

7 Ziegelherstellung

7.1 Keramische Baumaterialien

„Die Bezeichnung Keramik stammt aus dem Altgriechischen. ‚*Keramos*‘ (κέραμος) war die Bezeichnung für Ton und die aus ihm durch Brennen hergestellten formbeständigen Erzeugnisse. Heute ist der Begriff breiter gefasst: Keramiken sind weitgehend aus anorganischen, feinkörnigen Rohstoffen unter Wasserzugabe bei Raumtemperatur geformt und danach getrocknete Gegenstände, die in einem anschließenden Brennprozess oberhalb 900 °C zu harten, dauerhafteren Gegenständen gesintert werden.

Gebräuchlich ist auch die Unterteilung in Grob- und Feinkeramik. Zur ersteren gehört die große Gruppe der Baukeramik (zum Beispiel Bau- und Dachziegel, Kanalisationsrohre); diese Produkte sind dickwandig, häufig inhomogen, von oft zufälliger Färbung. Feinkeramik ist dagegen feinkörnig (Korngröße unter 0,05 mm), von definierter Färbung (zum Beispiel weiß für Haushaltskeramik, Tischgeschirr und Sanitärkeramik); hierher gehören auch die künstlerischen Erzeugnisse. Feinkeramik erfordert bezüglich Aufbereitung der Rohmasse, der Formgebung und des Trocknens sowie Brennens eine erheblich größere Sorgfalt als sie bei der Herstellung von Grobkeramik nötig ist.

Die Eigenschaften keramischer Produkte werden bestimmt durch Art und Menge der in ihnen enthaltenen Kristalle und die als Bindung funktionierenden Verglasungen (sogenannte Glasphasen). Keramiken sind formbeständig,⁴⁵ In den Rahmen dieser modernen Definition fallen auch die im Folgenden betrachteten keramischen Bauteile aus römischer Zeit, z. B. als Dach- und Wandziegel. Eine Abgrenzung, ob Ton oder Lehm der Grundstoff für Keramik ist, wird durch folgende Definition beantwortet: „Lehme, die sich zum Brennen eignen, sind im allgemeinen Tone.“⁴⁶ Ob in der Literatur Lehm oder Ton als Einsatzstoff für das Herstellen römischer Baukeramik genannt wird, ist demnach unerheblich – zumindest, wenn es, wie im vorliegenden Fall, um das Betrachten von Produktionsprozessen und nicht um chemische Analysen geht.

Die vielfach in wärmeren Ländern um das Mittelmeer und in Vorderasien bereits seit Jahrtausenden als Baumaterial verwendeten getrockneten Ziegel, sog. Lehmziegel, werden dagegen nicht als Keramik angesprochen und bleiben hier unberücksichtigt.

⁴⁵ <<http://www.chemie.de/lexikon/Keramik.html>> (23.01.2017).

⁴⁶ a. a. O.: „Lehm ist eine Mischung aus Sand (Partikel > 63 µm), Schluff (Partikel > 2 µm) und Ton (Partikel < 2 µm). Er entsteht entweder durch Verwitterung aus Fest- oder Lockergesteinen oder durch die unsortierte Ablagerung der genannten Bestandteile.“

7.2 Ziegelformen

Unter Verwendung ihrer antiken lateinischen Bezeichnungen wird die römische Baukeramik i. d. R. in folgende Gruppen eingeteilt:

- „Dachziegel (rechteckige plane Dachplatten *tegulae* und Wölbziegel *imbrices*, die die Stoßfugen zweier nebeneinander angeordneter *tegulae* überwölben)
 - Ziegelplatten *lateres*
 - für die Wand- und Deckenverkleidung
 - für Hypokaustenpfeiler
 - als Bodenplatten
 - Hohlziegel zur Führung der Rauchgase bei Fußbodenheizungen *tubuli*
 - Schmuckziegel, Wasserleitungsrohre
- Mauerwerk, das vollständig aus Ziegeln errichtet wurde, ist aus Rom und anderen Städten in Italien bekannt.“⁴⁷

Dachziegel und Ziegelplatten stellen den Hauptanteil bei den Befunden in der betrachteten Region dar und sollen deshalb exemplarisch für die Analysen der Produktionsprozesse herangezogen werden.⁴⁸

Die Abmessungen der Ziegel variieren von kleinformatigen Wandziegeln bis zu großformatigen, schweren Platten. Orientierungsmaß für Längen und Breiten ist der römische Fuß *pes* mit 29,6 cm; bei der Dicke der Ziegel ist keine solche Bezugsgröße bekannt; sie richtet sich vermutlich nach den fertigungstechnischen und bedarfsspezifischen Erfordernissen der jeweiligen Produktionsanlagen und Bauten.

Die für die Rekonstruktion der Betriebsmodelle römischer Ziegeleien benötigten Abmessungen der Produkte wurden aus Befundbeschreibungen gewonnen.⁴⁹ Daraus waren für eine Untersuchung der unterschiedlichen Herstellungsverfahren geeignete repräsentative Grundtypen für *tegulae*, *imbrices* und *lateres* leicht herleitbar. Außerdem bietet das hier erarbeitete Rechenmodell ein einfaches Anpassen an weitere spezifische lokale Datenkonstellationen.

⁴⁷ Bundesverband 2008, o. S.

⁴⁸ siehe auch: zu Dormagen: Müller 1979a, 11; zu De Holdeurn: Holwerda – Braat 1946, 71.

⁴⁹ Auffällig ist, dass auf diese Daten in den Befundbeschreibungen – ganz im Gegensatz zu den Angaben über Stempel – in der Vergangenheit vergleichsweise wenig eingegangen wird.

7.2.1 Dachziegel *tegulae* – *imbrices*

„Wichtigstes Element römischer Ziegeldächer sind rechteckige, plane Dachplatten mit seitlichen Leisten. Das schuppenartige Überlappen wurde durch schräg angeschnittene rückseitige Aussparungen an den unteren Enden und damit korrespondierendes Überkragen des oberen Plattenabschlusses über die Leisten erreicht. Wölbziegel, die über die Fugen zwischen den Leisten von zwei nebeneinanderliegenden Ziegeln angebracht wurden, sorgten für die Dichtigkeit des Daches.“⁵⁰

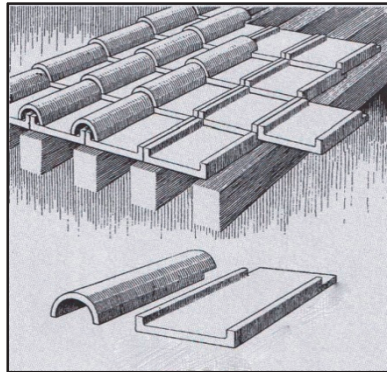


Abbildung 7 Leistenziegeldach (Bender 2008)

Beispiele für *tegulae* und *imbrices*:



Abbildung 8 römische *tegulae* und *imbrices* (Bender 2008, Brandl – Federhofer 2010, Bundesverband 2008)

⁵⁰ Bundesverband 2008, o. S.

Die Auswertung von Funden in den NW-Provinzen ergab folgende Verteilung bei den Ziegelabmessungen von *tegulae*:

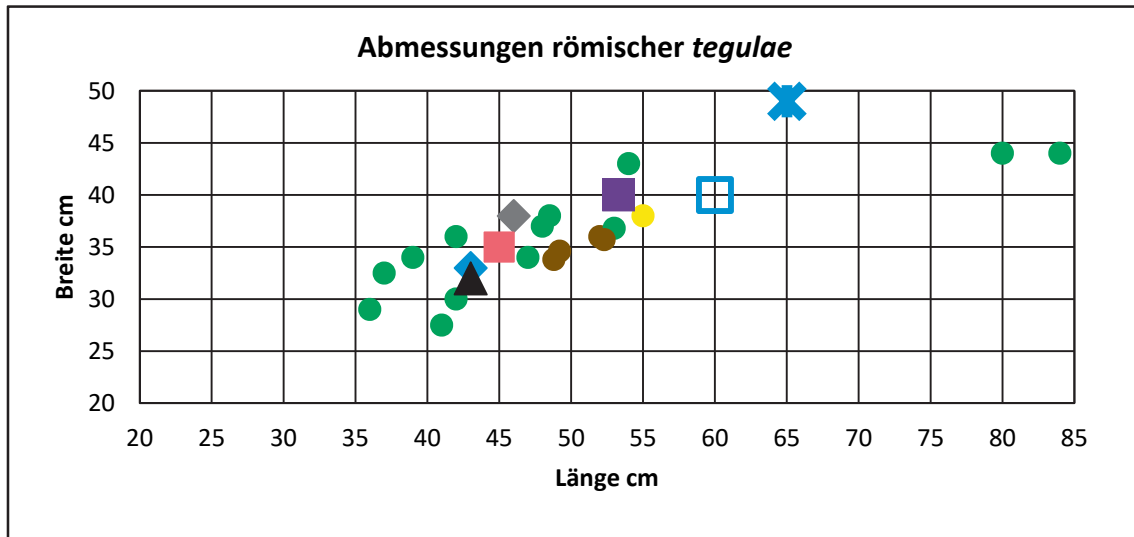


Abbildung 9 Abmessungen römischer *tegulae* aus Befundberichten

Legende: Quellen

grüne Punkte: Einzelfunde aus De Holdeurn⁵¹

braune Punkte: Einzelfunde aus Dormagen⁵²

schwarzes Dreieck: als Basiswert für Betrachtungen im zugehörigen Artikel gewählt (keine Herleitung angegeben)⁵³

blaues Karo: Durchschnittswert aus 460 Fundorten in Britannien 1010 Stücke⁵⁴

rosa Quadrat: Befund aus Nied (keine Angabe, ob Einzel- oder Durchschnittswert)⁵⁵

graues Karo: Befund aus Xanten (keine Angabe, ob Einzel- oder Durchschnittswert)⁵⁶

lila Quadrat: Durchschnittswert Windischer Ziegel⁵⁷

blauer Rahmen: 1. Jh. ohne Fundort Durchschnittswert⁵⁸

blaues Kreuz: Befund aus Pompeji (keine Angabe, ob Einzel- oder Durchschnittswert)⁵⁹

⁵¹ Holwerda – Braat 1946, 71.

⁵² Müller 1979a, 11.

⁵³ Le Ny 1988, 34.

⁵⁴ Brodribb 1987, 142.

⁵⁵ Jahn 1909, 114.

⁵⁶ Jahn 1909, 114.

⁵⁷ Jahn 1909, 114.

⁵⁸ Bundesverband 2008.

⁵⁹ Jahn 1909, 115.

Vergleichsweise wenige Angaben liegen zur Dicke von *tegulae* vor:

Durchschnittswerte:

Dormagen: 3 cm⁶⁰

„Ein römisches Ziegelstück zeichnet sich durch seine Dicke aus, sie beträgt durchschnittlich 3 cm, manchmal unter 2,5 cm, oft aber auch 4 cm“⁶¹

Aus Brodribb 1987 lässt sich die Dicke von *tegulae* aus einer Quelle ebenfalls zu ca. 3 cm herleiten.⁶²

Auch zur Höhe der seitlichen Leisten gibt es nur wenige Quellen:

Dormagen: 4–6 cm⁶³

„Die Leisten sind rundliche oder viereckige, 1 bis 2 Finger starke abschwellende Wülste; an der Leistenseite gemessen hat der Ziegel ca. 5,5 cm, auch bis zu 7 cm“⁶⁴

Aufgrund der Verteilung der Werte in Abb. 9 bietet sich für den Einstieg in die Studie zur Gestaltung und Erprobung des Betriebsmodells folgende *tegula*-Größe an:

50 cm lang, 35 cm breit (Fläche: 0,175 m²)

Als Dicke dieser Muster-*tegula* wurde der mit 3 cm aus dem Befund in Dormagen stammende Wert ausgewählt,⁶⁵ daraus ergibt sich ein Volumen von knapp über 5 Liter.

Die Abmessungen der *imbrices* stehen logischerweise in Relation zur Länge der zugehörigen *tegulae*. Dabei können, je nach Überlappung der *tegulae*, die *imbrices* geringfügig kürzer sein. Im Falle des Befundes von Dormagen ergeben sich für *tegulae* mit 53 bzw. 52,3 cm Länge passende *imbrices* von 47,8 cm.⁶⁶

Brodribb nennt für Britannien für die Wölbziegel eine Breite von 13,7 bis 17,7 cm bei einer Dicke von 1,4 bis 3 cm (mit einem Durchschnittswert von 2 cm); die Stücke sind 9,1 cm hoch. Basis seiner Werte waren 431 Stücke aus 127 Fundorten.⁶⁷

Die Dormagener Stücke hatten eine Dicke von ca. 2 cm.

Passend zu der für die Berechnungen ausgewählten Muster-*tegula* wurde hier eine Muster-*imbrex* mit 1,5 l Volumen abgeleitet:

50 cm lang, 15 cm breit, 2 cm dick

⁶⁰ Müller 1979a, 6, 11.

⁶¹ Jahn 1909, 115.

⁶² Brodribb 1987, 12 „... *tegulae* from Caerleon measuring 550 mm × 380 mm and weighing 25 lbs (55 kg) each ...“ kann umgerechnet werden zu: 25 lbs = 25 × 0,45 kg/lbs = 11,25 kg (nicht 55 kg! hier liegt in der Quelle ein Umrechnungsfehler vor); bei 2 kg/l spezifischem Gewicht von gebranntem Ton ergibt dies ein Volumen von 5,6 l; 5,6 l für einen Quader mit 55 cm × 38 cm ergibt eine Höhe von 2,7 cm.

⁶³ Müller 1979a, 11.

⁶⁴ Jahn 1909, 115.

⁶⁵ Müller 1979a, 11.

⁶⁶ Müller 1979a, 11.

⁶⁷ Brodribb 1987, 142.

7.2.2 Ziegelplatten *lateres*

Standardformen der flachen, glatten, quadratischen Platten ergeben sich aus römischen Quellen bzw. aus entsprechenden Zitaten.⁶⁸

<i>bessalis</i> (2/3 röm. Fuß)	19,7 cm
<i>dodrans</i> (3/4 röm. Fuß)	22,2 cm
<i>pedalis</i> (1 röm. Fuß)	29,6 cm
<i>sesquipedalis</i> (1 ½ röm. Fuß)	44,4 cm
<i>bipedalis</i> (2 röm. Fuß)	59,2 cm

Weitere Formate neben diesen Standards (rote Dreiecke) zeigt die Auswertung der Befunde in De Holdeurn⁶⁹ und der Ziegelei in Dormagen.⁷⁰

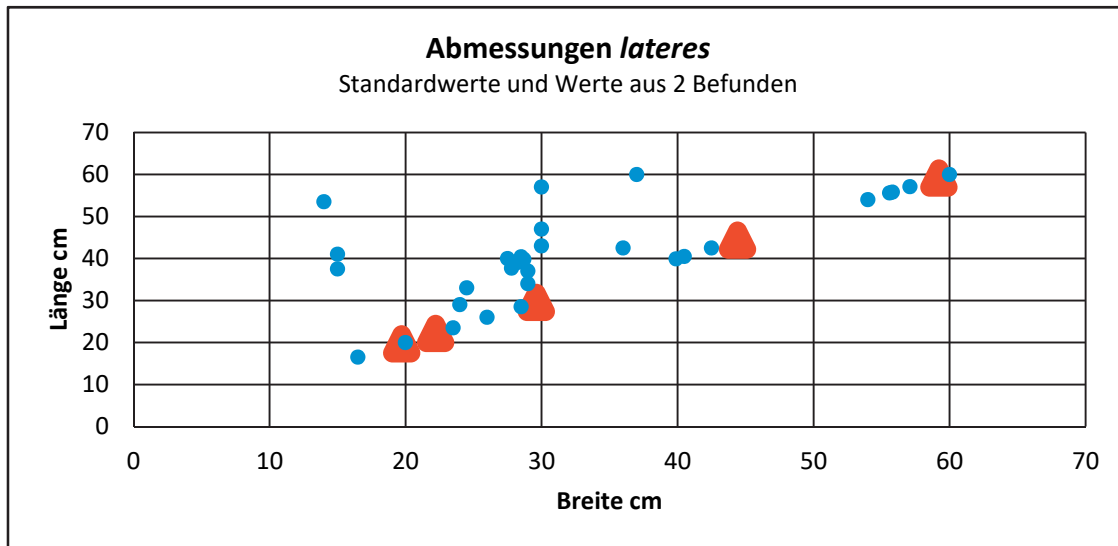


Abbildung 10 Abmessungen römischer *lateres* Standardwerte und Werte aus Befundberichten

Diese beiden Quellen (De Holdeurn und Dormagen) liefern tabellarische Übersichten über produzierte *lateres*.⁷¹ Bei den rechteckigen Formaten scheint die Breite von 1 *pes* häufiges Standardmaß zu sein; die Länge variiert zwischen 1 und 2 *pes*; daneben wurden in De Holdeurn schmale Ziegel mit ½ *pes* gefertigt. Andere Abmessungen treten in beiden Befundlisten nicht auf.

⁶⁸ Brandl – Federhofer 2010, 22.

⁶⁹ Holwerda – Braat 1946, 71.

⁷⁰ Müller 1979a, 11; rechteckige *lateres* werden dort als „langeckig“ bezeichnet.

⁷¹ Meist werden zu Befunden lediglich Mittelwerte bei den Abmessungen der Fundstücke genannt, die jedoch die aufzuzeigende Variabilität nicht wiedergeben.

Die Dicke der *lateres* wird erstaunlicherweise in Fundkatalogen zu einzelnen Stücken oftmals nicht genannt. Dafür werden Durchschnittswerte vorgestellt. Sie liefern auch hier die wesentlichen Orientierungsgrößen für die Ziegeldicke; siehe Auswertung in Abb. 11. Demnach werden die Platten bis ca. $1\frac{1}{2}$ *pes* Kantenlänge eher mit 4,5 cm Dicke, die mit längeren Kanten mit 5 – 8 cm Dicke gefertigt. Diese Werte können, wenn keine exakten Befunde einer Produktionsanlage vorliegen, für die Modellrechnungen verwendet werden.

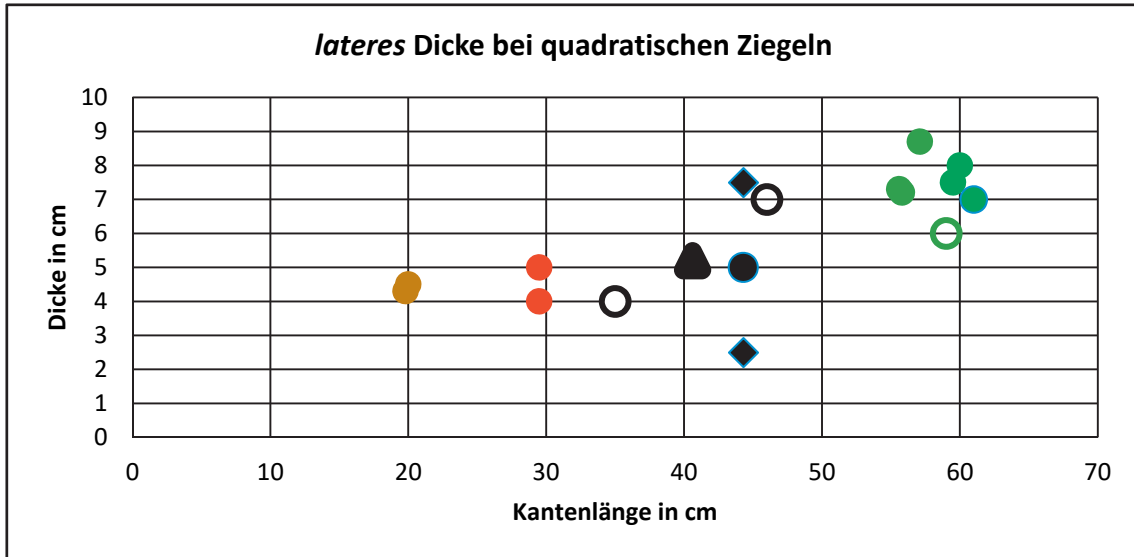


Abbildung 11 *lateres*: Dicke verschiedener quadratischer Ziegel

Legende/Quellen:

bessalis (braune Punkte) Durchschnitt aus 608 *bessales* in Britannien⁷² und Angaben in einer Übersicht über römische Ziegel⁷³

pedalis (rote Punkte) Angaben aus einer Typologie für römische Ziegel⁷⁴

sesquipedalis (schwarze Markierungen) Auswertung aus 42 ganz und 10 teilweise erhaltenen Ziegeln in Britannien⁷⁵ (Dreieck: Mittelwert; Kreise: max.- und min.-Werte); 5 cm Dicke aus in einer Übersicht über römische Ziegel⁷⁶ (Punkt); 2,5 – 7,5 cm aus einer Typologie für römische Ziegel⁷⁷ (Karos);

bipedalis Einzelfunde aus Britannien⁷⁸ und Dormagen⁷⁹ (grüne Punkte); 6 cm aus einer Übersicht über römische Ziegel⁸⁰ (grüner Kreis)

⁷² Brodribb 1987, 41.

⁷³ Campbell – Pyce 2003, 46.

⁷⁴ Harley 1974, 67.

⁷⁵ Brodribb 1987, 41.

⁷⁶ Campbell -Pyce 2003, 46.

⁷⁷ Harley 1974, 70.

⁷⁸ Brodribb 1987, 42.

⁷⁹ Müller 1979a, 11.

⁸⁰ Campbell – Pyce 2003, 47.

Nach Harley 1974,⁸¹ sind die römischen Ziegel so gestaltet, dass ihre Dickenabmessungen sich an sog. Standard-Vielfachen des römischen Inches orientieren; 1 sog. römisches Inch entspricht dabei dem Maß *pollex* mit 2,48 cm.⁸²

Lt. Abb. 11 sind demnach die großen (quadratischen) Ziegel mit ca. 7,5 cm (3 Inch), die kleineren und mittleren mit ca. 5 cm (2 Inch) Dicke produziert worden. Für die hier anzustellenden Berechnungen wurde diese Stufung für die auszuwählenden Ziegeltypen ebenfalls angewendet. Folgende, repräsentative Muster-Typen wurden gewählt; zur Vereinfachung der Rechnungen wurden die Werte gerundet.

<i>bessalis</i>	20 × 20 × 5 cm	2 l Volumen
<i>pedalis</i>	30 × 30 × 5 cm	5 l
<i>sesquipedalis</i>	44 × 44 × 5 cm	10 l
<i>bipedalis</i>	60 × 60 × 7,5 cm	27 l

Der Muster-Typus für Rechteckplatten, wie beispielsweise in Dormagen produziert⁸³, wurde ebenfalls mit 5 l Volumen angesetzt

7.2.3 weitere Formen

Neben Dachziegeln und rechteckigen Ziegelplatten waren runde Platten, (als Elemente von bodentragenden Pfeilern bei Hypokausten), keilförmige Platten (für Gewölbe), viereckige Hohlziegel (sog. *tubuli* zum Durchleiten von Rauchgasen für die Gebäudebeheizung) sowie Elemente zur Baudekoration gängige Produkte römischer Baukeramik. Gebrannte Steine zur Errichtung von Mauerwerk, das vollständig aus Ziegeln besteht, kommen für die ausgewählten NW-Provinzen erst für spätere Epochen zum Einsatz; z. B. in der spätantiken Kaiserresidenz in Trier.⁸⁴ Für die hier durchgeführten Berechnungen wurden deshalb zunächst keine Prototypen abgeleitet. Zusätzlich zu den römischen Produkten wurde zum Vergleich ein neuzeitlicher Mauerziegel mit den DIN-Abmessungen 24 × 11,5 × 7,1 cm⁸⁵ sowie ein gleiches Produkt mit halber Dicke (3,5 cm) ausgewählt. Damit wird bei der Betrachtung und Quantifizierung der Prozessketten – bei Unterstellung gleicher Fertigungstechnologie wie bei den römischen Baukeramiken – eine Vergleichsebene mit Daten und Kenntnissen mit den in einigen Ländern heute noch

⁸¹ a. a. O. 67.

⁸² siehe hierzu auch: Speiser 1996, S. XXII.

⁸³ siehe Kap. 11.1.3

⁸⁴ Bundesverband 2008. und Lancaster 2016, 240 „The use of bricks for wall construction outside Italy is generally rare during the imperial period.“

⁸⁵ Eurobaustoff 2018.

betriebenen Produktionen geschaffen; außerdem sollen auf diese Art Orientierungsgrößen für Plausibilitätsbetrachtungen angelegt werden.

7.3 Allgemeines zur Produktion von Baukeramik

Grundprinzip beim Herstellen von Material zum Errichten von Bauten ist das Umformen bestehender Naturstoffe in gezielt einsetzbare Bauteile. Dabei werden, wie z. B. beim Produzieren von Holzbalken, gewachsene Bäume manuell – oder heutzutage maschinell – so bearbeitet, dass daraus leicht verbaubare und zueinander passende Bauelemente entstehen. Im Falle der Keramik kommt zum mechanischen Abbau und Aufarbeitung der Rohstoffe noch eine thermische Behandlung der manuell gefertigten Teile hinzu. So werden die mechanischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials zu besseren Stabilitäten und erhöhter Haltbarkeit hin gestaltet. Lehm/Ton abbauen, formen und brennen sind die Hauptelemente dieser Prozesskette. Sie sind ablauforganisatorisch zwangsläufig; lediglich die Einzelschritte unterliegen technischen Entwicklungen und Optimierungen. Für den Betrachtungszeitraum des römischen Imperiums kann – nicht zuletzt mangels Einsatz von Maschinen – von großer Ähnlichkeit dieser Arbeiten an den verschiedenen Produktionsstandorten ausgegangen werden; zumindest erscheint die Annahme berechtigt, für Rekonstruktionen vergleichbarer Betriebsgrößen sehr ähnliche Prozesse und Einzelaktivitäten zu unterstellen. Dies gilt insbesondere bei größeren Betrieben mit kontinuierlicher Produktion und festen Produktionsanlagen, wie z. B. Trockenhallen und festen, mehrfach genutzten Brennöfen.

„Ein entscheidendes Merkmal des Ziegeleibetriebes war das Vorherrschen ungelernter Arbeit gegenüber spezieller Facharbeit.“⁸⁶ Für das Gewinnen, Transportieren, Aufarbeiten der Massen an Rohmaterial und der geformten/gebrannten Teile ist wenig Fachwissen notwendig; einfache Anleitungen durch eine geringe Anzahl qualifizierter Mitarbeiter sind ausreichend. Lediglich für das Formen – meist unter Verwendung von Modeln – und das Brennen ist spezifisches Know-how nötig.⁸⁷

Das Brennen der geformten und an der Luft getrockneten Rohlinge konnte in gemauerten Öfen oder im sog. Feldbrand erfolgen. „Unter Feldbrand ist ganz allgemein das Brennen von Ziegeln in einfachen Brennanlagen zu verstehen, die meist unter freiem Himmel errichtet werden. Im engeren Sinne versteht man darunter den Meilerbrand, d. h. das Brennen der Ziegel im Meiler. Der Ziegelmeiler wird auf freiem Feld (daraus abgeleitet der Feldbrand) aus den zu brennenden Steinen selbst aufgebaut. Für den Feldbrand

⁸⁶ Müller 1979a, 22. DeLaine 2001, 283/4 unterscheidet bei Ihren Betrachtungen zum Personal für das Errichten von Bauten und dem Gewinnen von Baustoffen „skilled“ von „unskilled workers“, liefert jedoch dazu keine Begriffsdefinitionen.

⁸⁷ Radivojević – Kurtović-Folić 2006, 695 „the most demanding part in the brick production process was construction and use of brick kilns that required certain knowledge and experience of a worker. All other parts of the process of that time were just a matter of hard work.“

eignet sich nur der normalformatige Vollstein. Bis etwa 1800 wurden als Brennmaterial je nach regionaler Verfügbarkeit Torf, Holz aller Art, Reisig, Stroh, Rohr, Schilf, trockenes Heide- und Farnkraut, Olivenkerne, getrockneter Dung etc. eingesetzt.“⁸⁸

Im hier betrachteten Zeitraum wäre eine solche Art des Brennens sicherlich möglich gewesen – ist sie doch eine vom antiken Keramikbrennen herstammende Technik.⁸⁹ Die im Vergleich zum kompakten Mauerziegel eher fragilen *tegulae*, *imbrices* und *lateres* lassen jedoch eine solche Verarbeitung nicht zu. Auch nennen archäologische Befunde keine solchen Meilerplätze für die betrachtete Region und die ausgewählte Zeitepoche.⁹⁰

Die festen Öfen hingegen sind markante, archäologisch eher leicht nachweisbare Standorte von Keramikproduktionen. Eine Abgrenzung zwischen Töpfer- und Ziegelöfen erfolgt meist über die Bauform: Öfen mit rechteckigem Grundriss werden in der Regel als Ziegelproduktion, solche mit ovalem Grundriss als Töpferproduktion angesprochen.⁹¹ Diese Unterscheidung wird auch hier angewendet.⁹²

„Beim römischen Ziegelbrennofen handelt es sich um einen periodisch betriebenen Kammerofen mit einer Trennung von Feuerungsraum und Brennkammer. Der unter Flur liegende Feuerungsraum bestand aus einem (bei größeren Öfen auch zwei) Heiz- oder Schürkanal, der nach oben mit auskragenden Lehmziegeln, als sog. falschem Gewölbe, abgeschlossen war. Vor dem Schürkanal befand sich eine Bedienungsgrube, von der der Brenner schürte und den Brennstoff in den Schürkanal nachlegte. Rechtwinklig zum Heizkanal zweigten beidseitig je vier bis sechs Querszüge zur Verteilung der Heizgase ab. Die etwa 30 cm dicke Decke des Feuerungsraums, auch Brennplatte oder Lochtenne genannt, bildete den Boden der Brennkammer, in die das Brenngut eingesetzt wurde. In der Brennplatte waren zahlreiche Zuglöcher eingebracht, durch welche die Heizgase vom Heizkanal und den Querszügen aus in die Brennkammer gelangen konnten.

⁸⁸ Bender 2008, 283; siehe dazu auch: Dethlefsen 1915, 13 f.

⁸⁹ Bender 2008, 283.

⁹⁰ Lediglich Green 1970, 28 hat eine Verfärbung im Boden der Grabung in Itchingfield als Untergrund für einen Feldbrand interpretiert; weitere Angaben hierzu liefert er nicht.

⁹¹ Bender 2008, 288 „An eine Gesetzmäßigkeit glaubt man dabei jedoch nicht, obwohl die rechteckige Form zum Brennen von Dachziegeln sicher die zweckmäßigere war, die runde Form dagegen für die Gefäßkeramik.“

⁹² Sicherlich war es auch möglich – und wurde vermutlich auch praktiziert – Ziegel in Keramiköfen (getrennt oder gemeinsam mit Keramik) zu brennen. Eine solche Mischbefüllung/-nutzung von ovalen Öfen ist jedoch aufgrund der dabei möglichen unüberschaubar großen Vielfalt bei der Zusammensetzung einzelner Chargen nicht mit der hier angewendeten Methode abbild- und nachvollziehbar.

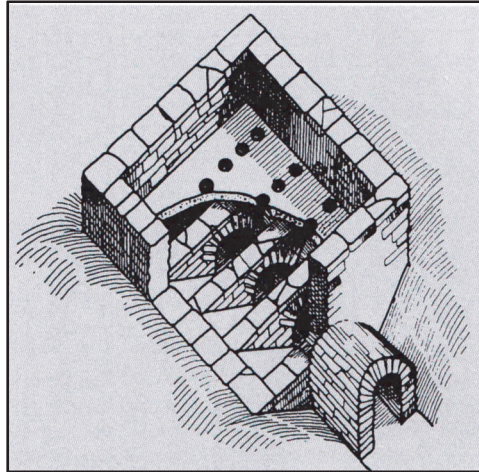


Abbildung 12 Römischer Ziegelbrennofen (Bender 2008)

Da sich die Oberbauten der Öfen nicht erhalten haben, versucht man, diese durch Rekonstruktionen nachzuempfinden. Die Brennkammer konnte als einfacher Schacht gemauert gewesen sein, der dann mit flach gelegten Dachziegeln und einer Erdschicht abgedeckt wurde⁹³ oder als Tonnen- oder Kuppelgewölbe gestaltet.⁹⁴ Berger verweist explizit: „Es sei ausdrücklich betont, dass aus keiner der zitierten Publikationen handgreifliche Belege für das Vorhandensein einer Überwölbung beizubringen waren.“⁹⁵ „Die Öfen wiesen für heutige Verhältnisse relativ kleine Brennkammervolumina – zwischen etwa 30 und 50 cbm – auf.“⁹⁶

Für die weiteren Betrachtungen wird hier die einfache Schachtaufmauerung mit einer Ziegel- oder Erdaddeckung verwendet, ohne Kuppel- oder Tonnenabdeckung. Sie wird von Schönauer mit folgendem Vorteil gegenüber den Kuppelöfen beschrieben: „Daß bei den gewölbten Ziegelöfen zwar viel Holz ersparret, sie jedoch weniger dauerhaft seyen, da sie leicht Sprünge bekommen, daß sie ferners kostspieliger zu stehen kommen, und künstlicher zu regieren seyen, ...“⁹⁷ Außerdem wurde die Ofenform ohne Kuppel in verschiedenen Experimenten als erfolgreiche Lösung praktiziert. Sie bietet nicht zuletzt wegen der zusätzlichen Zugänglichkeit der Brennkammer von oben für das Befüllen mit großen und z. T. sperrigen zu stapelnden Ziegelplatten mehr Freiraum als ein nur umständlich von der Seite befüllbarer Kuppelofen.

⁹³ Diese Technik wurde bei experimentellen Arbeiten beim Nachbau und Betrieb antiker Öfen erfolgreich praktiziert.

⁹⁴ Bender 2008, 288/9. siehe hierzu auch: Peacock 1979, 5.

⁹⁵ Berger 1969, 14.

⁹⁶ Bender 2008, 290.

⁹⁷ Schönauer 1815, 159.

Die Feuerungsbereiche, d. h. die Unterbauten der Ziegelöfen, sind meist in Befunden die auffälligsten Bauelemente. Ihre unterschiedlichen Strukturen hat Cuomo di Caprio für die rechteckigen Öfen nach folgendem Schema klassifiziert:⁹⁸

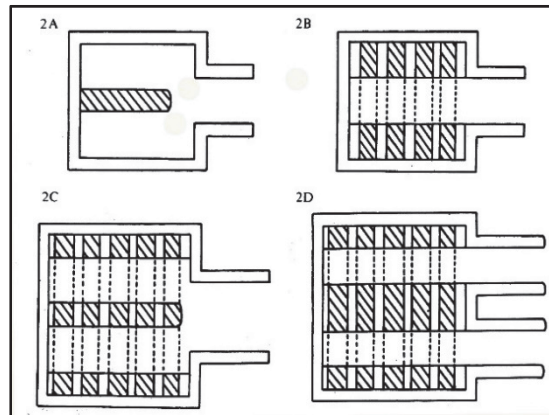


Abbildung 13 Klassen rechteckiger Brennöfen (Cuomo di Caprio 1979)

„Class IIa: A central wall (or tongue) ran from the back wall of the combustion chamber in line with the *praefurnium*.

Class IIb: The central corridor (or under-floor flue), by running the whole length of the combustion chamber, divided it into three compartments, the two outer ones being formed by the underfloor cross flues and cross walls.

Class IIc: The subfloor structure is similar to class IIb in the system of cross walls and cross flues, the difference being two parallel main corridors (or main underfloor flues) instead of one.

Class IId: The general layout of this kiln is close to class IIc, the only difference being the two *praefurnia*, side by side, running from the stokepit to the combustion chamber.“⁹⁹

Die Klassen sind hier als Beschreibung der technischen Möglichkeiten wegen aufgeführt; einen Einfluss auf das Rechenmodell wird von den Unterschieden in der Bauweise nicht erwartet. Sie bleiben deshalb unberücksichtigt.

Die meisten Befunde zur römischen Ziegelherstellung zeigen einzelne freistehende Öfen; entweder als singuläre Brenneinheit einer Produktion oder als Teil von Ofensystemen einer Anlage. Als Ofensysteme werden hier solche Ofenanordnungen angesprochen, bei denen von einer gemeinsamen Befeuungsstelle aus mehrere Öfen betrieben werden konnten.¹⁰⁰ Für diese Fälle liegt die Vermutung nahe, dass ein nahezu kontinuierlicher

⁹⁸ Cuomo di Caprio 1979, 76.

⁹⁹ a. a. O. 76. und 1972, 25.

¹⁰⁰ Beispiele hierfür sind die Anlagen in Dormagen; Müller 1979a, in De Holdeurn: Holwerda – Braat 1946 und in Holt: Grimes 1930, 28.

Brennbetrieb angestrebt wurde: Während ein Ofen lief, konnte ein anderer für den nächsten Brennvorgang hergerichtet bzw. instandgesetzt werden.

Für das hier zu entwickelnde Betriebsmodell galt es, beide Betriebsformen zu betrachten und zu bewerten.

Eine weitere, wesentliche Einflussgröße für ein Modell ist das saisonale Betreiben solcher Anlagen: Ziegelproduktion ist witterungsabhängig; die geformten Rohlinge müssen vor dem Brennen trocknen, um formstabil zu werden. Hierfür herrscht im Bereich nördlich der Alpen nur während der Monate April bis Oktober ein geeignetes Klima.¹⁰¹ In den Wintermonaten reichen Temperatur und Luftfeuchtigkeit ohne künstliche Wärmezufuhr dazu nicht aus.

Das Klima im Mittelmeerraum legt dagegen die Monate im Hochsommer als Ruhezeiten solcher Betriebe nahe, da bei zu großer Hitze die Rohlinge zu schnell trocknen und die Gefahr von Rissen die Ziegelqualität gefährdet.¹⁰²

Die saisonale Zuordnung der Ziegeleiarbeiten lässt Raum für die ebenfalls zur Sicherstellung des Betriebes notwendigen Aktivitäten der Beschaffung und Aufbereitung des Rohstoffes Lehm, der im Winter abgebaut und durch Bewitterung (z. B. verfeinern Nässe und anschließender Frost die Lehmstruktur) aufbereitet wird. Außerdem wird das zum Brennen benötigte Holz im Winter geerntet; zu dieser Jahreszeit enthält es weniger Wasseranteile (günstiger für das Verbrennen) und kann leichter gewonnen werden. Durch diese Trennung der Aktivitäten in verschiedene Abschnitte des Jahres ist es für einen Ziegeleibetreiber außerdem möglich, seine Arbeitskräfte, die im Sommer ziegeln, ganzjährig zu beschäftigen.¹⁰³ Spezifische fachliche Qualifikationen für beide Tätigkeiten sind ja, wie oben erwähnt, eher weniger gefordert als die Fähigkeit zu harter körperlicher Arbeit unter Anleitung; ein flexibler Arbeitswechsel erscheint dadurch problemlos realisierbar.

Als Betreiber römischer Ziegeleien wurden über die Zuordnung von Stempeln in z. T. sehr umfangreichen und aufwendigen Studien sowohl Privatpersonen als auch Militäreinheiten identifiziert.¹⁰⁴ Für die hier betrachteten Betriebsmodelle ist diese Trennung jedoch

¹⁰¹ siehe Kap. 10 und Kap. 13.5

¹⁰² nach Vitruv erfolgte das Ziegelstreichen nur im Frühjahr und im Herbst; aus: Spitzlberger 1983, 125 und: Brandl – Federhofer 2010, 54 f und McWhirr 1984, 55 f; Hampe – Winter 1965, 4 berichten über den Lehmabbau im Juli und August in Kampanien und Latien.

¹⁰³ siehe dazu auch Warry 2006, 121.

¹⁰⁴ siehe dazu Federhofer 2011, 15 und Le Roux 1999, 122 Aus technischer Sicht der Produktion, aus Sicht der Praxis besteht kein Unterschied zw. privater u militärischer Werkstatt. („Du point de vue des techniques de fabrication, du point de vue des pratiques, il n'y avait pas de différence entre atelier civil et atelier militaire.“) Dies gilt auch für die Klassifizierungen nach Betriebsformen von McWhirr 1984, 34 f (siehe Kap. 5) in öffentliche/militärische Produktion, municipale Produktion, regionale und ländliche Ziegeleien, Cluster-Ziegeleien, Wanderziegler und die örtliche lokale Produktion eines Hofes. Gleiches gilt für Peacocks (1979) Einteilung in Produktion für den Eigenbedarf, kleine ländliche Produktion, Nukleus-Ziegelei, Landgüter-Ziegeleien und municipale/städtische Ziegeleien.

unerheblich, da hieraus keine Unterschiede bei den Prozessketten, den Arbeitsabläufen und im Qualifikationsspektrum der Mitarbeiter abzuleiten sind.¹⁰⁵

Zum Vertrieb der Ziegel und den dazu anfallenden Transporten können die Stempel dagegen wichtige Informationen liefern: Wie groß waren die Entfernungen zwischen Herstellungs- und Verwendungsort und welche Transportleistungen waren dabei zu erbringen?¹⁰⁶ Außerdem lassen sich aus den Stempeln für spezifische Bauwerke die Menge dort benötigter/verbauter Ziegel ermitteln, für deren Produktion mit den entsprechenden Betriebsmodellen die benötigten Kapazitäten und Zeiten hergeleitet werden können.

Die in der Literatur vorgelegten archäometrischen Untersuchungen an Ziegeln mit Daten zur Materialstruktur von Werkstücken und deren chemischer Zusammensetzung können hierzu ebenfalls Informationen liefern, soweit sie Verknüpfungen von Herstell- und Einsatzorten von Ziegeln beschreiben.

7.4 Archäologische Befunde

Befunde zur römischen Ziegelproduktion liegen in großer Anzahl vor: neben Produkten (an Produktionsstätten oder im verbauten Zustand lokalisiert) sind dies insbesondere im Boden befindliche Teile von Produktionsanlagen. Dabei sind die aus Steinen oder Ziegeln errichteten Öfen freilich häufiger nachgewiesen als die in Holzbauweise errichteten Gebäude und Hallen. Die Abmessungen dieser Öfen liefern die wesentliche Bestimmungsgröße für die theoretische Leistungsfähigkeit einer Ziegelei: das Brennkammervolumen. Diese wird aus der Grundfläche der Brennkammer aus dem jeweiligen lokalen Befund mit einer in der vorliegenden Arbeit ermittelten plausiblen Höhe berechnet und ist zusammen mit der Dauer eines Brandes die maßgebliche Größe für die maximal verarbeitbare Menge Lehm (in Form von Ziegeln) in einer Brennsaison.¹⁰⁷

Aus den Abmessungen der Produkte, d. h. aus dem sich daraus ergebenden Volumen je Ziegel (gewonnen aus zugehörigen Befunden oder aus dem anzunehmenden Produktionsprogramm), ist dann auch die mögliche Stückzahl je Ziegeltyp, Charge und Saison ermittelbar.

Hallenabmessungen liefern dagegen keine direkten Beurteilungsmaßstäbe zur Leistungsfähigkeit: Sie dienen – zumindest in der Neuzeit und vermutlich auch in der Antike – als Wetterschutz beim Trocknen der geformten Rohlinge und/oder zur Unterbringung der Arbeitsplätze der Former. Welche Abhängigkeiten zwischen den Größen der Flächen und

¹⁰⁵ Interessanter könnte vielmehr sein, welche Leistung beispielsweise Militärziegeleien erbringen können und wie viele Soldaten dazu benötigt werden, da ja der Ziegeleibetrieb im wesentlichen in den für Feldzüge zur Verfügung stehenden Sommermonaten stattfindet und somit beide Aktivitäten parallel erfolgen müssten.

¹⁰⁶ siehe dazu auch McWhirr – Viner 1978, 362–377.

¹⁰⁷ Keiner der Befunde liefert Brennkammerhöhen in situ. Deshalb wurde aus Berichten und Versuchen eine technologisch sinnvolle Brennkammerhöhe abgeleitet.

deren jeweiliger Nutzung bestehen, ist aus Befundberichten nicht herzuleiten und kann demzufolge auch nicht als Erklärungsansatz für die Kapazität einer Ziegelei verwendet werden.

Detaillierte Informationen zu dieser Thematik sowie Berichte zu Befunden werden bei den jeweiligen Aktivitäten der Prozesskette sowie bei der Erstellung ausgewählter Betriebsmodelle angesprochen und ausgewertet.

7.5 Prozessketten

In der Prozesskette der Ziegelproduktion Abb. 14 sind die beteiligten Betriebseinheiten und deren zugehörige Funktionen/Aktivitäten in ihrer zeitlichen Reihenfolge, bzw. dem Materialfluss folgend, dargestellt.¹⁰⁸ Zur besseren Übersicht sind hier auch die Teilprozesse zur Gewinnung des Lehms und des Brennmaterials enthalten; diese stehen zwar in der eingezeichneten logischen Folge zur Ziegelproduktion, aber nicht in einer unmittelbaren zeitlich fix verknüpften Verbindung.

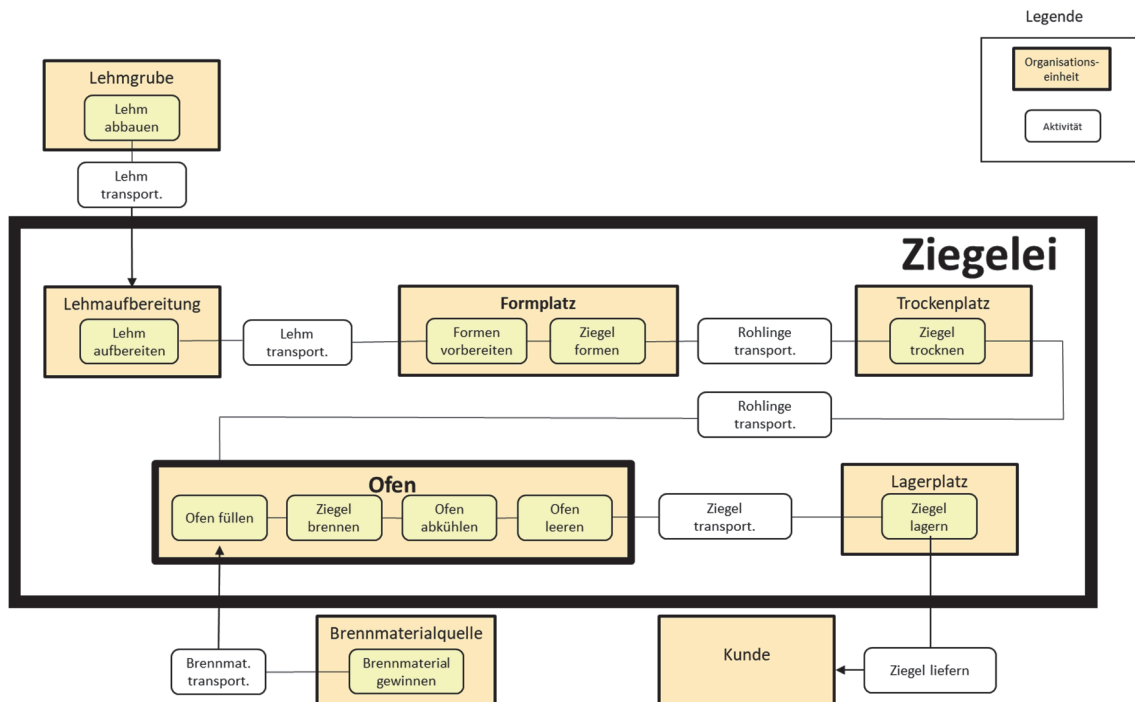


Abbildung 14 Prozesskette der Ziegelproduktion mit Lehm- und Brennmaterialgewinnung

¹⁰⁸ Teufel 2003, 66 „Funktion beschreibt das, was ausgeführt werden soll“; <<https://www.duden.de/recht-schreibung/Aktivitaet>> (25.04.2018): „aktives Verhalten“. Bei den weiteren Betrachtungen werden diese beiden Begriffe synonym verwendet.

Dabei ist die Abfolge der einzelnen Funktionen/Aktivitäten technologisch vorgegeben und in jedem Falle zwingend.¹⁰⁹

Der angelieferte Lehm wird zunächst für das Formen aufbereitet, d. h. seine Viskosität wird für das nachfolgende Formen durch Zugabe von Wasser oder Magerungsmittel, wie z. B. Sand, für das Formen eingestellt. Danach werden die Ziegelrohlinge auf einer Formerbank mit Hilfe von Modeln geformt und anschließend auf einen Trockenplatz transportiert, um dort zunächst flach ausliegend anzutrocknen. Nach einigen Tagen haben sie genügend Formstabilität, um aufrecht gestellt zu werden. Nach Erreichen des notwendigen Trocknungsgrades – in den NW-Provinzen ist dies erst nach einigen Wochen der Fall – werden sie zum Brennen in den Ofen eingebracht. Dabei werden sie in mehreren Lagen senkrecht stehend aufgestapelt, wobei zwischen den Ziegeln für das Durchströmen der Rauchgase Zwischenräume gelassen werden. Beim Brennen wird zunächst das in den Ziegeln verbliebene Wasser ausgetrieben. Erst danach erfolgt durch Erhöhen der Temperatur im Ofen das eigentliche Brennen, d. h. das Sintern der Ziegelmasse. Das darauffolgende Abkühlen erfordert ein langsames Reduzieren der Temperatur im Ofen, um Rißbildung der Stücke zu vermeiden. Die fertigen Ziegel werden dann entnommen und zu einem Lagerplatz für die Auslieferung an die Kunden transportiert.

Die Aktivitäten zum Lehmabbau und zur Brennmaterialgewinnung sind unabhängig von dieser Prozesskette; sie müssen jedoch rechtzeitig vor deren Beginn abgeschlossen sein.

Die Inhalte der einzelnen Aktivitäten dieser Abfolge werden in den nachfolgenden Abschnitten detailliert beschrieben und ihre jeweiligen Parameter quantifiziert und so die Grundlagen für das Gestalten von Betriebsmodellen für Ziegeleien zusammengetragen.

Wesentliche Größe für die Kapazität einer Ziegeleianlage – der sog. Prozesstrigger¹¹⁰ – ist die im vorigen Abschnitt angesprochene Brennkapazität des Ofens (bzw. der Öfen), d. h. das Volumen der Brennkammer. Sie ist die Richtgröße für sämtliche anderen Aktivitäten; so ist beispielsweise nur so viel Ware zu formen, wie auch gebrannt werden kann. Bei dem hier unterstellten kontinuierlichen Einsatz eines Ofens steht dazu rechnerisch exakt die Zeit für einen Brand (einschließlich Befüllen, Abkühlen, Leeren und ggf. Reparieren von Schäden) zur Verfügung.

Die je Saison mögliche Produktionskapazität errechnet sich wie folgt:

Anzahl verfügbarer Arbeitstage einer Saison
 dividiert durch
 die Dauer eines Brandes
 ergibt
 die Anzahl möglicher Brände;
 diese multipliziert mit der

¹⁰⁹ siehe hierzu auch die in Kap. 5 genannten, vergleichbaren Untersuchungsansätze.

¹¹⁰ Teufel 2003, 66.

Anzahl möglicher Rohlinge je Ofenfüllung

ergibt

die theoretisch mögliche Saisonleistung eines Ofens (gemessen in Anzahl Stück je Ziegeltyp).

Abhängig vom Volumen eines jeweiligen Ziegeltyps sind diese Werte unterschiedlich hoch; die Leistung in m^3 verarbeitetem Lehm je Ofen bleibt jedoch konstant; diese Größe hängt lediglich vom Volumen der Brennkammer ab. Bei Anlagen mit mehreren Öfen ist darüber hinaus die mögliche Abfolge der Brände in den jeweiligen Öfen von Belang; ist beispielsweise ein Parallelbetrieb möglich oder können die Öfen nur nacheinander verwendet werden. Die Überlegungen hierzu werden sehr stark von der jeweiligen lokalen Situation bestimmt: getrennt aufgestellte Öfen mit jeweils eigenem Befeuerungsraum vor dem Ofen können eher unabhängig voneinander betrieben werden als Öfen mit gemeinsamem Befeuerungsraum, wo wegen der Hitze beim Brennen in einem Ofen Arbeiten an dem direkt danebenstehenden Ofen nicht möglich erscheinen.

Inwieweit diese maximale Leistungsfähigkeit jedoch im Einzelfalle ausgeschöpft werden kann, ist von sehr vielen Einflüssen abhängig, die im Nachhinein für eine antike Anlage nicht ermittelbar sind. Die gewonnenen Werte sind damit Obergrenzen, die einen optimalen Betriebsablauf unterstellen.

Ebenso ist der Personalbedarf nur als „benötigte Mannstunden“ beschreibbar. Dabei ist eine Mannstunde (Mh) eine Messgröße, die aussagt, dass während der Zeiteinheit Stunde (h) ein Mitarbeiter die jeweilige Tätigkeit ausführt. Diese Stunden werden zu den „benötigten Mannstunden“ aufsummiert und diese wiederum zu Stundenpaketen wie „Manntagen“ (MT) zusammengefasst.

Dabei kann es durchaus in einem Betrieb vorkommen, dass die Mannstunden eines solchen Manntages auf mehrere Personen aufgeteilt werden; ein Mitarbeiter leistet beispielsweise die Mh des Vormittages, während ein anderer am Nachmittag tätig wird. So werden je Manntag zwei Personen eingesetzt. Die Zahl „benötigte Manntage“ gibt demzufolge die Anzahl benötigter Mitarbeiter je Tag nur für den Fall an, dass ein Mitarbeiter exakt alle Mannstunden eines Manntages tätig ist. Werden die Mannstunden auf mehrere Mitarbeiter, z. B. durch Einsatz eines Schichtsystems, verteilt, ist selbstverständlich eine größere Anzahl Personen aktiv.

Da die Verhältnisse beim Personaleinsatz an den Befundorten für die Antike nicht bekannt sind, liefert die ermittelte Anzahl MT deshalb die Anzahl der mindestens einzusetzenden Mitarbeiter (unter der Voraussetzung, dass diese jeweils alle Mh eines MT leisten). Varianten sind dennoch für Annahmen hierzu ableitbar: ein Zweischichtsystem erfordert die doppelte Anzahl Mitarbeiter etc. ...

Bei allen Betrachtungen zu den Aktivitäten und deren Verknüpfungen in den Prozessketten müssen außerdem optimale Abläufe unterstellt werden; suboptimale Situationen sind wegen der Vielzahl ihrer Möglichkeiten und nicht zuletzt auch wegen fehlender Quellen hierzu nicht abbildbar.

7.6 Aktivitäten

Bei der Analyse und Darstellung der einzelnen Aktivitäten wird ein einheitliches Schema verwendet, um die Inhalte abzugrenzen, die jeweiligen Besonderheiten gezielt herauszuheben und die für die Wertstellung als relevant angesehenen Aspekte in einem Fazit zusammenzufassen. Die Herleitung der Werte wurde, soweit dies nicht in dieser Darstellung erfolgt, zusammen mit den Quellen in den Anhang (gegliedert in korrespondierende Kapitel) eingestellt.

Inhalt

Beschreibung der Aktivität.

Besonderheiten

Wesentliche Aspekte zu Inhalt und Quantifizierung der Aktivität. Die Quellenlage hierzu ist bei den einzelnen Aktivitäten sehr unterschiedlich; teilweise liegen exakte physikalische Werte vor, teilweise können Daten aus der Literatur und über ethnologische Vergleiche gewonnen werden; auch Annahmen mit Begründungen lieferten plausible, für Berechnungen verwendbare Werte.

Fazit

Konsequenzen aus den Besonderheiten in Bezug auf die für das Modell verwendeten Daten.

Wertstellung

Daten, die für die Berechnungen in einem ersten Ansatz verwendet werden. Die zugehörigen Ableitungen dieser Werte sind zusammen mit den Quellen je Aktivität in korrespondierenden Kapiteln im Anhang beschrieben. Die in der Prozesskette mehrfach vorkommende Aktivität „transportieren“ wird in zwei Elemente aufgeteilt: innerbetriebliche Transporte – externe Transporte

Bei den innerbetrieblichen Transporten sind einerseits die unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten (Entfernungen zwischen den einzelnen Plätzen einer Anlage) und andererseits auch die zu vermutende unterschiedlich starke Arbeitsteilung (größere Spezialisierung in größeren Betrieben und geringere in kleineren) maßgebliche Parameter. Dies lässt es wenig sinnvoll erscheinen, exakte Weglängen, Wegezeiten und Lastgewichte ermitteln und darauf basierende Rechnungen anstellen zu wollen. Deshalb wird eine detaillierte Quantifizierung der innerbetrieblichen Transporte zurückgestellt. Der Personalbedarf für das Transportieren wird bei der Herleitung von Beispielen/Modellanwendungen in Form von Zuschlägen zu den gerechneten Daten berücksichtigt.

Die Daten für die externen Transporte, Anlieferungen von Rohstoffen und Abtransport von Fertigware, sind in einem eigenen Kapitel dargestellt (siehe Kap. 13.4.3). Daraus können für die einzelnen Betriebe Transportaufwände berechnet werden.

Als Einheiten für die Wertstellung von Arbeitsmengen wurden dabei nicht die heutigen Begriffe Personenstunde, Personentag etc. verwendet, sondern die o. g. in der Vergangenheit üblichen: Mannminute Mmin, Mannstunde Mh und Manntag MT.¹¹¹ Grund hierfür ist die Einheitlichkeit bei den Angaben in der vorliegenden Arbeit und denen aus den verwendeten Quellen.

7.6.1 Lehm abbauen

Quellen hierzu: Kap. 13.2.1

Inhalt

- Überwuchs beseitigen (besonders intensiv bei Ersterschließung einer Grube).
- Lehm stechen, ausheben.
- Für evtl. notwendige Bewitterung aufbereiten (dies ist nicht an jeder Abbaustelle erforderlich; an manchen Plätzen kann der Lehm direkt für die Weiterverarbeitung genutzt werden).

Besonderheiten

- Die Tätigkeit fällt vor dem Beginn der eigentlichen Arbeit des Formens an. Wann exakt sie begonnen wird, ist eher unbedeutend. Sie muss jedoch mit einer ausreichenden Menge vor dem Start der 1. Fertigungscharge abgeschlossen sein. In einigen Gegenden ist es überdies notwendig, den gestochenen Lehm besonders aufzuarbeiten, da er nicht sofort für das Formen verwendet werden kann. „Dann wird der Lehm traditionell im Herbst ‚gestochen‘, d. h. in schmalen Spatenstichen geborgen und zum Auswettern in ca. 1 m hohe und ca. 2 m breite lange Haufen geschüttet, damit Frost und Regen einen Teil der Aufbereitung übernehmen.“¹¹² Regen wird aufgesaugt und Frost zersprengt knollenartige Tonansammlungen.“¹¹³ Dies erfordert einen weiteren, einzuplanenden Vorlauf vor dem Formen (siehe dazu auch das nachfolgende Kapitel); z. T. bis in das Jahr vor Beginn der Ziegelproduktion hinein.

¹¹¹ <<https://www.projektmagazin.de/glossarterm/arbeit>> (09.04.2018) „Arbeit wird als Produkt aus eingesetzten Mitarbeitern und der verstrichenen Arbeitszeit gemessen. Übliche Einheiten sind Personenstunde (PS), Personentag (PT) oder Personenmonat (PM), seltener Personenjahre (PJ). Zum Teil noch verwendet werden die Bezeichnungen Mannstunde, Manntag, Mannmonat oder Mannjahr.“

¹¹² Hampe – Winter 1965, 4 geben für Latium und Kampanien die Monate Juli und August für das Lehmstechen an. Dabei wird jedoch eine besondere Abbautechnik praktiziert, bei der die Tonvorräte in der Grube ständig unter Wasser gehalten werden, um das Material feucht zu halten. Diese Gruben trocknen im Sommer aus und der Lehm wird abgebaut. Ein Bewittern ist demzufolge vor einer Verarbeitung des Lehms dort nicht notwendig.

¹¹³ Beschreibung aus der Neuzeit: siehe <<http://www.lehmbaukontor.de/pages/lehmbauweisen/maschinen-im-lehmbau.php>> (14.10.2015).

- Weitere evtl. nötige Tätigkeiten, wie z. B. Aufstapeln der Lehmbrocken, der Abtransport auf einen Bewitterungsplatz, können nicht für jede Befundstelle unterstellt werden. Die Dauer dieser Tätigkeiten ist außerdem von lokalen Gegebenheiten abhängig, die im Nachhinein nicht quantifizierbar ist.
- Auch der Gesamtbedarf an Lehm für eine Saison eines Ziegelbetriebes prägt sicherlich den Arbeitsablauf und die benötigte Zeit für den Abbau: so ist es vorstellbar, dass bei hohem jährlichen Bedarf an Lehm ein gut organisierter Lehmabbau mit entsprechend hoher Abbauleistung wahrscheinlicher ist als bei geringem Bedarf, für den überdies noch eine lange Zeitspanne zur Verfügung steht.

Fazit

- Ein Wert für den Personalbedarf je Volumen abzubauenen Lehms und die dabei benötigte Zeitdauer kann nur ein Näherungswert sein, der für grobes Abschätzen geeignet ist.
- Diese relativ geringe Präzision bedeutet jedoch keine Abschwächung von Aussagen zum Geschehen in der Ziegelei selbst, da die Tätigkeit zeitlich und räumlich getrennt von der Produktionsanlage ausgeführt wird und keinen direkten Einfluss auf das Geschehen dort hat; evtl. sind dafür sogar andere Mitarbeiter als die in der Ziegelei tätigen aktiv.

Wertstellung

- exakte Zeitstellung für das Lehmabbauen erfolgt nicht; Prämisse: rechtzeitig vor Beginn einer Saison liegt ausreichend Lehm für das Ziegelbrennen vor; Abbauezeitraum: zumeist im Herbst
- 5 m^3 je MT werden für die Berechnungen verwendet.¹¹⁴ Durch Einrechnen der Lehmaufbereitung an Abbauort nach dem im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Vorgehen wird für Lehmabbau und -aufbereitung mit $2,5 \text{ m}^3/\text{MT}$ gerechnet.

¹¹⁴ Der Wert liegt im unteren Bereich der Angaben in der Literatur mit 5 bzw. 5–15 m^3/MT , z. T. jedoch für andere, leichter abbaubare Stoffe; bei Verrichten dieser Tätigkeit im Winter wird mit 4 m^3 je MTw (nur 8 Mh, siehe Kap. 13.5.1) zu rechnen sein.

7.6.2 Lehm aufbereiten/Formen vorbereiten

Quellen hierzu: Kap. 13.2.2

Inhalt

- Die Aufbereitung des abgebauten Lehms erfolgt generell in 2 Schritten:
 1. Aufbereiten nach dem Abbau
 2. Aufbereiten vor dem Formen¹¹⁵

zu 1. beim sog. Bewittern (oder auch Wintern/Sommern) wird der Lehm auf Halde gelegt und der Witterung (mit Regen und Frost/Hitze) ausgesetzt. Dabei wird der Rohstoff aufgelockert.¹¹⁶

zu 2. vor dem Formen erfolgt eine Homogenisierung des Lehmgefüges durch Wässern. Dabei wird die für das Formen benötigte Viskosität des Rohmaterials eingestellt. Diese Tätigkeit wird auch als Sumpfen bezeichnet.¹¹⁷ Danach wird der Lehm in Gruben durch Treten mit den Füßen weiter homogenisiert, gereinigt und eventuell mit Zusätzen vermischt.¹¹⁸

Besonderheiten

- Flußton braucht weniger Aufbereitung als abgebauter Ton – und erfordert damit weniger Aufwand¹¹⁹
- Exakte Zeitwerte für das Aufarbeiten liegen nicht vor.

¹¹⁵ Bender 2008, 123 „Aufbereiten besteht immer aus einem Zerkleinern und einem Mischen, sowie vielfach einem Aussortieren unerwünschter Einschlüsse.“

¹¹⁶ a. a. O. „Der keramische Rohstoff ist ein Mehrstoffsystem, das sich aus bildsamen, unbildsamen, flüssigen und gasförmigen Einzelstoffen zusammengesetzt“ „Das Lösen und Lockern dieser aneinander gekitteten Primärteilchen und ihre gleichmäßige Umhüllung mit Wasser wird Aufschließung oder Tonaufschluss genannt.“

¹¹⁷ a. a. O. 125: „Sumpfen: Früher auch Feuchtelagerung, Einsumpfen = frisch von der Grube kommendes, gewintertes oder gesommertes, aber mechanisch noch nicht aufbereitetes Material lagenweise in gemauerte Gruben einzubringen, jede Lage zu wässern und dann in Ruhelage die langsame, vollständige Aufnahme des Wassers und damit den Aufschluss zu ermöglichen. Die Sumpfzeit lag i. d. R. bei 4–6 Wochen.“

¹¹⁸ Schönauer 1815, 27–34 und Brandl – Federhofer 2010, 18.

¹¹⁹ Matz 1930, 45. „Die leichten Tone, wie sie sich in den Flußniederungen finden, erfordern eine äußerst geringe Vorbereitung“ Exakte Angaben hierzu liegen jedoch nicht vor. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit auf Betrachtungen zum Einsatz von Flußton verzichtet.

- Für die Bearbeitung werden Erdgruben angelegt, die im archäologischen Befund nur schwer einzelnen Aktivitäten zugewiesen werden können – zumindest nicht mit den für eine Quantifizierung von Abläufen notwendigen Details, wie exakte Funktion und Kapazität.

Fazit

- Der Zeit- und Personalbedarf für das Aufarbeiten kann bei den einzelnen Produktionsstandorten und Lehmarten unterschiedlich sein; auch sind die Abläufe im Detail in kleineren Betrieben vermutlich nicht exakt die gleichen wie in größeren.
- Das Aufbereiten nach dem Abbau soll bei der Abfolge der Prozesskette eher im Zusammenhang mit dem Abbau, das Aufbereiten vor dem Formen zusammen mit dem Formen betrachtet werden.

Wertstellung

Aufgrund fehlender Detaildaten werden hier Schätzungen verwendet:

- Aufbereiten nach dem Abbau (für das Auslegen, Bewässern, Zerkleinern etc.) als Zuschlag von 100 % zum Zeitbedarf für den Abbau; d. h. für das Aufbereiten müsste der dafür aktive Mitarbeiter nochmals die gleiche Zeit für das Aufarbeiten aufwenden oder es wäre eine zusätzliche Kraft hierfür notwendig.
- Aufbereiten vor dem Formen wird mit einem Zuschlag von 100 % zum Zeitbedarf für das Formen veranschlagt; dies entspricht 1 Aufbereiter je Former.¹²⁰
- Dieser Ansatz folgt der Schätzung des Ziegelmeisters Keller im Museum Lage.

7.6.3 Ziegel formen

Quellen hierzu: Kap. 13.2.3

Inhalt

- Formen unterschiedlicher Ziegeltypen mit verschiedenen Abmessungen und Typen unter Verwendung von Modeln.
- Dabei können folgende Tätigkeiten anfallen
 1. Arbeitsfläche säubern
 2. Fläche mit sand bestreuen
 3. Model wässern
 4. Model auf Fläche plazieren
 5. Lehm vom Batzen schneiden

¹²⁰ Eine Konstellation, die in manuellen Ziegeleien der Neuzeit üblich gewesen ist. Damit sollen auch andere, vom Aufbereiter im Umfeld des Formens anfallende Zuarbeiten für den Former berücksichtigt sein, damit dieser kontinuierlich und ohne Unterbrechungen arbeiten kann.

6. Lehm in Form werfen (*imbrex* und kleine Volumina in einem Wurf – andere Formate mehrere Würfe)
7. Ecken ausformen
8. überschüssigen Lehm abstreifen
9. zusätzlich bei *tegula*: Leisten formen; Überlappungen abnehmen
10. zusätzlich bei *imbrex*: Rohling über Formholz biegen
11. Oberfläche glätten
12. Rohling von Fläche nehmen

Besonderheiten

- Es gibt keine direkten Hinweise auf die in der Antike angewandten Verfahren.
- Der Zugang zur angewendeten Technologie erfolgt über ethnologische Vergleiche und Machbarkeitsbetrachtungen. Hierzu liegen eine Vielzahl von Publikationen sowie Werte aus Experimenten vor.
- Die Verwendung der Ziegel in einem Verband (Dach oder Fußboden) erfordert einheitliche Ziegelabmessungen mit engen Toleranzen. Dies ist nur bei Verwendung von Schablonen (Modeln) möglich.
- Für die unterschiedlichen Typen wurden verschiedene Zeiten für das Formen erarbeitet.
- *imbrices* können im Gegensatz zu *tegulae* und *lateres* nicht in einem einzigen Fertigungsschritt geformt werden: zunächst wird in einem Model ein flacher Ziegel geformt, der dann über einem Formholz zu einem konischen Wölbziegel gebogen werden muss; beide Schritte können jedoch unmittelbar nacheinander ausgeführt werden.
- Als Vergleichsmaßstab für die Dauer des Formens römischer Ziegel wurde auch das manuelle Formen von neuzeitlichen Mauerziegeln in die Betrachtungen aufgenommen. Diese werden ebenfalls mit Modeln geformt.

Fazit

- Die verwendeten Daten sind Schätzungen mit Angaben für die einzelnen Ziegeltypen und -größen.
- Bei der Ermittlung wurden sowohl die Komplexität der Form (und die dabei notwendigen Arbeitsschritte) als auch die Menge des je Rohling zu handhabenden Lehms berücksichtigt.

Wertstellung

- Je 1 Muster-*tegula* (50 × 35 × 3 cm) und 1 Muster-*imbrex* (50 × 15 × 2 cm).
- Größen-Klassen bei den *lateres* nach dem Volumen der Ziegel
 - *bessalis* 2 l
 - *pedalis* und Rechteckplatten 5 l
 - *sesquipedalis* 10 l
 - *bipedalis* 27 l
 - röm. Mauerziegel I 45 × 30 × 2,5 cm 3,4 l
 - röm. Mauerziegel II 45 × 30 × 7,5 cm 10 l¹²¹

Typ	Volumen	Formen	Leistung
	l	Mmin/Stck	l/Mh
<i>tegula</i>	5	3	100
<i>imbrex</i>	1,5	1,5	60
<i>bessalis</i>	2	1	120
<i>pedalis</i> und Rechteckplatten	5	2,5	120
<i>sesquipedalis</i>	10	5	120
<i>bipedalis</i>	27	15	120
röm. Mauerziegel I	3,4	1,5	120
röm. Mauerziegel II	10	5	120
Mauerziegel 19. Jh.	2	1	120

Tabelle 2 Zeitbedarf Formen je Ziegeltyp – Schätzungen

- Die Leistungen „verarbeitete 1 Lehm je Mh“ liegen bei den verwendeten Zeiten je Stück in plausibel erscheinenden Bereichen:
 - 120 l/Mh werden für das Formen der *lateres* eingesetzt. Dieser Wert entspricht dem unteren Bereich der Daten für das Formen von Mauerziegeln im 19. Jh.; daraus resultierende spezifische Zeiten je Stück ergeben folgende – plausible – Relationen:
 - 1 Mmin für 2 l-Ziegel, 3 Mmin für 5 l-Ziegel, 5 Mmin für 10 l-Ziegel, und 15 Mmin für 27 l-Ziegel
 - bzw. die Leistungen je Stunde von 60 – 20 – 12 – 4 Stück
 - Für das Formen von *tegulae* ist demgegenüber der Wert der gleichvolumigen *pedales* von 2,5 Mmin/Stück wegen der zusätzlich auszuformenden Leisten und Hinterschneidungen um 20 % (Setzung) auf 3 Mmin/Stück erhöht – und damit die Leistung l/Min entsprechend gemindert.
 - Dies gilt auch für die *imbrices*, bei denen der Wert von Hampe – Winter mit 1,5 Mmin/Stück verwendet wird.

¹²¹ nach Harley 1974, 70 dünnste und dickste röm. Mauerziegel.

7.6.4 Ziegel trocknen

Quellen hierzu: Kap. 13.2.4

Inhalt

- Nach dem Formen werden die Ziegel vom Formtisch wegtransportiert und zum Trocknen ausgelegt; dabei werden sie zunächst einzeln nebeneinander abgelegt und nach Erreichen des geeigneten Trocknungs- und Festigkeitsgrades in engerer, aber luftdurchlässiger Position zueinander senkrecht aufgestellt.

Besonderheiten

- Die Trockendauer ist abhängig von der Form der Ziegel: dicke Ziegel benötigen mehr Zeit als dünne.
- Durch Lagern unter Überdachungen oder in Hallen kann das Trocknen wesentlich beeinflusst werden.
- Ein künstliches Trocknen durch Zufuhr von Wärme, z. B. durch Beheizen mit Brenngasen, wird für die Antike nicht angenommen.
- Die gelegentlich in Befunden angesprochenen Hallen liefern keine generell verwertbaren Informationen über die jeweils eingesetzte Trocknungstechnik (überdacht oder nicht überdacht), da nicht bekannt ist, in welchem Maße und Umfang sie für das Trocknen eingesetzt waren.¹²²
- Zusätzlich zum Abtransport fallen je nach Witterung unterschiedliche Arbeiten an: Abschirmen gegen Regen bzw. zu starke Sonne; damit ein Auswaschen bzw. Reißen der Rohlinge verhindert wird.
- Auch in der Literatur wird der Zeitbedarf für diese Tätigkeiten nicht explizit quantifiziert; wenn überhaupt darauf eingegangen wird, dann im Zusammenhang mit anderen Tätigkeiten.

Fazit

- Die Vielfalt an möglichen Einflussgrößen beim Trocknen macht eine thermodynamische Berechnung mit dem Ziel der Ermittlung exakter Trocknungszeiten unmöglich.
- Die Wertstellung bezieht sich deshalb auf Erfahrungswerte – mit Schwankungsmöglichkeiten, die wegen Unkenntnis der damaligen lokalen Klimaverhältnisse nicht eingegrenzt werden können.
- Das Ermitteln der exakt anfallenden Arbeitsmenge, z. B. für das Wenden, Abdecken etc. ist aus den o. g. Gründen nicht möglich – hier müssen ebenfalls Schätzungen die Datengrundlage sein.

¹²² Weitere Betrachtungen zu den Hallengrößen: siehe Kap. 13.2.4

Wertstellung

- Für das Trocknen werden für die betrachtete Region 28 Tagen angesetzt.
- Die Bemessung der Arbeitsmenge erfolgt als 100 %iger Zuschlag zum erforderlichen Zeitbedarf für das Formen.

7.6.5 Brennen

Quellen hierzu: Kap. 13.2.5

Inhalt

- Verfestigen und Haltbarmachen der Ziegel in einem thermischen Prozess.
- Der dazu eingesetzte Brennofen ist das signifikante Objekt einer Ziegelei. Er liefert in archäologischen Befunden sowohl das Identifikationsmerkmal als auch die Parameter zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit und den Ressourcenbedarf einer Anlage.
- Die Betrachtungen werden für Ziegelöfen vom Typ „rechteckiger Schachtofen“ an gestellt.
- Dem Brennvorgang sind das Befüllen und das Leeren des Ofens vor- bzw. nachgeschaltet.

Besonderheiten – Fazit – Wertstellung

- Inhalte und Quantifizierungen dieser drei Hauptaktivitäten werden jeweils einzeln betrachtet.
- Zu einer maximalen Ausnutzung gehören eine maximale Befüllung des Ofens, eine möglichst kurze Belegungszeit für einen Brand und ein direktes Aufeinanderfolgen der einzelnen Chargen.
- Der Brennbetrieb, d. h. die Einsatzzeit eines Ofens während eines Jahres, wird in der ausgewählten Region witterungsbedingt auf die Zeit zwischen Frühjahr und Herbst begrenzt.
- Die Anzahl möglicher Chargen in diesem Zeitraum und die maximale Chargengröße ergeben die Leistungsfähigkeit einer Brennsaison.
- Der zeitliche Abstand zwischen den Bränden – ein kontinuierlicher Betrieb vorausgesetzt – ist die Zeit, die für das Formen der zu brennenden Rohlinge zur Verfügung steht. Daraus wird – in Abhängigkeit von Art und Menge der jeweils geplanten Ziegelproduktion – die Anzahl benötigter Formplätze ermittelt, damit für die jeweiligen Brände die maximal mögliche Anzahl Rohlinge eingesetzt werden kann. Die Ofenkapazität und die Brennfrequenz sind somit die maßgeblichen Kapazitätsparameter einer Ziegelei.
- Der Einsatz eines Ofens für mehrere aufeinanderfolgende Brände wird unterstellt – evtl. notwendige Neuerrichtungen von Öfen während einer Saison werden nicht berücksichtigt.
- Die Wertstellung erfolgt innerhalb der einzelnen Aktivitäten.

7.6.5.1 Ofen füllen

Inhalt

- Einsetzen des Brenngutes in den Ofen einschl. Antransport der Rohlinge.

Besonderheiten

- Die Rohlinge werden mit Zwischenräumen in die Brennkammer eingesetzt; dadurch wird die Durchströmung mit Rauchgas ermöglicht; der „Füllgrad“ beschreibt das Verhältnis: Volumen des in Form von Rohlingen eingesetzten Lehms zum Volumen der Brennkammer (in %).
- Ofengröße, -zugänglichkeit und die Empfindlichkeit der Rohlinge haben Auswirkungen auf den Befüllvorgang.
- Handbücher des 18. und 19. Jahrhunderts liefern lediglich Zeiten für das Erstellen von Feldbrandöfen (Meilern).
- In der Literatur werden Inhalt und Umfang der Aktivität meist nur im Zusammenhang mit dem gesamten Brennvorgang genannt und nicht detailliert/quantifiziert ausgewiesen.
- Beim Befüllen mit Dachziegel-Rohlingen ist besondere Vorsicht geboten: sie sind relativ dünn und somit labil beim Stapeln, zusätzlich machen Risse oder Beschädigungen bei unsachgemäßem Handling die Teile unbrauchbar; die Ziegel sind nicht mehr passgenau und nicht mehr wasserdicht.

Fazit

- Die Anzahl einzusetzender Ziegel kann aus den Ofenabmessungen und den Volumina der Rohlinge ermittelt werden.
- Die Dauer des Befüllens wird über geschätzte stückspezifische Werte berechnet.

Wertstellung

- Der Füllgrad wird mit 50% angesetzt; für jeden eingesetzten Ziegel bleibt das gleiche Volumen als Zwischenraum frei.
- Beim Einsatz von 2 geübten Mitarbeitern (Zureicher + Einsetzer) erscheinen 15 sec je Stück als erstem Ansatz plausibel; d. h. 4 Rohlinge werden je min eingesetzt.
- Je Stück fallen so 30 Msec an.
- Als Annahme wird davon ausgegangen, dass diese Arbeit von dem für das Brennen zuständigen Personal übernommen wird, für das in dieser Phase des Brennens keine Ofenbedienung anfällt. Zusätzliche Mh werden hierfür nicht angesetzt.
- Für den Antransport der Rohlinge wird zur Gewinnung eines Schätzwertes mit den im Kapitel Transporte (13.4) angegebenen Werten gerechnet; z. B. für 5.000 Rohlinge und 10 l Last aus 50 m Entfernung anliefern werden 10 Mh angesetzt. (auch für den

Antransport wird davon ausgegangen, dass dies an einem Tag vom vorhandenen Personal ausgeführt wird – ein zusätzlicher Bedarf hierfür wird demzufolge nicht berechnet).

7.6.5.2 Ziegel brennen – Ofen abkühlen

Inhalt

- Der Brennprozess mit Beginn des Heizens bis zu Abkühlung auf Umgebungstemperatur; also von „kalt“ bis „kalt“.

Besonderheiten

- Das Brennen der Ziegel ist die technologisch wichtigste Aktivität der gesamten Prozesskette. Das Geschick des Brennmeisters bei der Steuerung des Prozesses entscheidet über die Qualität der Produkte bzw. über Erfolg oder Misserfolg einer Charge.¹²³
- Brennverlauf

Das Brennen erfolgt in mehreren Phasen, die fließend ineinander übergehen und bei denen eine exakte Abgrenzung nicht möglich ist.¹²⁴

- Schmauchen: Behutsames Austreiben des Porenwassers aus dem Besatz (und dem Ofen) zur Vermeidung von Rissen in den Rohlingen.
- Anwärmen: bei Temperaturen bis zu 400 °C wird die noch enthaltene Restfeuchte ausgetrieben.
- Aufheizen: Erhöhen der Temperatur bis ca. 850 °C zur Abspaltung des chemisch gebundenen Wassers und zur Einleitung weiterer, im Vorfeld des Garbrandes notwendiger Prozesse.
- Garbrand: Dabei erfolgen bei (in der Regel nicht über) 1.000 °C die Sinterung, die Farbbildung und die Entstehung neuer Minerale – der Ziegel wird hart.
- Abkühlen: Dies muss sehr langsam und vorsichtig erfolgen, um Kühlrisse zu vermeiden.

Für jede dieser Phasen gibt es mehrere Parameter, die deren Dauer und damit die Gesamtlänge des Brandes beeinflussen; detaillierte Berechnungen auf dieser Basis sind nicht sinnvoll bzw. unmöglich.

Zur Ermittlung der Dauer bei römischen Ziegelbrennöfen standen Daten aus Versuchen mit solchen Öfen zur Verfügung.

¹²³ Schrader 1997 136 „Es war die Kunst des Brenners, die Temperatur möglichst genau mit dem Auge zu schätzen. Er konnte zwischen dunkel rotglühend bei 500° bis zum hellen Glühen bei 1150 °C differenzieren, auf 5 bis 10 °C genau.“

¹²⁴ Bender 2008, 269–273.

Ofenkapazitäten

- Zur Ermittlung der Kapazitäten von Brennöfen (das Volumen der Brennkammer) liegen für die betrachteten Regionen und Epoche eine Vielzahl von Befunden mit Angaben zu den Abmessungen der Brennkammerflächen vor; jedoch keine Angaben zu Höhen.
- Bei der Schätzung plausibler Brennkammerhöhen sind folgende Aspekte relevant: Dünne rohe Ziegel sind nur begrenzt stapelbar. Sie werden beim Brennen weich und die aufeinander stehenden Kanten drohen sich wegen des hohen Eigengewichtes der darüber befindlichen Rohlinge zu verformen; außerdem besteht wegen der großen Flächigkeit die Gefahr des Ausbeulens. Mit zunehmender Öfenhöhe wird überdies die Steuerung der Ofentemperatur problematisch: je höher der Ofen, desto höher sind die Rauchgasgeschwindigkeiten und die Temperaturunterschiede innerhalb des Ofens. Dadurch wächst das Risiko von Fehlbränden deutlich.

Brennmaterial

- Als Brennmaterial sind verschiedene Stoffe möglich; Holz (als Scheite, Reisig, Buschwerk etc.) ist das gängige Brennmaterial; aber auch Stroh und andere minderwertige Materialien sind einsetzbar; fossile Brennmaterialien, wie Öl, Gas und Steinkohle wurden nicht verwendet.
- Die Brennmaterialien haben unterschiedliche Heizwerte (Definition Heizwert: „Die pro Kilogramm eines Treib- oder Brennstoffs gewinnbare Wärmeenergie ohne Kondensation des Wasserdampfs im Abgas“¹²⁵ z. B. in MWh/kg)
- Außerdem setzen die Brennmaterialien die in ihnen enthaltene Energie unterschiedlich schnell frei: Scheitholz gibt beispielsweise die Energie langsamer ab als Reisig. Demzufolge wird beim Brennen für das Aufheizen des Ofens und das Austreiben des Wassers Scheitholz eingesetzt; zum schnellen Hochfahren und anschließendem Halten der Temperatur dagegen Reisig.
- Bei der Bemessung der Menge des für einen Brand benötigten Brennmaterials wurde zunächst eine Abhängigkeit des Energiebedarfs von der Menge des zu brennenden Lehms vermutet. Die Auswertung von Daten aus Ziegeleibetrieben und Brennversuchen ergab jedoch, dass der Energiebedarf in linearer Relation zum Volumen des verwendeten Ofens steht. Dies ist dadurch erklärbar, dass bei den hier betrachteten Schachtöfen nur ein äußerst geringer Teil der zugeführten Energie für das eigentliche

¹²⁵ <<https://www.energie-lexikon.info/heizwert.html>> (02.08.2017): „Im Gegensatz zum Brennwert bezeichnet der Heizwert die Wärmemenge, die bei der Verbrennung und anschließenden Abkühlung auf die Ausgangstemperatur des brennbaren Gemisches frei wird, wobei das Verbrennungswasser noch dampfförmig vorliegt. Der Heizwert von wasserreichen Brennstoffen ist deshalb deutlich geringer als deren Brennwert, und zwar um den Betrag der Verdampfungsenthalpie des vorliegenden Wasserdampfes.“ <<https://www.gammel.de/de/lexikon/heizwert--brennwert/4838>> (25.10.2016) und <[http://www.tomchemie.de/Mathematik/11/11.5%20Brennwert%20und%20Heizwert%20\(DIN%205499\).htm](http://www.tomchemie.de/Mathematik/11/11.5%20Brennwert%20und%20Heizwert%20(DIN%205499).htm)> (12.07.2017).

Brennen der Rohlinge genutzt werden kann. Der weitaus größte Teil (90 %) verlässt den Ofen als heißes, ungenutztes Rauchgas, das durch die obere Abdeckung der Ziegel im Ofen entweicht (Anm.: die Ziegelöfen sind oben nicht geschlossen; das Brenngut wird lediglich mit Ziegelbruch o. ä. oben abgedeckt). Je größer demnach der Ofen, d. h. die obere Abdeckfläche (entspricht der Grundfläche der Brennkammer), desto größer der Energiebedarf – unabhängig vom eingebrachten Brenngut. Lediglich für extrem dicke Rohlinge, die aber in den hier angestellten Betrachtungen keine Berücksichtigung gefunden haben, gilt dieser Zusammenhang nicht.

Personal

- Das gezielte Steuern des Brennvorganges (der Brenntemperatur) ist die entscheidende Größe für das Gelingen bzw. die Qualität eines Brandes; ein kontinuierliches Überwachen und Regeln „rund um die Uhr“ durch qualifiziertes Personal ist unabdingbar.

Fazit

Brennverlauf

- Die Experimente lieferten auch hier, wie bei der Brennmaterialmenge, für die Dauer des Brennens einen direkten Zusammenhang mit der Größe der jeweiligen Brennkammer des Ofens.
- Der Zeitbedarf für das Abkühlen bis zur Entnahme der Ziegel wurde aus dem symmetrischen Verlauf der Brennkurven abgeleitet; die Dauer für das Abkühlen ist darin gleich lang wie die für das Brennen.

Ofenkapazitäten

- Die Abmessungen der Brennflächen aus 112 Befunden wurden ausgewertet und nach Größenordnungen klassifiziert; mögliche Höhen von Brennkammern mit Hilfe von Plausibilitätsbetrachtungen ermittelt.

Brennmaterial

- Die Heizwerte verschiedener Brennmaterialien liefern die Basis für die Vergleichbarkeit der einzelnen Materialien; Brennmaterialieinsätze realer Brände (Versuche und praktizierte Produktionen) mit unterschiedlichen Brennmaterialien konnten so als Datenbasis für die Bedarfsbetrachtungen herangezogen werden.
- Die Ofenabmessungen liefern den Maßstab für die Berechnung der benötigten Mengen.

Personal

- Zur Deckung des Personalbedarfes für den kontinuierlichen Betrieb rund um die Uhr sind mehrere Arbeitsschichten notwendig. Dies gilt es bei der Ermittlung der Anzahl benötigter Mitarbeiter zu berücksichtigen.

Wertstellung*Brennverlauf*

- Brennzeit
3 h/m³ Brennkammervolumen
- Ofen abkühlen
Dauer = Brennzeit

Ofenkapazitäten

Im Gegensatz zu den anderen Angaben für Wertstellungen werden hier keine Rechengrößen genannt. Die Daten beschreiben lediglich einen Geltungsbereich für Brennkammerabmessungen, die in den vorliegenden Betrachtungen ausgewertet wurden. Die anderen Werte zum Brennvorgang (Brennzeiten etc.) sind demzufolge auch nur für Berechnungen bei Brennkammergrößen in diesem Bereich geeignet.

- Ca. 99% der Befunde haben eine Brennkammerfläche < 25 m²; 66% liegen im Bereich zwischen 5 und 15 m².¹²⁶
- 2 m Brennkammerhöhe erscheint für die Öfen zum Brennen der hier relevanten flachen römischen Ziegel sinnvoll.
- Damit ergibt sich für die 99% der Öfen ein Brennkammervolumen von < 50 m³; bei 66% der Öfen beträgt es zwischen 10 und 30 m³.

Brennmaterial

- Menge (Energienmenge): 1,0 MWh/m³ Brennkammer
- Art: Trockenes Buchenholz (Heizwert = 4 kWh/kg) oder andere Brennmaterialien entsprechend ihrem Heizwert.
- Anteile: 55% Scheitholz (zum Schmauchen und Anwärmen) und 45% Reisig (zum Aufheizen und für den Garbrand).¹²⁷

Personal

- 24 h Betrieb
- Brennen: Bedarf: 1 Mitarbeiter + 1 Zuarbeiter rund um die Uhr = 48 Mh je AT; bei einem Einsatz von 10 Mh/MT ca. 5 MT/AT¹²⁸
- Ofen abkühlen: Bedarf: 1 Mitarbeiter rund um die Uhr = 24 Mh je AT d.h. bei 10 Mh/MT 2,4 MT/AT¹²⁹

¹²⁶ siehe auch Abb. 41 und 42 Brennkammerflächen aus 112 Befunden römischer Öfen.

¹²⁷ Gewichts-%; Reisig gibt aufgrund seiner größeren Oberfläche bei gleicher Gewichtseinheit die Energie schneller frei als das dickere Scheitholz; damit kann der zum Aufheizen und Garbrennen benötigte höhere Energiebedarf je Zeiteinheit (physikalisch: Leistung) erreicht werden.

¹²⁸ bei einem durchaus für diesen Fall ebenso denkbaren Ansatz von 12 Mh/MT wären dies 4 MT/AT.

¹²⁹ bei 12 Mh/MT je AT: 2 MT/AT.

7.6.5.3 Ofen leeren

Inhalt

- Ziegel aus dem Ofen entnehmen und an Abnehmer weiterreichen, der dann ein Fahrzeug belädt oder die Ziegel für den innerbetrieblichen Abtransport bereitstellt oder an einen Transporteur weiterreicht.

Besonderheiten

- Zeiten für den Abtransport auf das Fertigwarenlager können wie der Antransport beim Füllen ermittelt werden.

Fazit

- Die Wertstellung basiert auf einer Schätzung.

Wertstellung

- bei 5 sec je Stück und 2 gemeinsam tätigen Mitarbeitern fallen so 10 Msec je Stück an
- auch hier erscheint es sinnvoll, wie beim Füllen des Ofens, zunächst vom Einsatz vorhandenen Personals, insbesondere von Mitarbeitern des Fertigwarenlagers und von Springern¹³⁰ auszugehen.

7.6.6 Ziegel lagern

Quellen hierzu: Kap. 13.2.7

Inhalt

- Arbeiten im Fertigwarenlager, z. B. beim Leerräumen des Ofens, beim Stapeln und Konfektionieren der Ware.

Besonderheiten

- Die Arbeiten im Fertigwarenlager können sehr vielfältig sein; neben auftragsbezogenen Tätigkeiten sind auch beispielsweise Aufarbeitungen von Fehlchargen zu Ziegelmehl und Arbeiten zum Entsorgen von Abfall denkbar.

Fazit

- Eine exakte Ermittlung mengen- oder stückbezogener Zeitwerte ist nicht möglich.

¹³⁰ siehe dazu auch Kap. 7.6.7

Wertstellung

- Als Schätzwert wird für diese Tätigkeiten 1 MT/AT je MT eines Formers angesetzt; ein Ansatz, der eine Mengenrelation zu den gefertigten Waren unterstellt.

7.6.7 Weitere Aktivitäten

Quellen hierzu: Kap. 13.2.7

Inhalt

- Abbau – Anlieferung – Lagerung – Aufbereitung von Zuschlagstoffen wie Sand, Wasser
- Reinigungsarbeiten
- Qualitätskontrolle
- Ofen- und Geräteinstandhaltung
- innerbetriebliche Transporte der verschiedensten Art
- Springer als flexibel einsetzbare Mitarbeiter für verschiedenartige Arbeiten innerhalb und außerhalb der Prozesskette.
- Arbeitsplanung, -steuerung, -überwachung und andere Leitungsaufgaben (Overhead).

Besonderheiten

- Neben den beschriebenen Aktivitäten fallen in einer Ziegelei weitere manuelle Arbeiten an, die sich wegen ihrer Vielfalt jedoch einer Quantifizierung über das Bemessen von Einzeltätigkeiten verschließen und deren Umfang mit einer pauschalen Bemessung berücksichtigt wird.
- Außerdem sind in der Regel auch Mitarbeiter nötig, die als flexibel einsetzbare Helfer ohne feste Tätigkeitszuordnung, sogenannte Springer, anzusprechen sind; auch hier soll pauschal bemessen werden.
- Dies empfiehlt sich auch für die Arbeiten, die zur Regelung des Arbeitsablaufes und der Leitung und Organisation der Ziegelei anfallen.
- Diese detaillierte Betrachtung prozessübergreifender Aktivitäten ohne konkreten Quantifizierungsansatz ist der Versuch, die Auflistung aller in einer Ziegelei anfallenden Aktivitäten zu vervollständigen und diese auch bei der Personalbemessung zu berücksichtigen. Eine Zuordnung, dass eine Person nur eine Tätigkeit ausübt, ist damit nicht zu unterstellen. Insbesondere in kleinen Betrieben ist sicherlich für mehrere Personen von einer Übernahme verschiedener Aktivitäten auszugehen.

Fazit

- Exakte Zeitdauern und das jeweilige Vorkommen dieser Tätigkeiten in einer Ziegelei werden nicht angegeben.

Wertstellung

- Die Bemessung der Arbeitsmenge für diese Arbeiten erfolgt in Form eines Zuschlages von 20% auf die Summe der je MT/AT anfallenden Einzelaktivitäten einer Ziegelei bei der Personalbedarfsermittlung. Basis hierfür sind Beschreibungen zur Zusammensetzung von Ziegeleimanschaften (sog. Pflügen) aus dem 18. und 19. Jh. und die Angaben von De Niel 2000.¹³¹

¹³¹ Pflüge sind Gruppen von Ziegelerarbeitern, die die gesamten in einer Ziegelei anfallenden Arbeiten als Team bis ins 20. Jh. in Form von Saisonarbeit übernommen haben. siehe dazu: Schaller 1828, 46 „Eine Gesellschaft von Arbeitern, welche sich vereinigen, um eine gewisse Anzahl Ziegeln zu streichen, wird ein Pflug genannt. Soll die Arbeit vortheilhaft in einander greifen, so muß der Pflug aus so vielen Menschen bestehen, daß jeder die übernommenen Verrichtungen gut, vollständig und zu rechten Zeit liefern könne, damit die Mitarbeiter nicht aufgehalten werden.“