverfahren sogar vollständig. Das Fertigprodukt „unglasierte Ware“ wird häufig zu sehr hohen Anteilen bis vollständig rezykliert (Schamotte). Bereits angewendete keramische Produkte können dagegen i.d.R. nur im Rahmen von Bauabbruchmaterial als Recyclingrohstoffe verwendet werden. Dabei kommt die häufig sehr hohe Lebensdauer (mehrere 100 Jahre) von keramischen Bauteilen positiv zum Tragen. Das Nutzungsende dieser Produkte ist nicht selten in der Modeentwicklung begründet oder auch in dem Funktionsende anderer Bauteile z.B. eines Gebäudes begründet, nicht im Verschleiß der keramischen Produkte selbst.

Die Wiederverwendung gebrannter Ware in der keramischen Produktion wird allerdings beschränkt durch die Tatsache, dass die meisten tonmineralogischen Reaktionen, die während des Brandes ablaufen, irreversibel sind. So verlieren quellfähige Tone nach dem Brand irreversibel ihre Quellfähigkeit, und bestimmte, für den Fertigungsprozess u.U. wichtige Materialreaktionen, die auf Tonmineralumwandlungen während des Brandes zurückgehen, lassen sich mit den wiederverwendeten Endprodukten nicht wiederholen. Wird jedoch gebrannte Ware mit bekannter chemischer und mineralogischer Zusammensetzung in aufgemahlener Form gezielt eingesetzt und in den Versatz einberechnet, können sogar positive Effekte erzielt werden, z.B. eine erhöhte Festigkeit des Endproduktes [82].

Einen Sonderfall stellen im Zusammenhang mit Recycling die Feuerfestmaterialien dar. Feuerfeste keramische Produkte können grundsätzlich nur durch andere feuerfeste Materialien ersetzt werden. Seit einiger Zeit werden beispielsweise plastisch geformte Feuerfest-Materialien zunehmend durch trocken geformte ersetzt, verbunden mit entsprechenden Weiterentwicklungen in der Feuerfest-Technologie. Ebenso können schwere Feuerfest-Bauteile heute zunehmend durch Leichtkonstruktionen (Feuerleichtsteine, feuerfeste Fasern oder Matten) ersetzt werden.

Bei der Herstellung feuerfester keramischer Produkte werden recyclingfähige keramische Feuerfestmaterialien wiederverwendet. Dazu werden z.B. ausgebrochene Feuerfestkeramik (Ofenausmauerungen) und fehlerhafte Erzeugnisse sortiert, aufgemahlen und den Feuerfestrohmassen zugeführt. Die Nachfrage an diesen Recycling-fähigen Feuerfestkeramikresten ist groß.

Auch die **Substitution** von Tonrohstoffen durch andere Stoffe ist – in den Grenzen der immer steigenden Materialanforderungen – möglich. Beispielsweise kann aufgehaldetes Bergematerial aus dem Steinkohlebergbau durch relativ aufwändige Verfahren zu keramisiertem Material aufbereitet und z.B. im Straßenbau (Tragschichten), aber auch in der keramischen Industrie (z.B. Ziegel, Bausteine) verwendet werden [8]. Auch Reststoffe aus anderen Industriezweigen kommen als Substitute für Tonrohstoffe in Betracht, z.B. Tonerden, Quarzmehle, Silicastaube, Flussmittel wie Karbonate u.a.. Auch Aschen und Schlacken stellen potenzielle Substitute dar, zumal viele in ihrer Zusammensetzung gebrannten oder verglasten Ton darstellen und sich daher ähnlich wie Schamotte verhalten [82].

Wichtig für die keramische Produktion ist dabei allerdings, dass die eingesetzten Ersatzrohstoffe – wie Primärtone auch – in nahezu gleichbleibender Qualität über längere Zeit lieferbar sind und dass sie keine Stoffe enthalten, die den keramischen Produktionsprozess stören. Die Eignung eines Materials als Substitut für einen Tonrohstoff erfordert i.d.R. eine genaue Analyse des Materials sowie Testreihen in der Produktionskette [82].

### 13. Literatur

- [1] Felix-Henningsen, P. (1990): Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge: Aufbau, Genese und quartäre Überprägung.- Relief Boden Palaeoklima, Bd. 6: IX +192 S., 50 Abb., 14 Tab., 27 Fot., 39 Tab. im Anh.; Berlin (Borntraeger).
- [2] Deutsche Keramische Gesellschaft e.V., DKG (1966c): Nr. 35 Kreutzton Langenaubach.- Rohstoff-Merkblatt der Deutschen Keramischen Gesellschaft: Ton; Bad Honnef/Rhein (Verlag DKG).
- [3] Deutsche Keramische Gesellschaft e.V., DKG (1966b): Nr. 27 Kaolinton von Oberbrechen.- Rohstoff-Merkblatt der Deutschen Keramischen Gesellschaft: Ton; Bad Honnef/Rhein (Verlag DKG).
- [4] Müller, C. (1985): databook für keramik, glas, baustoff, produktion: CM-Datenbank.- , 47. Aufl.: Coburg (sprechsaal publishing group).
- [5] Schönhals, E. (1996): Ergebnisse bodenkundlicher Untersuchungen in der Hessischen Lößprovinz mit Beiträgen zur Genese des Würm-Lösses.- Boden und Landschaft, Bd. 8: 272 S., 44 Abb., 68 Tab., 2 Kt.; Gießen (Justus-Liebig-Universität).
- [6] Bender, W. & Händle, F. (1982, Hrsg.): Handbuch für die Ziegelindustrie. Verfahren und Betriebspraxis in der Grobkeramik.- 832+66 S.; Wiesbaden (Bauverlag).
- [7] Didier-Werke AG (1974, Hrsg.): Didier Feuerfesttechnik: Feuerfeste Baustoffe und ihre Eigenschaften.- , 8. Aufl.: Darmstadt (Druckhaus Darmstadt).
- [8] Eggert, P., Hübner, J. A., Priem, J., Stein, V., Vossen, K. & Wettig, E. (1986): Steine und Erden in der Bundesrepublik Deutschland - Lagerstätten, Produktion und Verbrauch.- Geol. Jb. D, Bd. 82: 879 S., 17 Abb., 156 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- [9] Jasmund, K. & Lagaly, G. (1993, Hrsg.): Tonminerale und Tone. Struktur, Eigenschaften, Anwendung und Einsatz in Industrie und Umwelt.- 490 S.; Darmstadt (Steinkopff).
- [10] Krakow, L. (2002): Klassifikation und Bezugsquellen eignungsgeprüfter Ton- und Magerungsrohstoffe in Deutschland (Teil 2).- Ziegelzeitschrift, 4: 32-37.

- [11] Pohl, W. L. (2005): Mineralische und Energie-Rohstoffe. Eine Einführung zur Entstehung und nachhaltigen Nutzung von Lagerstätten.- W. und W. E. Petrascheck's Lagerstättenlehre, 5. Aufl.: 527 S., 189 Abb.; Stuttgart (E. Schweizerbart (Nägele u. Obermiller)).
- [12] Fiebiger, W. (1997): Spezialtone für die keramische Industrie - Reserven, Produktion, Handel, Perspektiven.- Bundesverband Keramische Rohstoffe e.V. & Deutsche Keramische Gesellschaft e.V., Hrsg.: International Conference on Raw Materials for the Silicate Ceramic Industries, Ransbach-Baumbach, Germany 20/21 May 1997; Abstracts/Reprints: 23-34; Ransbach-Baumbach.
- [13] WBB Fuchs (2003): WBB Fuchs Umweltbericht.- , Bd. **2003**: 22 S.; Ransbach-Baumbach.
- [14] WBB Fuchs (2004): WBB Fuchs Umweltbericht.- , Bd. **2004**: 22 S.; Ransbach-Baumbach.
- [15] Krakow, L. & Spang, W. D. (2005): Tonabbau und Naturschutz in der Ziegelindustrie: Geologisches Rohstoff-Potential. Renaturierung. Erfolgreiche Umsetzung.- 50 S.; Bonn/Berlin (Ziegel-Information GmbH).
- [16] Kromer, H. (1980): Tertiary clays in the Westerwald area.- Geol. Jb. D, **39**: 69-84; Hannover.
- [17] Ahrens, W. (1964): Einführung in die Geologie der Tonlagerstätten des Westerwaldes und angrenzender Gebiete.- Ber. Dtsch. Keram. Ges., **41**: 236-239; Bad Honnef/Rhein.
- [18] Butz, R. & Vortisch, W. (1987): Geological and clay-mineralogical investigations in the northeastern Westerwald.- cfi/Ber. DKG, **87** (3/4): 97-103; Baden-Baden.
- [19] Carson, B. R. (1997): Zur Eignung der tertiären Tone von Wimpsfeld (Westerwald) als mineralische Schadstoffbarriere unter Einfluß von anorganischen Sickerwässern.- Geol. Jb. Hessen, **125**: 63-94; Wiesbaden.
- [20] Hottenrott, M. (1988): Palynologie, Stratigraphie und Paläogeographie im Tertiär von Mittelhessen und Umgebung.- Geol. Jb. Hessen, **116**: 113-168; Wiesbaden.
- [21] Hottenrott, M. (2002): Neue palynologische Daten zur stratigraphischen Einstufung der älteren Tonserie (Unteres Tonlager, Mittel-Eozän) im Westerwald.- Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, **237**: 69-75, 1 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Frankfurt a. M.
- [22] Pauly, E. (1988): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe am Südrand des basaltischen Westerwaldes und im Limburger Becken (Exkursion I am 9. April 1988).- Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., **70**: 191-199, 1 Abb.; Stuttgart.
- [23] Theodor Stephan KG (2000): Standardtone von altem Adel.- cfi ceramic forum, **6**.
- [24] Vortisch, W. & Butz, R. (1987): Tonlagerstätten des nordöstlichen Westerwaldes - geologische und tonmineralogische Untersuchungen.- Ziegelindustrie ZI International, **87** (9): 385-393.
- [25] Veerhoff, M. & Spies, D. (1996): Tropische Verwitterung im Rheinischen Schiefergebirge - Klimazeugen und Lagerstätten.- In: Thein, J. & S. A., Hrsg.: Exkursionsführer zur 148. Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft und der 3. Jahrestagung der Gesellschaft für Umweltgeowissenschaften, Bonn. Terra Nostra, **96/7**: 99-118, 9 Abb., 1 Tab.; Köln (Selbstverlag der Alfred-Wegener-Stiftung).
- [26] Kromer, H. (1978b): Nr. 105 Hermannnton HB 40/42 (8074).- In: Deutsche Keramische Gesellschaft e.V., DKG: Rohstoff-Merkblatt der Deutschen Keramischen Gesellschaft: Ton. Ber. Dt. Keram. Ges., **55** (8); Bad Honnef/Rhein (Verlag DKG).
- [27] Kromer, H. (1978a): Nr. 104 Stoßton 111 Langenaubach.- Deutsche Keramische Gesellschaft e.V., DKG: Rohstoff-Merkblatt der Deutschen Keramischen Gesellschaft: Ton. Ber. Dt. Keram. Ges., **55** (1); Bad Honnef/Rhein (Verlag DKG).
- [28] Engel, K.-H. (1966): Neue Tonlagerstätten und ihre Bedeutung: 1. Tonlagerstätte Eisenbach im Taunus.- Ziegelindustrie ZI International, **1966** (2): 48-50.
- [29] Engel, K.-H. (1968a): Neue Tonlagerstätten und ihre Bedeutung: Beschreibung zur geologischen Kartendarstellung und zum Querprofil der Tongrube Eisenbach.- Ziegelindustrie ZI International, **1968** (5): 92-95.



- [30] Engel, K.-H. (1968b): Neue Tonlagerstätten und ihre Bedeutung (II. Teil): Beschreibung zur geologischen Kartendarstellung und zum Querprofil der Tongrube Oberbrechen (Kaolin- und Tonwerk).- Ziegelindustrie ZI International, **1968** (6/7): 137-140.
- [31] Köster, H. M. (1980): Kaolin Deposits of Eastern Bavaria and the Rheinische Schiefergebirge (Rhenish Slate Mountains). – Geol. Jb. D, 7-23; Hannover
- [32] Goerg, H. (2002): Die Rohkaolinlagerstätte Kettenbach im Taunus.- Keramische Zeitschrift, **54** (10): 862-865; Wiesbaden.
- [33] Michels, F. (1972): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5914 Eltville a. Rhein.-, 3. Aufl.: 79 S., 2 Abb.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [34] Anderle, H.-J. (1991): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5715 Idstein.-, 2. Aufl.: 239 S., 32 Abb., 21 Tab., 1 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [35] Behne, W. & Hoenes, D. (1955): Die Kaolinlagerstätte von Geisenheim (Rheingau).- Heidelb. Beitr. Min. Petrogr., **4**: 412-433; Berlin.
- [36] Kroll, J. M. & Borchert, W. (1969): Geologisch-petrographische Untersuchungen an westdeutschen Kaolinlagerstätten, III. Kaolinlagerstätte Geisenheim/Rheingau.- Ber. Dtsch. Keram. Ges., **46**: 138-142; Bad Honnef.
- [37] Lob, F. (1963): Rohstoffe für die Keramik aus den Geisenheimer Kaolinwerken.- Keramische Zeitschrift, **15** (2): 74-75.
- [38] Malkovsky, M. & Vachtl, J. (1969, eds.): Kaolin Deposits of the World, A-Europe, B-Overseas Countries. Proceedings of Symposium 1, 23rd International Geological Congress, Prague, 1968.- 460 S.; Prag.
- [39] Kümmerle, E. (1987): Kurmainzischer Bergbau im Raum Rüdesheim a. Rhein - Presberg.- Geol. Jb. Hessen, **115**: 365-380, 7 Abb.; Wiesbaden.
- [40] Anderle, H.-J. (1998): 1.2 Taunus.- In: Kirnbauer, T., Hrsg.: Geologie und hydrothermale Mineralisationen im rechtsrheinischen Schiefergebirge. So.-Bd., **1**: 28-33; Wiesbaden (Nass. Ver. Naturkd.).
- [41] Wagner, W. & Michels, F. (1930): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt Bingen-Rüdesheim.- ; Darmstadt.
- [42] Dr. Krakow Tone (2005): Rohstoff-Highlights für die Ziegelindustrie.- Internetseite <http://www.clayserver.de/> (Zugang 15.8.2005).
- [43] Kümmerle, E. (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5518 Butzbach.- 214 S., 30 Abb., 13 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [44] Schottler, W. (1913a): Geologische Karte des Großherzogtums Hessen 1:25000, Blatt Gießen.- Darmstadt.
- [45] Schottler, W. (1913c): Geologische Karte des Großherzogtums Hessen 1:25000, Blatt Allendorf.- Darmstadt.
- [46] Stengel-Rutkowski, W. (1980): VI. Geologische Neuerkenntnisse. A. Sedimentgesteine.- In: Schottler, W., †: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt Nr. 5418 Gießen: 79-84; Wiesbaden (Hess. L.-Amt Bodenforsch.).
- [47] Abel, H. (1980): VII. Lagerstätten.- In: Schottler, W., †: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt Nr. 5418 Gießen: 98-104; Wiesbaden (Hess. L.-Amt Bodenforsch.).
- [48] Gramann, F. (1960): Das ältere Tertiär im nördlichen Vorland des Vogelsberges.- Sitzungsber. Ges. Beförd. ges. Naturwiss. Marburg, Bd. **82**: 118 S., 19 Abb., 3 Taf., 2 Beil.; Marburg (N. G. Elwert).
- [49] Holtz, S. (1962): Sporen-stratigraphische Untersuchungen im Oligozän von Hessen.- Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., Bd. **40**: 46 S., 1 Abb., 6 Taf.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt Bodenforsch.).
- [50] Pauly, E. & Anderle, H.-J. (1976a): Wirtschaftsgeologisches Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung über die Rohstoff- und Lagerstättenverhältnisse der Wilhelm Gail'schen Tonwerke KGaA in Gießen.- 50 S., 6 Anl., Wiesbaden.

- [51] Pauly, E. & Anderle, H.-J. (1976b): Ergänzung zum wirtschaftsgeologischen Gutachten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung über die Rohstoff- und Lagerstättenverhältnisse der W. Gailschen Tonwerke KGaA, Gießen vom 26.2.1976.- 4 S., Wiesbaden.
- [52] Udluft, H. (1951): Der geologische Aufbau und die Entstehung der hessischen (insbesondere der niederhessischen) Tonvorkommen.- TIZ-Zbl., **75** (17/18): 263-269; Wilhelmshaven.
- [53] Gotthardt, H. (1951): Chemische und physikalische Daten der Großalmeroder Tone.- TIZ-Zbl., **75** (17/18): 269-272; Wilhelmshaven.
- [54] Lippmann, F. (1953): Der Mineralbestand der Tone von Großalmerode.- Sprechsaal für Keramik - Glas - Email, **86**: 218-224, 10 Abb., 6 Tab.; Coburg.
- [55] Brosius, M. & Gramann, F. (1959): Das ältere Tertiär von Großalmerode (Hessische Senke).- Z. dt. geol. Ges., **111**: 543-558, 4 Abb.; Hannover.
- [56] Kreutzer, H. W. (1987): Palynologie, Stratigraphie und Tektonik im Becken von Großalmerode (Blatt 4724 Großalmerode, Niederhessen).- Giessener Geologische Schriften, Bd. **41**: 126 S., 17 Abb., 1 Anl.; Gießen (Lenz).
- [57] Bauer, S. (2003a): Zum Tonbergbau von Großalmerode: Die Tongruben der Aktiengesellschaft Vereinigte Großalmeroder Thonwerke, Teil 1.- Keramische Zeitschrift, **55** (1): 18-22; Düsseldorf.
- [58] Bauer, S. (2003b): Zum Tonbergbau von Großalmerode: Die Tongruben der Aktiengesellschaft Vereinigte Großalmeroder Thonwerke, Teil 2.- Keramische Zeitschrift, **55** (3): 186-190; Düsseldorf.
- [59] Vereinigte Großalmeroder Thonwerke VGT (o.D.): Eigenschaften des Großalmeroder Hafentones. Richtlinien für die Verwendung des Glashafentones der Vereinigten Großalmeroder Thonwerke A.G.- 32 S.; Großalmerode.
- [60] Deutsche Keramische Gesellschaft e.V., DKG (1962): Nr. 6 Großalmeroder Fetton.- in: Rohstoff-Merkblatt der Deutschen Keramischen Gesellschaft: Ton. Ber. Dt. Keram. Ges.; Bad Honnef/Rhein (Verlag DKG).
- [61] Deutsche Keramische Gesellschaft e.V., DKG (1966a): Nr. 22 Großalmeroder Glashafenton.- in: Rohstoff-Merkblatt der Deutschen Keramischen Gesellschaft: Ton. Ber. Dt. Keram. Ges.; Bad Honnef/Rhein (Verlag DKG).
- [62] Kowalczyk, G. (1983): Das Rotliegende zwischen Taunus und Spessart.- Geol. Abh. Hessen, **84**: 99, 48 Abb., 2 Tab., 8 Taf.; Wiesbaden.
- [63] Häuser, F. (1960): Die zeitliche Einstufung der Tertiärschichten von Ravolzhausen auf Grund von Molluskenfunden.- Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., **88**: 283-286, 24 Abb.; Wiesbaden.
- [64] Weiler, W. (1960): Die Fischreste aus den Ziegeleitonon von Ravolzhausen bei Hanau (Hessen).- Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., **88**: 20-28, 24 Abb.; Wiesbaden.
- [65] Barth, W. (1998): 6. Lagerstätten.- In: Renftel, L.-O.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt Nr. 5819 Hanau: 123-125; Wiesbaden (Hess. L.-Amt Bodenforsch.).
- [66] Kowalczyk, G. (2001): Permokarbon des Sprendlinger Horstes und der westlichen Wetterau (Exkursion I am 20. April 2001).- Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., **83**: 211-236, 15 Abb.; Stuttgart.
- [67] Abel, H. (1981): VI. Lagerstätten.- In: Kümmerle, E.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5518 Butzbach: 97-106; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [68] Kowalczyk, G., Kümmerle, E. & Semmel, A. (1999): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5918 Neu-Isenburg.-, 3. Aufl.: 208 S., 21 Abb., 9 Tab., 2 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [69] Renftel, L.-O. (1998): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000, Blatt 5819 Hanau.-, 2. Aufl.: 42 Abb., 18 Tab., 2 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt Bodenforsch.).
- [70] Fichter, J. & Kowalczyk, G. (1983): Tetrapodenfährten aus dem Rotliegenden der Wetterau und ihre stratigraphische Auswertung.- Mainzer geowiss. Mitt., **12**: 123-158, 39 Abb., 1 Tab.; Mainz.
- [71] Backhaus, E. (1975): Der Buntsandstein im Odenwald.- Aufschluß, Sonderbd. (Odenwald), **27**: 299-320, 5 Abb.; Heidelberg.

- [72] Backhaus, E. (1981): Der marin-brackische Einfluß im Oberen Röt Süddeutschlands.- Z. dt. geol. Ges., **132**: 361-382, 5 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- [73] Schweiss, D. (1984): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Rotsedimenten des Grenzbereiches Perm/Trias am südwestlichen Beckenrand.- Geol. Jb. Hessen, **112**: 83-126, 25 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.
- [74] Dersch-Hansmann, M., Heggemann, H. & Nesbor, H.-D. (2004): Nutzen geologischer Karten am Beispiel der neuen Blätter Medebach und Kirtorf.- Jber. Hess. L.-Amt f. Umwelt u. Geologie, **2003**: 87-91, 6 Abb.; Wiesbaden.
- [75] Kümmerle, E. & Semmel, A. (1969): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5916 Hochheim a. Main.-, 3. Aufl.: 209 S., 19 Abb., 17 Tab., 2 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [76] Golwer, A. & Semmel, A. (1980): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5917 Kelsterbach.-, 3. Aufl.: 221 S., 17 Abb., 17 Tab., 3 Taf., 2 Beibl.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [77] Chelius, C. (1891): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Grossherzogthums Hessen 1:25000, Blatt 6017 Mörfelden.- 36 S., faks. Nachdruck der 1. Aufl., erschienen 1994 in Wiesbaden; Darmstadt (A. Bergsträsser).
- [78] Klemm, G. (1910): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Großherzogtums Hessen 1:25000, Blatt Messel [6018 Langen].- 47 S., faks. Nachdruck der 2. Aufl., erschienen 1994 in Wiesbaden; Darmstadt (Großherzogl. Staatsverl.).
- [79] Müller, K.-H. (1980): X. Ingenieurgeologie.- In: Golwer, A. & Semmel, A.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Blatt 5917 Kelsterbach: 112-116; Wiesbaden (Hess. L.-Amt f. Bodenforsch.).
- [80] Schirrmeister, L., Schwarz, T. & Bohné, B. (1995): Mineralogie und Geochemie des Kaolinites bei Ortenberg (Hessen).- Geol. Jb. Hessen, **123**: 107-123, 9 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- [81] Benade, W. (1936): Der Tonschlamm von Bad Homburg.- Jb. preuß. geol. L.-Anst., **57**: 1-13.
- [82] Mörtel, H. (1997): Generelle Aspekte zum Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Keramik.- Bundesverband Keramische Rohstoffe e.V. & Deutsche Keramische Gesellschaft e.V., Hrsg.: International Conference on Raw Materials for the Silicate Ceramic Industries, Ransbach-Baumbach, Germany 20/21 May 1997; Abstracts/Reprints: 49-57; Ransbach-Baumbach.

## 14. Nützliche Websites

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe:  
[www.bgr.de](http://www.bgr.de)

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.:  
[www.bvbaustoffe.de](http://www.bvbaustoffe.de)

Bundesverband Keramische Rohstoffe e.V.  
[www.bvkr.de](http://www.bvkr.de)

cfi - ceramic forum international (Berichte der DKG)  
[www.cfi.de](http://www.cfi.de)

Deutsche Keramische Gesellschaft (DKG)  
[www.dkg.de](http://www.dkg.de)

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie:  
[www.hlug.de](http://www.hlug.de)

Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz:

[www.hmuv.hessen.de](http://www.hmuv.hessen.de)

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung:

[www.wirtschaft.hessen.de](http://www.wirtschaft.hessen.de)

Planungsportal des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung  
(u.a. Regionalplan online):

[www.landesplanung-hessen.de](http://www.landesplanung-hessen.de)

Regierungspräsidium Darmstadt (Obere Landesplanungsbehörde, berg- und immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbehörde für den Regierungsbezirk Darmstadt):

[www.rp-darmstadt.de](http://www.rp-darmstadt.de)

Regierungspräsidium Giessen (Obere Landesplanungsbehörde, berg- und immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbehörde für den Regierungsbezirk Giessen):

[www.rp-giessen.de](http://www.rp-giessen.de)

Regierungspräsidium Kassel (Obere Landesplanungsbehörde, berg- und immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbehörde für den Regierungsbezirk Kassel):

[www.rp-kassel.de](http://www.rp-kassel.de)

Technische Keramik - Informationszentrum

[www.keramverband.de](http://www.keramverband.de)

Umweltallianz Hessen:

[www.umweltallianz.de](http://www.umweltallianz.de)